

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS**

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES SUSTRATOS EN LA ACLIMATACIÓN DE *VITRO*-PLANTAS DE BANANO (*Musa spp.*) EN LA FASE DE VIVERO, BAJO CONDICIONES DE SOMBREADOR.**



**MOISÉS ANTONIO CARRILLO VILLATORO**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRÓNOMO  
EN  
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
EN EL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIADO**

**GUATEMALA, ABRIL DE 2004**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RECTOR**

**Dr. M.V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

<b>DECANO:</b>	<b>Dr.</b>	<b>Ariel Abderraman Ortiz López</b>
<b>VOCAL PRIMERO:</b>	<b>Ing. Agr.</b>	<b>Alfredo Itzep Manuel</b>
<b>VOCAL SEGUNDO:</b>	<b>Ing. Agr.</b>	<b>Manuel de Jesús Martínez Ovalle</b>
<b>VOCAL TERCERO:</b>	<b>Ing. Agr.</b>	<b>Erberto Raúl Alfaro Ortiz</b>
<b>VOCAL CUARTO:</b>	<b>Br.</b>	<b>Luis Antonio Raguay Pirique</b>
<b>VOCAL QUINTO:</b>	<b>Br.</b>	<b>Juan Manuel Corea Ochoa</b>
<b>SECRETARIO:</b>	<b>Ing. Agr.</b>	<b>Pedro Peláez Reyes</b>

Guatemala, abril de 2,004.

**Honorable Junta Directiva**  
**Honorable Tribunal Examinador**  
**Facultad de Agronomía**

Señores miembros:

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

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES SUSTRATOS EN LA ACLIMATACIÓN DE *VITRO*-PLANTAS DE BANANO (*Musa spp.*) EN LA FASE DE VIVERO, BAJO CONDICIONES DE SOMBREADOR.**

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

Esperando que la presente investigación llene los requisitos académicos para su aprobación, me suscribo,

Atentamente,

Moisés Antonio Carrillo Villatoro

## ACTO QUE DEDICO

**A:**

**DIOS Y LA VIRGEN MARÍA :**

Por estar en todos los momentos de mi vida y permitirme llegar a cumplir una más de mis metas. Gracias por todas las bondades recibidas.

**MIS PADRES:**

Edwin Moisés Carrillo Molina y Riquilda Villatoro de Carrillo, como un reconocimiento por todo el apoyo y amor incondicional que me han dado a lo largo de mi vida. Que esto sea una recompensa a sus innumerables esfuerzos y sacrificios para mi formación. Los amo.

**MIS HERMANAS:**

Claudia María, Yaneth y Maricruz, con todo el cariño y aprecio del mundo.

**MIS SOBRINOS :**

Johnatan Alfredo y María Fernanda, los quiero mucho.

**MI CUÑADO:**

Johnatan Solórzano, con aprecio.

**MIS ABUELOS:**

María Albina Molina de Carrillo  
Moisés Carrillo Monterroso (QEPD)  
Claudia Morga de Villatoro (QEPD)  
Antonio Felipe Villatoro (QEPD)

**MIS PADRINOS:**

José Luis Bermúdez y Magda Villatoro de Bermúdez, con mucho cariño.

**MIS TIOS:**

Con mucho respeto.

**AMIGOS Y AMIGAS:**

Amilcar Ceballos, Miguel Mansilla, Carlos Rodas, Marco Cansino, Rafael Baldizón, Marvin Mejia, Maynor Hernández, Rafael Quintana, Clyde Lemus, Pablo Quiñónez, Enrique Velásquez, Jacobo Cotto, Pablo Noriega, J. J. Chinchilla, Renato Lira, Ramiro Pazos, Pablo Porres, Ricardo Ola, Virgilio Montejo, Elmer Gonzáles, Ricardo Vásquez, Elías Peralta, Eugenia Díaz, Michelle Ayau, Alejandra Sarti, Cindy Puaque, Maria José Ortega, Evelin Rodas, Ligia Gordillo, y a muchos otros que no mencione, pero que siempre han estado allí para brindarme su amistad y apoyo.

## AGRADECIMIENTOS

### A:

Mis asesores, Ing. Agr. Amilcar Sánchez e Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes, por su colaboración incondicional en la planeación, realización y análisis del presente trabajo.

Ing. Agr. Aníbal Sacbaja, Ing. Agr. Iván Santos, Ing. Agr. Byron Gonzáles, Ing. Agr. Fermín Velásquez, Ing. Agr. Marco Vinicio Fernández, e Ing. Agr. Noe Reyes, por su valiosa colaboración y apoyo para la realización del presente trabajo de investigación.

Universidad de San Carlos de Guatemala y en especial a la Facultad de Agronomía, centro de mi preparación.

Empresa TACUBA S.A. como entidad codecisora, así como al P.A. Roberto Valdés, Ing. Agr. Miguel Laparra, Sr. Eulalio Gonzáles, Sr. William Moreno, y a todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo.

Todos aquellos que han colaborado en mi formación como profesional, como persona y como ser humano.

**TESIS QUE DEDICO****A:**

DIOS.

MI PATRIA GUATEMALA.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

FACULTAD DE AGRONOMÍA.

TODOS LOS AGRICULTORES DE GUATEMALA.

MIS AMIGOS EN GENERAL.

## CONTENIDO GENERAL

	Página
CONTENIDO GENERAL .....	i
ÍNDICE DE CUADROS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
3. MARCO TEÓRICO .....	3
3.1 MARCO CONCEPTUAL.....	3
3.1.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DEL BANANO .....	3
3.1.2 SISTEMÁTICA DEL CULTIVO.....	3
3.1.3 MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DE BANANO .....	4
3.1.4 FACTORES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS.....	6
3.1.5 PRINCIPALES FUNCIONES DE LOS NUTRIENTES ESENCIALES EN EL CULTIVO DEL BANANO .....	8
3.1.6 MÉTODOS DE PROPAGACIÓN .....	9
3.1.8 MICROPROPAGACIÓN .....	11
3.1.9 SUSTRATOS .....	15
3.2 MARCO REFERENCIAL .....	24
3.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	24
3.2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSIO-GEOGRÁFICAS .....	24
3.2.3 RECURSOS NATURALES .....	25
3.2.4 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
4. OBJETIVOS.....	28
5. HIPÓTESIS .....	29
6. METODOLOGÍA.....	30
6.1 MATERIAL EXPERIMENTAL.....	30
6.2 DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS EVALUADOS .....	30
6.3 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	31
6.4 UNIDAD EXPERIMENTAL .....	31
6.5 VARIABLES DE RESPUESTA.....	32
6.5.1 ALTURA DE LA PLÁNTULA .....	32
6.5.2 DIÁMETRO DEL SEUDOTALLO .....	32
6.5.3 NÚMERO DE DÍAS PARA QUE LA PLANTA ALCANCE SIETE HOJAS VERDADERAS.....	32
6.5.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUSTRATOS .....	33
6.6 MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	33
6.6.1 PREPARACIÓN DE SUSTRATOS.....	33
6.6.2 LLENADO DE BOLSAS .....	34
6.6.3 FERTILIZACIÓN .....	34
6.6.4 TRANSPLANTE.....	34
6.6.5 RIEGO Y FERTIRRIGACIÓN .....	34
6.6.6 CONTROL DE MALEZAS .....	35
6.6.7 CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES .....	35
6.7 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	35
6.7.1 ANALISIS ESTADÍSTICO .....	35
6.7.2 ANÁLISIS ECONÓMICO .....	36

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
7.1 ALTURA DE LA PLÁNTULA .....	37
7.2 DIÁMETRO DEL SEUDOTALLO.....	41
7.3 NÚMERO DE DÍAS PARA QUE LA PLANTA ALCANCE SIETE HOJAS VERDADERAS .....	45
7.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUSTRATOS .....	47
7.5 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS TRATAMIENTOS.....	51
7.5.1 COSTOS UNITARIOS PROMEDIOS.....	52
7.5.2 INGRESOS NETOS .....	52
7.5.3 RENTABILIDAD.....	52
8. CONCLUSIONES.....	53
9. RECOMENDACIONES .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
10. BIBLIOGRAFÍA .....	55
11. APÉNDICES .....	57



## INDICE DE CUADROS

		Página
<b>Cuadro 1.</b>	Descripción de los tratamientos evaluados en el vivero de aclimatación de <i>vitro</i> -plantas de banano, de la empresa TACUBA S.A., 2003.....	29
<b>Cuadro 2.</b>	Métodos utilizados en laboratorio para determinar algunas propiedades físicas y químicas de los sustratos.....	31
<b>Cuadro 3.</b>	Dosis de fertirrigación de <i>vitro</i> -plantas de banano en vivero, correspondiente a la evaluación de sustratos en TACUBA, S.A., Ocós, San Marcos, 2003.....	33
<b>Cuadro 4.</b>	Prueba múltiple de medias de Tukey (alfa = 0.05) de la variable altura de las plántulas de los tratamientos evaluados a 35 días después del trasplante en vivero.....	36
<b>Cuadro 5.</b>	Prueba múltiple de medias de Tukey (alfa = 0.05) de la variable altura de las plántulas a los tratamientos evaluados a 42 días después del trasplante en vivero.....	37
<b>Cuadro 6.</b>	Prueba múltiple de medias de Tukey (alfa = 0.05) para la variable de respuesta diámetro del seudotallo de las <i>vitro</i> -plantas de los tratamientos evaluados, 35 días después del trasplante en vivero.....	40
<b>Cuadro 7.</b>	Prueba múltiple de medias de Tukey (alfa = 0.05) para la variable de respuesta diámetro del seudotallo de los tratamientos evaluados, 42 días después del trasplante en vivero.....	40
<b>Cuadro 8.</b>	Prueba múltiple de medias de Tukey (alfa = 0.05) de los tratamientos evaluados para la variable de respuesta número de días para alcanzar siete hojas verdaderas después del trasplante en vivero.....	44
<b>Cuadro 9.</b>	Características químicas de los sustratos.....	46
<b>Cuadro 10.</b>	Características físicas de los sustratos.....	48
<b>Cuadro 11.</b>	Costo de los materiales utilizados como sustratos.....	49
<b>Cuadro 12.</b>	Costo unitario promedio, ingreso neto y rentabilidad de los tratamientos evaluados como sustratos para la aclimatación de <i>vitro</i> -plantas de banano, TACUBA S.A. 2003.....	49
<b>Cuadro 13A.</b>	Resultados obtenidos en la evaluación de diferentes sustratos en la aclimatación de <i>vitro</i> -plantas de banano para las variables altura y diámetro de seudotallo.....	56
<b>Cuadro 14A.</b>	Resultados obtenidos en la evaluación de diferentes sustratos en la aclimatación de <i>vitro</i> -plantas de banano para la variable días para alcanzar 7 hojas.....	57

**INDICE DE FIGURAS**

	Página
<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica del experimento. Viveros TACUBA S.A.....	26
<b>Figura 2.</b> Distribución espacial de los tratamientos, repeticiones y distanciamientos.....	30
<b>Figura 3.</b> Dinámica de crecimiento para la variable de respuesta altura de las plántulas.....	38
<b>Figura 4.</b> Curva de crecimiento para la variable de respuesta altura de las plántulas.....	39
<b>Figura 5.</b> Dinámica de crecimiento para la variable de respuesta diámetro del seudotallo.....	41
<b>Figura 6.</b> Curva de crecimiento para la variable de respuesta diámetro del seudotallo.....	43
<b>Figura 7.</b> Gráfica de la variable de respuesta número de días para que la planta alcance siete hojas.....	44

## **EVALUACIÓN DE DIFERENTES SUSTRATOS EN LA ACLIMATACIÓN DE *VITRO*-PLANTAS DE BANANO (*Musa spp.*) EN LA FASE DE VIVERO, BAJO CONDICIONES DE SOMBREADOR**

### **EVALUATION OF DIFFERENT SUBSTRATES IN THE ACCLIMATIZATION OF BANANA (*Musa spp.*) *VITRO*-PLANTS IN THE PHASE OF NURSERY, UNDER SHADE CONDITIONS**

#### **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación se realizó en el área de viveros de aclimatación de *vitro*-plantas de banano (*Musa spp.*), de la empresa TACUBA, S.A., ubicada en el municipio de Ocos del departamento de San Marcos, teniendo como objetivo determinar el efecto de diferentes sustratos sobre el tiempo para alcanzar el desarrollo en 2.5 cm de diámetro, 25 cm de altura y un número de 7 hojas verdaderas de las *vitro*-plantas de banano bajo condiciones de sombreador, determinando con lo anterior, cual de las mezclas formadas por materiales presentes en el área, tales como arena de río, suelo, estiércol bovino y fibra de frutos de palma africana, a diferentes proporciones, alcanzaba en menor tiempo los parámetros mínimos requeridos para que éstas pudieran ser llevadas al campo definitivo.

Las variables de respuesta fueron: altura de las plántulas (cm), diámetro delseudotallo (cm), número de días para que la planta alcance siete hojas verdaderas (días).

Para el análisis de la información, se utilizó un diseño de bloque al azar con seis tratamientos y tres repeticiones o bloques; los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza, el cual demostró que existieron diferencia estadística significativa entre tratamientos para todas las variables de respuesta evaluadas, por lo que se procedió a realizar una comparación múltiple de medias. También se realizó una caracterización de las mezclas evaluadas según propiedades físicas y químicas (cuadro 9 y 10), así como un análisis de costos unitarios promedios, ingresos netos y rentabilidad para cada uno de los tratamientos evaluados, para establecer cual de los tratamientos era el más favorable.

Con base a los objetivos planteados y los resultados obtenidos se puede decir que: a) el tratamiento que logró alcanzar los parámetros de aclimatación reduciendo en una semana el tiempo en vivero, es el compuesto en un 50% de estiércol bovino, 25% de arena de río y 25 % de fibra de frutos de palma africana, obteniendo en todas las variables analizadas medias mayores a las mínimas requeridas y las más altas respecto a los demás sustratos, a los 35 días en vivero; en el caso de la variable de respuesta diámetro delseudotallo permitió observar que existieron diferencias estadísticas significativas, respecto a los demás tratamientos evaluados. b) El tratamiento 6 compuesto únicamente de suelo del lugar es el más favorable, debido a que presenta valores de costo total mas bajos. Con un costo unitario promedio de Q 5.56 y consecuentemente ingresos netos de Q 107641.21, así como un porcentaje de rentabilidad de 43.82 %, siendo este último valor, el más altos de los seis tratamientos evaluados, necesitando un tiempo total de seis semanas para alcanzar los parámetros de aclimatación.

## 1. INTRODUCCIÓN

El establecimiento de nuevas áreas y la renovación de plantaciones de banano por el método de propagación de *vitro*-plantas generadas a partir de meristemas es cada vez más empleado, debido a las características y ventajas que éste trae consigo, tales como el crecimiento homogéneo de las plantas, la planificación de cosechas de forma más acertada, precocidad en el momento de la parición, calidad de la fruta, vigor de las plantas, etc., así como por la cantidad de material vegetativo necesario para la siembra de grandes áreas de terreno.

Las plantas producidas *in vitro* necesitan una aclimatación previa antes de la siembra al campo definitivo, la cual se divide en dos etapas, aclimatación en invernaderos con humedad relativa controlada, y la aclimatación bajo sombreadores en el área de siembra definitiva. Esta dos etapas son indispensable, debido a que ayudan a reducir el porcentaje de pérdidas causado por muertes al momento de la siembra al campo definitivo. Para reducir las pérdidas de material vegetativo en esta última etapa de aclimatación bajo sombreador, se requiere de un manejo cuidadoso y adecuado de las *vitro*-plantas, ya que tienen grandes exigencias nutrimentales como hídricas, debiéndose crear condiciones favorable dentro del vivero y ofrecer un adecuado sustrato, que no permita condiciones de estrés y reducir daños por plagas y enfermedades. Por tal motivo es necesario ofrecerle a las plántulas un sustrato que ayude por sus características químicas y físicas en el desarrollo radicular, favoreciendo el crecimiento acelerado para alcanzar un mínimo de 25 cm de altura, 2.5 cm de diámetro y número de 7 hojas, siendo estos los parámetros considerados óptimos para que las plantas puedan ser llevadas al campo definitivo.

El tiempo aproximado de aclimatación de las *vitro*-plantas en vivero es de seis semanas, el cual, en la presente investigación se pretendió reducir de manera considerable ofreciéndole a las *vitro*-plantas un sustrato formado a partir de la mezcla de algunos materiales presentes en el área, tales como la fibra de frutos de palma aceitera, estiércol bovino, suelo del lugar y arena de río, los cuales se utilizaron en diferentes proporciones, tratando de formar un sustrato que reuniera características ideales o aceptables, pretendiendo generar nuevas alternativas de manejo en la aclimatación de *vitro*-plantas de banano durante la etapa de vivero.

## 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El éxito de la micropropagación *in vitro* depende en gran parte, de la capacidad para manejar las plantas a gran escala durante el periodo de aclimatación, con un alto grado de supervivencia, homogeneidad en desarrollo y a bajo costo (1, 2). Se calcula que anualmente se producen hasta cincuenta millones de plantas procedentes de este tipo de cultivos. La técnica permite producir clones en serie bastante más deprisa que recogiendo vástagos de las plantas en crecimiento.

En la actualidad en los viveros de aclimatación de la empresa TACUBA S.A. se emplea únicamente suelo como sustrato, con lo que no se tiene un buen drenaje, trayendo consigo problemas de acumulación de sales en los mismos y un crecimiento no homogéneo de las *vitro*-plantas, aún y cuando estas tienen la misma edad, debido a la variación de la fertilidad y de las características del suelo utilizado, extraído a diferentes profundidades, retardándose el tiempo en vivero hasta por 15 días para un 5 a 7 % de plantas que quedan rezagadas debido a que aun no han alcanzado las características deseadas de aclimatación dentro del sombreador.

El costo de las *vitro*-plantas a aclimatar asciende a Q 4.75, por lo que se hace necesario el manejo cuidadoso de las mismas dentro de las instalaciones del vivero, pudiéndose presentar problemas con plagas y enfermedades, al utilizar como sustrato suelo proveniente de lugares donde hubieron plantaciones de musáceas, generando pérdidas por manejo del material a propagar; reduciéndose estos riesgos al emplear sustratos con características físicas y químicas adecuadas.

Para el llenado de bolsas se necesita disponer de una cantidad aproximada de 72 m<sup>3</sup> de suelo a utilizar como sustrato por vivero de 48,000 plantas por ciclo, requiriéndose ésta cantidad cada 6 semanas. Al extraer todo este volumen de material, se causan daños en el relieve del terreno y se eliminan capas de suelo fértil con buenas características químicas, físicas y biológicas que serían útiles a la futura plantación a establecerse en estas áreas.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 MARCO CONCEPTUAL

##### 3.1.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DEL BANANO

Según Simmonds (1962), y Soto (1990), citados por Ortiz Vega (1999), se presume que el llamado centro de origen del banano se encuentra ubicado en el sureste asiático e Indochina y que es en esta región donde ocurrió su domesticación. Posiblemente, el banano primeramente se usó como fuente de fibra o sus hojas se utilizaron como envolturas (Soto, citado por Ortiz (19)).

En la región indomalaya se encuentran aún muchos tipos silvestres y, debido a las condiciones primitivas del cultivo, se conservan numerosas variantes. En el centro de esa región son predominantes los tipos de *M. acuminata*, que parecen crecer mucho mejor en áreas de alta humedad. En cambio hacia la periferia, en India, son más comunes los híbrido triploides con *M. balbisiana*, que se adaptan mejor a zonas más secas (13).

Se supone que todas las especies de banano ahora conocidas, proceden de una especie con semillas, oriunda del archipiélago malayo, de Filipinas y de otras regiones de Asia suroccidental. Actualmente todas las plantas de banano cuya frutas son partenocárpicas, se encuentran en la zona intertropical (11).

La propagación vegetativa, unida a la interacción de esterilidad-poliploidia-partenocárpica, solo dejan una fuente de variación: las variaciones somáticas. Estas son el origen de los tipos de plátanos y bananos que existen en la actualidad (13).

La fruta fue seleccionada por su facilidad para ser consumida cruda, y ésta es una de sus mayores cualidades hasta hoy, cuando todavía sirve como postre de fácil consumo. Sus características partenocárpicas (desarrollo de fruto sin polinización) y la ausencia de semillas, son posibles razones para su elección como cultivo (19).

Geográficamente el banano se encuentra distribuido en los trópicos y subtropicos. En condiciones naturales, se encuentra en una amplia distribución que incluye tierras cercanas a las costas, lagos, orillas de ríos y zonas selváticas (19).

##### 3.1.2 SISTEMÁTICA DEL CULTIVO (5, 24).

Reino	_____	Plantae
Sub-reino	_____	Embryobionta
División	_____	Magnoliophyta
Clase	_____	Liliopsida
Sub-clase	_____	Zingiberidae
Orden	_____	Zingiberales
Familia	_____	Musaceae
Género	_____	<i>Musa</i>
Especie	_____	<i>Musa</i> spp.

Según Langhe (1969), citado por Marroquín (1991), el género *Musa* se divide en cuatro secciones de las cuales la sección *Eumusa* incluye los bananos y plátanos comestibles así como sus parientes silvestres. Según el INIBAP (1989), citado por Marroquín, un paso importante en la evolución del banano fue el cruce natural entre *M. acuminata* y *M. balbisina* que produjo híbridos diploides, triploides y tetraploides. Esto extendió el rango de sus características y contribuyó a difundir su cultivo de las tierras húmedas bajas del trópico a tierras altas y estaciones más secas (16).

Según Escalant (1987), citado por Marroquín, actualmente los cultivares más importantes se clasifican en tres grupos: el grupo AAA contiene los cultivares de los subgrupos “Cavendish” (Poyo, Grande Naine), “Gros Michel y “Figue Rose”. El grupo AAB contiene los plátanos (tipo falso cuerno, tipo francés) y “Figue Pomme”. El grupo ABB contiene los cultivares “Pelipita”, “Saba” y Bluggoe” (16).

Según León (1987), el nombre banano es originario de África, y se aplica por lo común a cultivares cuya fruta se come fresca, como el Gros Michel, Cavendish y otros tipos de exportación (13).

### 3.1.3 MORFOLOGÍA DE LA PLANTA DE BANANO

El banano es una planta herbácea de tamaño variable según la especie (dos a cinco m). De una cepa o cormo salen hojas de tamaño creciente, cuyas vainas en forma de espiral conforman el pseudotallo, coronado con un penacho de hojas largas y anchas. Durante el periodo vegetativo de la planta, emergen de 15 a 25 hojas funcionales. En el interior del seudotrunko crece el tallo, que termina con el desarrollo de una inflorescencia, que a su salida, sufre un encorvamiento negativo y la fruta se desarrolla durante 80-90 días (19).

#### A. Cormo o rizoma

Es una estructura cónica asimétrica, con el eje central curvo y doblado hacia arriba, formado por muchos entrenudos cortos y escamas que lo atraviesan en gran parte de su anchura. De los nudos brotan raíces, en grupos de tres o cuatro. En la parte apical del cormo aparecen las hojas, que forman al principio un cormo sólido. Nacen de una zona meristemática.

El cormo es un importante órgano de almacenamiento que ayuda a sustentar el crecimiento del racimo y el desarrollo de los hijos de la planta. Según Robinson (1996) citado por Ortiz, antes de la floración el cormo contiene cerca del 35% del total de materia orgánica de la planta. Este porcentaje baja a un 20% al momento de madurez del fruto, conforme las reservas se redistribuyen durante el crecimiento (19).

#### B. Raíces

Según Ortiz, el sistema radicular de las plantas de banano es adventicio, o sea, la mayor parte se encuentra creciendo cerca de la superficie del suelo (primeros 50cm aproximadamente). López (1987), citado por Ortiz, afirma que el crecimiento de la mayoría de raíces se da debajo de la inserción de las hojas, y disminuye su número a las partes inferiores (19).

El sistema radicular tiene un eje principal, del cual se producen raíces laterales primarias (de primer orden); a partir de ellas se desarrollan las raíces laterales secundarias (de segundo orden). Grupos de tres a cuatro ejes de raíces blancas y carnosas de 5 a 8 mm de grosor emergen usualmente de un primordio común en la llamada zona marginal y atraviesa la corteza para emerger por el cormo. Estas raíces pueden llegar a medir hasta 5 o 10 metros, pero generalmente solo miden entre uno y dos metros (Soto, 1990; Stover y Simmonds, 1987; Price, 1995 y Robinson, 1996; citados por Ortiz (19).

Las raíces superiores se extienden en sentido horizontal hasta cinco metros de la planta. La zona principal de raíces absorbentes se localizan en el suelo, de 10 a 15 cm de profundidad, en un radio de unos 25 cm o más del pseudotallo.

Existe evidencia del número de raíces tiene relación con el grosor del tallo (1, 2), siendo sus principales funciones el anclaje, la absorción de agua y nutrientes, la síntesis de hormonas y el almacenamiento. En general, las plantas ubicada en suelos pesados poseen un sistema radicular más pobre que las ubicadas en suelos con texturas livianas. Una planta de banano saludable debe producir entre doscientas y quinientas raíces.

Según Ortiz, el crecimiento radicular depende principalmente de las condiciones de textura y estructura del suelo, las condiciones de aireación y humedad (drenaje y riego), la compactación de suelos, la fertilidad del suelo y la aplicación de productos químicos. Cuando el sistema radicular se afecta negativamente, la producción decrece (19).

### C. Seudotallo y hojas

Elseudotallo es la parte aérea de la planta, formado por las vainas envolventes de las hojas. Las hojas nuevas son las internas, que deben abrirse paso para salir y extender las láminas y se presentan como rollos apretados en el centro delseudotallo (13).

Según Robinson, citado por Ortiz, las primeras hojas del hijo se producen partiendo del meristemo central y se conocen como hojas escala, seguidas por hojas angostas (de espada) y finalmente se forman las hojas maduras del tamaño completo, cerca de los seis meses de edad de la planta. Las hojas de mayor tamaño se producen al momento de la floración (19).

Según Stover y Simmonds, citados por Ortiz, el verdadero tallo aéreo se inicia a partir del cormo y termina en la inflorescencia. Su función es de conexión vascular entre las hojas y las raíces, y los frutos y las hojas (19).

Las hojas del banano se forman de cuatro partes: vaina, pecíolo, lámina y apéndice, cuyo desarrollo varía según la edad, orden de aparición de la hoja y ciclo de vida de la planta. La vaina es la parte inferior y envolvente de la hoja, es más ancha hacia la base y se angosta progresivamente hacia arriba, donde termina el pecíolo. El pecíolo es acanalado, con abundancia de haces vasculares, delgados y con cordones de fibra, que constituyen el tejido de soporte (13).

La lámina de la hoja es una de las superficies fotosintéticas más grandes que se conocen, puede medir hasta 5 m de largo por 1 m de ancho. Su forma general es ovado-oblonga, con el ápice obtuso y un lado ligeramente mayor



que el otro. El nervio central es la continuación del pecíolo, en la parte inferior es semicircular, plano en la superior y formado de parénquima. Su función es permitir que la lámina se doble y se mueva (13).

#### D. Inflorescencia y Racimo

Cuando se ha producido cerca de veinte hojas, surge el tallo floral, cuya continuación forma el eje de la inflorescencia. En este eje las hojas son remplazadas por brácteas masculinas. Las tres o cuatro primeras brácteas no cubren ninguna flor (13).

La inflorescencia esta formada por glomérulos florales o grupos de flores dispuestas en dos hileras e insertadas en abultamientos del raquis conocido como corona (manos). La inflorescencia esta formada por tres tipo de flores: a) pistiladas, en manos superiores; b) neutras, en la sección central; c) estaminadas, en el punto terminal del racimo (19).

El perianto de la flor de dos pétalos (mayor y menor). El ovario es un cuerpo alargado y angosto en la base, generalmente curvo. El ápice es plano y ancho y en el se inserta el perianto, el pistilo y los estambres. El ovario es trilocular, con óvulos en filas longitudinales (13).

#### E. Fruto

Según Robinson, citado por Ortiz, el fruto del banano se caracteriza botánicamente como una cereza con pericarpo (19).

El fruto se forma por un gran aumento en volumen de los ovarios de las flores pistiladas, su forma varia según el cultivar y el color es generalmente amarillo. La parte comestible es el resultado del engrosamiento de las paredes del ovario convertido en una masa parenquimatososa cargada de azúcar y almidón (13).

Según Soto, citado por Ortiz, el desarrollo del fruto es partenocárpico, o sea, sin polinización. Los frutos son estériles debido a una serie de causas que incluyen genes específicos de esterilidad femenina, triploidía y cambios cromosómicos (19).

### 3.1.4 FACTORES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

El crecimiento es el desarrollo progresivo de un organismo. Se refiere al desarrollo de un órgano u órganos específicos de las plantas, o a las plantas consideradas en su conjunto, y puede estar relacionado al peso seco, longitud, altura o diámetro.

La planta es un producto, tanto de una constitución genética, como de un medio ambiente. La constitución genética es una cantidad fijada para cada tipo de planta, y determina su potencial de crecimiento máximo bajo unas condiciones favorables a su desarrollo. El crecimiento de las plantas es función de varias condiciones ambientales o factores de crecimiento que pueden ser considerados como variables, y cuya magnitud y combinación determinan el crecimiento que puede obtenerse (26).

Los factores ambientales se definen como la suma de todas las condiciones externas e influencias que afectan la vida y el desarrollo de un organismo (26), entre los principales que afectan el cultivo de banano pueden mencionarse:

#### A. Condiciones hídricas

El banano es una planta exigente en agua. En zonas de climas cálidos y húmedos necesita más de 125 a 150 mm de agua por mes. Sin embargo, la evapotranspiración puede sobrepasar los 200mm (11). Ortiz (1999) afirma que el cultivo debería sembrarse en un lugar con 2000 mm de precipitación anual, o en condiciones donde se pueda aportar esta cantidad de agua mediante riego, para un promedio mensual de 100 a 180 mm (19).

#### B. Temperatura

La temperatura óptima para su desarrollo y crecimiento se cree que está cerca de los 27 °C. Algunos autores piensan que el máximo diario debe estar encima de 28 °C y el promedio no debe bajar de 22 °C. Sin embargo las temperaturas óptimas son diferentes según el proceso de que se trate (19).

#### C. Radiación solar

El banano tolera bien la intensidad fuerte de luz si se logra satisfacer sus necesidades de agua. En cambio, la nebulosidad alarga el ciclo vegetativo, aumentando el tamaño de los retoños. Un promedio favorable de luz se encuentra entre las 2000 y 2400 horas (11). Las plantas necesitan de 7 a 16 megajulios por metro cuadrado de hojas por día para un crecimiento normal, el grado óptimo se encuentra cerca de 12 megajulios por metro cuadrado por día de radiación fotosintética activa. Si no se logran por lo menos 5 horas de brillo solar diario, se afecta el crecimiento de la planta, los dedos salen cortos y las plantas se hacen más altas y se extienden los ciclos de cultivo (19).

#### D. Vientos

Vientos secos en combinación con altas temperaturas pueden afectar seriamente las hojas del banano. Hasta 15 km/hora el efecto del viento puede ser benéfico, al producir una mayor transpiración de la planta, y permitiéndole a esta bajar su temperatura. Con vientos de 40 km/hora, las láminas de las hojas se empiezan a rajarse. La volcadura de las plantas se presenta con vientos de 55 km/hora y se puede dar una pérdida de peso de hasta el 20% de los racimos (19).

#### E. Nutrición y fertilización

La extracción de nutrientes del suelo en el cultivo de banano es muy alta, por lo cual, las características químicas del suelo son muy importantes para el crecimiento y desarrollo del cultivo. Asimismo, el manejo de la fertilización del cultivo se constituye una práctica determinante para la obtención de altos rendimientos.

El banano requiere de elementos químicos indispensables para el crecimiento y producción de la planta denominados elementos esenciales. Algunos de estos son suplidos por el aire y el agua (carbono, hidrógeno y oxígeno) y otros por el suelo. Los elementos nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre son requeridos en mayores cantidades por la planta, por lo que se llaman elementos mayores o macronutrientes. Otros en cambio son requeridos en muy bajas cantidades y se les conoce como elementos menores o micronutrientes, entre los cuales están: zinc, boro, cobre, hierro, manganeso y molibdeno (19).

### **3.1.5 PRINCIPALES FUNCIONES DE LOS NUTRIENTES ESENCIALES EN EL CULTIVO DEL BANANO (19):**

**Nitrógeno (N):** participa en la fotosíntesis, la respiración y muchos otros procesos metabólicos y fisiológicos. Es un componente importante de la estructura de proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, reguladores de crecimiento y muchos otros compuestos. Desde el punto de vista del manejo de la fertilización, es el elemento más importante.

**Fósforo (P):** forma parte del ATP, compuesto que transporta energía dentro de la planta. Participa también en la fotosíntesis, la respiración y la síntesis y descomposición de proteínas, grasas y carbohidratos. El fósforo se requiere en altas concentraciones en las regiones de crecimiento. Con el banano, no se ha generalizado su uso, debido a la poca respuesta de la fertilización del suelo con este elemento.

**Potasio (K):** aunque el potasio no forma parte de la estructura de compuestos orgánicos dentro de la planta, es fundamental catalizando procesos tan importantes como la respiración, la fotosíntesis y la regulación del contenido de agua dentro de las hojas. Su función está ligada al transporte de azúcares y, por tanto, permite el adecuado engrosamiento de la fruta. El potasio es considerado un elemento muy importante en la nutrición del cultivo, debido a que se requiere en muy altas cantidades en la planta.

**Calcio (Ca):** es muy importante para la formación de las paredes celulares. Participa como un activador enzimático y actúa en el proceso de división celular, estimulando de esta forma el desarrollo de raíces y hojas.

**Magnesio (Mg):** es el componente central de la molécula de clorofila y, por tanto, es muy importante en el proceso de fotosíntesis. Es un activador del metabolismo de carbohidratos, grasas y proteínas e interviene en el transporte de fosfatos.

**Azufre (S):** está asociado con la formación de clorofila y con el metabolismo de carbohidratos. Forma parte de la estructura de proteínas como integrante de los aminoácidos cistina, cisteína y metionina.

**Zinc (Zn):** es un activador de diversas enzimas y participa en la síntesis de reguladores de crecimiento.

Cobre (Cu): es un activador enzimático. Es necesario en el proceso de fotosíntesis.

Boro (B): el papel del boro en el metabolismo de la planta no es muy claro aún. Existe evidencia indirecta de que participa en el transporte de azúcares. Tiene importancia en el desarrollo celular, la floración y la fructificación.

Hierro (Fe): es importante en la formación de clorofila y participa activamente en la formación de varias enzimas.

Manganeso (Mn): participa en los procesos de respiración y en el metabolismo del nitrógeno. Es necesario en la síntesis de clorofila.

Molibdeno (Mo): es necesario para la formación de la enzima que se encarga de reducir el nitrato a amonio de la planta (19).

### 3.1.6 MÉTODOS DE PROPAGACIÓN

Generalmente para la propagación de plantas de banano se da por diferentes tipos de semillas convencionales utilizadas para la propagación. Existen dos variables que determinan los tipos de semillas. Cuando se usan rizomas que tienen su punto de crecimiento intacto, el cual será el que crezca para la primera generación, se llaman hijos, rebrotes o colas de burro, según sea su tamaño. Cuando ya no existe un punto de crecimiento o cuando se elimina mecánicamente, se llaman caballo, cabeza de toro u otros; en este grupo, la primera generación se producirá de yemas auxiliares y no del meristemo central (19).

Tipos de semillas empleadas en la propagación de plantas de banano (19):

#### A. Cormo de plantas paridas

Este material es conocido en el medio bananero como bull head y se obtiene directamente del “caballo” (seudotallo recién cosechado). Los brotes de este tipo de material son débiles, debido a que el cormo se descompone rápidamente y, por lo tanto, no proporciona sustento a los nuevos brotes en crecimiento. Esto se debe a que, al carecer de un meristema apical activo, la planta no emite raíces.

#### B. Cormo de plantas sin parir

Es una semilla de gran tamaño, al igual que la anterior; la diferencia es que los brotes son de gran vigor debido a que el cormo madre, al mantener activo su meristemo apical, continua emitiendo raíces y hojas. Este tipo de semillas origina, además, plantas de alto potencial productivo.

#### C. Hijos de espada

Se denomina hijos de espada a aquellos brotes o hijos, sanos y vigorosos, que se seleccionan de la unidad de producción una vez que se tiene definido el hijo de sucesión. Son hijos que por su ubicación reciben nutrición y dominancia apical de la planta madre, lo que permite un desarrollo sincronizado, con un sistema radicular bien desarrollado y un sistema foliar formado por escamas, hojas angostas y lanceoladas, característica por la cual se les denomina como hijos de espada. En condiciones normales, presentan una buena sincronización y un peso de semilla que varía entre 3 y 5 Kg. Este tipo de semilla es el aconsejable por su vigor y, por lo tanto, por su alto potencial productivo.

#### D. Hijos de agua

Son los hijos de retoños mal formados que presentan escaso tamaño, forma alargada y yemas de poco vigor. Bajo ninguna circunstancia deben ser seleccionados como material de propagación. Son brotes de crecimiento desincronizado que, por ausencia de dominancia apical y de nutrición de la planta madre, desarrollan un sistema foliar completo pequeño y, a una edad muy temprana, logran su independencia y producen racimos bastante pobres.

#### E. Hijos recortados

Son aquellos hijos que inicialmente se recortaron o eliminaron en el ciclo de deshije y que, debido a su gran vigor y vitalidad, mantienen su crecimiento. La calidad de esta semilla es buena, siempre y cuando se obtenga de hijos que han sido recortados solo una vez.

#### F. Rebrotos

Son aquellos brotes que se originan del cormo de una planta cosechada en una generación anterior, es decir, de un caballo casi descompuesto, y por lo tanto, se ubican en un ángulo de 180 grados respecto al hijo de sucesión. Estos rebrotos son en realidad hijos hermanos de una planta madre y en muchas ocasiones se utiliza como semilla con muy buen éxito. Para utilizar este material, se requiere sembrarlos en bolsas en un vivero y someterlo a un cuidado intensivo de fertilización, hasta que alcancen el desarrollo necesario para transplantarlos definitivamente al campo, lo que generalmente ocurre en un tiempo no mayor de seis semanas.

## G. Meristemos

Con el avance en la biotecnología, ha sido posible desarrollar técnicas de laboratorio que permiten obtener plantas de forma asexual (sin unión de células sexuales), a partir de pequeñas secciones de hojas o bien cualquier otro tejido de la planta. Esto es posible debido a que todas las células vegetales contienen toda la información genética necesaria para reproducir una planta completa. De esta manera, al colocar las pequeñas secciones de meristemos o cualquier otro tejido en soluciones específicas que contienen nutrientes y reguladores de crecimiento con un balance específico, es posible obtener un gran número de plantas, que expresan una forma idéntica las características de la planta de la cual proviene el tejido utilizado en la práctica. Para el caso específico del banano, las técnicas de propagación en laboratorio utilizan como material de partida los meristemos que se extraen en el campo de una planta con características deseables. Cada meristemo se divide en pequeñas secciones y de cada una de ellas es posible obtener una planta que, después de pasar cierto tiempo de aclimatación en un vivero, será posible transplantar al campo (19).

### 3.1.8 MICROPROPAGACIÓN

La micropropagación se considera como un procedimiento aséptico que comprende la manipulación, en las plantas, de órganos, tejidos o células que produzcan poblaciones de plántulas y que permitan el desvío, tanto del proceso sexual normal como de la propagación vegetativa, no aséptica que se practica convencionalmente (18).

El uso de plantas propagadas *in vitro* (conocido popularmente como meristemas) mediante la técnica de cultivo de tejidos, ha tenido gran desarrollo en los últimos 10 años en las exportaciones bananeras alrededor del mundo. Por ser plantas sanas, el sistema radicular es también sano y se da una buena nutrición de las plantas. La cantidad de las raíces totales de plantas generadas *in vitro* es mayor en peso, así como las raíces funcionales tiene un 93 % en función del peso total, mientras que las plantas generadas a partir de cormos o el método convencional solo tienen el 46% de su peso total de raíces funcionales (14).

El cultivo de tejidos ha revolucionado el cultivo del banano y ha sustituido a los vástagos vegetativos convencionales utilizados en muchas de las regiones productoras de banano. Se calcula que anualmente se producen hasta cincuenta millones de plantas procedentes de este tipo de cultivos. La técnica permite producir clones en serie bastante más deprisa que recogiendo vástagos de las plantas en crecimiento. Las plántulas recién arrancadas son tiernas, y exigen un buen tratamiento en las semanas siguientes a su extirpación del medio en el que crecen, pero una vez plantadas en el campo y arraigadas, su crecimiento y rendimiento definitivo son superiores al de las plantas cultivadas por los medios tradicionales. Se estima que el vigor y el rendimiento potencial se deben a la naturaleza joven del material y a la mayor eficiencia fotosintética, al aumento de la superficie funcional de las hojas, al mayor vigor de las raíces y a la acumulación total de la masa seca en comparación con las plantas obtenidas mediante la producción convencional. El aumento del rendimiento en cuanto a los frutos de las plantas procedentes de cultivos de tejidos puede durar tres cosechas (7).

Al principio, todos los cultivos de tejidos desarrollados comercialmente, se basaron en clones Cavendish, de los que depende el comercio internacional de exportación. Los avances en la producción *in vitro* de otras variedades de banano para postre o cocción o de plátanos, han sido inferiores. De hecho, otras variedades podrían requerir diferencias sutiles en las condiciones de desarrollo de los cultivos de tejidos. Los genotipos del banano responden de forma diferente en cuanto a su ritmo de proliferación *in vitro* e, inevitablemente, los gastos de producción de variedades especiales serán mayores (7).

#### A. Procedimiento para obtener plantas de cultivo *in vitro*

Los meristemos se obtienen de hijos de espadas de madres seleccionadas; las puntas de los cormos se cortan en cubos de 5 mm de lado y se ponen en medios de cultivo. En dicho medio, se mantienen a 28 °C, a 70% de humedad relativa y en ciclos de 16 horas de luz (19).

De 4 a 6 semanas después, los talluelos verdes se ponen en medios ricos en citoquininas (reguladores de crecimiento vegetal) para su crecimiento y la formación de múltiples talluelos. La multiplicación se hace cortando los diferentes talluelos que se van transfiriendo a nuevos medios de cultivo. Cada 4 a 5 días se vuelven a cortar hasta unas 3 ó 5 veces.

A las 6 u 8 semanas, los explantes se ponen a enraizar en un medio rico en auxinas (otro regulador de crecimiento vegetal) pero bajo en citoquininas.

Se esperan otras 6 a 8 semanas para el enraizamiento y las plántulas de 50 mm de alto con 4 ó 5 hojuelas se deben aclimatar a condiciones *ex vitro*. La aclimatación se hace entre 25 y 32 °C, con buena iluminación y alta humedad relativa, en bandejas plásticas.

A los 7 o 10 días tiene nuevas hojas y raíces, y puede comenzarse con la fertilización foliar. Las plantas se transfieren a bolsas pequeñas para que terminen de crecer en un vivero con 50% de sombra.

En un periodo de 6 a 8 semanas, las plantas están listas para salir al campo. En general se necesitan de 50 días desde el comienzo hasta la etapa de aclimatación y otros 68 días entre el comienzo de la etapa de aclimatación y el vivero (19).

Ramírez (1996), describe de una manera mas detallada la fase de transplante y aclimatación en la micropropagacion de plátano, usando otros métodos y materiales; se deben transplantar cuando tengan de 5 a 8 cm, con tres a cuatro hojas y un buen sistema radicular. Se sacan las plantas de los frascos, se les eliminan residuos de agar para evitar problemas de pudrición de raíces, posteriormente se siembran en una caja de plástico que contiene suelo + pomas en una relación 1:1, se cubre con plástico para evitar la desecación de las plantitas, se retira gradualmente a los ocho días del transplante. A los 30 días son transferidas a bolsas individuales de polietileno con una mezcla de suelo. Deben permanecer otros 30 días bajo condiciones de invernadero. Cuando han alcanzado una altura de mas 30 cm, pueden ser llevadas al campo definitivo (20).

Según Nava (1998), una vez cumplido el proceso de laboratorio con las plántulas enraizadas por 2 a 3 semanas o 5 a 8 cm de altura son pasadas al vivero, donde se cumplen 2 fases (17):

1. Condición de invernadero realmente.
2. Aclimatación, bajo sombra con cierta humedad.

La mayoría de las plantas en la aclimatación, muestran un crecimiento óptimo a temperaturas de 21° y 27 °C. Temperaturas extremas o fluctuaciones drásticas de la misma, producen un crecimiento irregular. Es necesario proporcionar sombra extra, para evitar problemas subsiguiente por alta intensidad lumínica y alta temperatura ambiental (9).

Rouweler (1990), menciona la importancia de la fase de aclimatación de las plantas en vivero, luego de salir de invernadero; una vez que las plántulas son entregadas a el cultivador, es imprescindible el buen cuidado que se les de. Las plantas pequeñas de banano son extremadamente vulnerables - o puede incluso morir - cuando están expuestas a la alta insolación. Por tal motivo es indispensable el uso de sombra leve para protegerlas, es necesario el suficiente abastecimiento de agua, los sustratos deben ser bien drenados y fértiles (el pH 6) y estas instalaciones recompensarán al cultivador con el desarrollo acertado de las plantas. Dependiendo del desarrollo y de la ramificación del sistema radicular, el tiempo en vivero tomara entre 1-2 meses para que las plantas puedan ser transferidas al campo. El sistema radicular es de importancia vital para un crecimiento continuo y enérgico de la planta pues las raíces son responsables del absorber del agua y los nutrimentos (22).

#### B. Ventajas de las plantas producidas *in vitro* en comparación con las plantas convencionales

- Se puede producir un gran número de plantas, en forma higiénica y segura, para poder transportarse a cualquier parte del mundo sin problemas fitosanitarios.

- Las plantas producidas *in vitro* son relativamente fáciles de establecer en el campo, ya que tiene un sistema radicular formado dentro de la bolsa. Las únicas plantas que deben remplazarse son los mutantes somaclonales que se identifican en el campo; sin embargo, el número de plantas por remplazar es bajo sin la selección previa en el vivero fue buena.

- Se obtiene uniformidad de crecimiento y de la cosecha; así como la posibilidad de programar la cosecha. Las plántulas en bolsas se seleccionan por tamaño y número de hojas, de forma que su crecimiento en el campo es homogéneo y se pudiera cosechar durante un período relativamente corto. Los meristemas son mas precoces y tiene una mayor productividad que el plantío (primera generación) de semillas convencionales. Estas ventajas se mantiene durante el segundo ciclo de producción, las plantas de meristemas tiene mayor vigor, tiene seudotallos más gruesos y de mayor altura, mayor área foliar, más manos por racimo, menos tiempo para producir cosecha.

- El rizoma de una planta *in vitro* tiene 77% mayor cantidad de materia seca que el de un cormo convencional cinco meses después de la siembra. También, las hojas nuevas producidas por plantas *in vitro*, tiene una tasa fotosintética 18% mayor que las hojas de plantas convencionales, por lo que se duplica el área foliar funcional y el



total de la materia seca cinco meses después de la siembra. Se ha calculado hasta un 20% de aumento en la productividad por año con plantas de meristemas, en comparación con plantas propagadas convencionalmente.

- Las plantas producidas *in vitro* son plantas libres de plagas y enfermedades, semillas de malezas, etcétera, por provenir del laboratorio; presentan una rápida multiplicación, lo que sería conveniente de modo especial, si se encontrara o produjera una mejor variedad. Como se dijo anteriormente se pueden producir 2000 plantas por cultivo de tejidos de un solo meristemo. Con el sistema convencional, apenas 10 plantas pueden producirse en un año de una sola planta.

- Las plantaciones de alta densidad en hileras podrían ser sujetas a mayor mecanización y a un aumento en el ahorro en mano de obra en comparación con las plantaciones convencionales (19).

#### C. Algunas desventajas del cultivo *in vitro* en comparación con los sistemas convencionales

- Mayor costo. Su costo es generalmente cinco veces mayor que el de un rebrote en bolsa listo para sembrar.

- Requerimiento de un manejo cuidadoso al establecerlas en el campo. Como tiene un bajo contenido de nutrientes y carbohidratos, cualquier tipo de estrés puede afectarlas fuertemente; esto conlleva costos adicionales.

- Variación somaclonal. Como se dijo anteriormente, las plantas de cultivo de tejidos pueden presentar mutantes desde un 2% hasta un 50%. Para evitar esto, el laboratorio debe usar genotipos estables y no producir más de 1000 plantas del mismo meristemo; posteriormente, la selección en el vivero debe ser muy cuidadosa para evitar que dichas plantas lleguen al campo.

- Propagación de virus. Virus como el “*banana bunchy top*” y el “*banana black streak*” no son eliminados durante el proceso *in vitro*. Sin embargo, la indexación permite saber cuales plantas tiene virus.

- Pérdida de la estabilidad. Por el vigor de la planta *in vitro*, la cepa tiene a subir a la superficie del suelo y pierde su estabilidad, por lo que un viento puede volcarla fácilmente (19).

#### D. Algunas restricciones que hay que tener presentes a medida que se avance en el mejoramiento de técnica de multiplicación de plantas *in vitro*

- Evitar desviaciones genéticas mediante controles regulares;

- Haber estudiado los problemas de fisiología y nutrición que plantea la producción en masa;

- Estudiar con cuidado las fechas de suministro de plántulas, las condiciones de vivero, los ciclos de producción, de uno a dos años y haber dominado la fase de aclimatación (27).

#### E. Características de las plantas al momento de salir del vivero (diámetros, alturas, raíz, pigmentación)

Las plantas producidas *in vitro* requieren un período de aclimatación que les permita crecer y adquirir los caracteres morfológicos y fisiológicos necesarios para sobrevivir en el campo. Estas plantas cultivadas bajo condiciones de asepsia ha permanecido en un ambiente controlado, y necesitan fuentes de carbono exógeno para su crecimiento, debido a que su aparato fotosintético es pobremente desarrollado. Además, se ha desarrollado en presencia

de una humedad relativa cercana al 100%; esta condición favorece el desarrollo de un sistema foliar sensible a la deshidratación (mesófilo de empalizada con grandes espacios intercelulares, pocas estomas y una cutícula delgada desprovista de ceras). El éxito de la micropropagación *in vitro* depende en gran parte, de la capacidad para manejar las plantas a gran escala durante el periodo de aclimatación, con un alto grado de supervivencia y a bajo costo (1, 2).

Según Ballesteros (1992), la planta estará lista para salir del vivero después que llegan a 15 cm considerando en V donde empieza las hojas. Por lo general en esta fase la planta de clon Cavendish tiene cerca de 1,5 cm de diámetro, pero pueda haber variación de acuerdo a la intensidad de luz en el vivero y la densidad de plantas por metro cuadrado. Si la densidad es muy alta la plántula puede estiolar y se queda muy débil al momento de sacársele al campo (2).

Según Reyes (2003), las plantas duran dentro del vivero un total de 6 semanas, tiempo en el cual alcanzan un tamaño de 25 cm de altura y un diámetro del pseudotallo de 2.5 cm, y pueden ser transplantan al campo definitivo; la plantilla debe tener un mínimo de 7 hojas funcionales y una buena pigmentación (21).

La coloración de las hojas, desde que se haga una buena fertilización, tendrá un verde oscuro y en esta fase los clones de Cavendish acostumbran presentar machas marrón características adquiridas de una de la variedad utilizadas en el cruzamiento inicial, la *Musa sp* 'zebrina'(2).

Ramírez especifica que luego que las plantas alcanzan en bolsas de polietileno con una mezcla de suelo, una altura de mas 30 cm, pueden ser llevadas al campo definitivo (20).

### 3.1.9. SUSTRATOS

El uso de sustrato en la fase de vivero tiene gran importancia en el desarrollo inicial del cultivo ya que el sistema radicular se desarrolla en esta fase. Como la planta proviene de cultivo *in vitro* tiene una gran exigencia nutricional que no será suplida por el sustrato, pero este debe presentar característica estructurales y químicas que facilite el desarrollo de la plántula. Si se tiene un buen sustrato la planta tendrá un buen desarrollo radical y aproximadamente 6 semanas después de entrar en el vivero estarán listas para la siembra (2)

El suelo que se utilice como sustrato, debe estar preferiblemente esterilizado o proveniente de lugares libres de plantas de la Familia Musaceae para evitar problemas de plagas, y además debe permitir un buen drenaje y óptimo desarrollo radicular. Con frecuencia se preparan mezclas (1:1:1) de suelo, arena y fibra vegetal (1).

En la caracterización de los sustratos se suelen distinguir tres tipos de propiedades: físicas, químicas y biológicas; del conocimiento de estas propiedades dependerá el manejo adecuado de fertilización y del riego y por lo tanto, el éxito del cultivo (3).

El sustrato es considerado como un sistema de matriz sólida o porosa, que puede generar una combinación de poros distinta. 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 sustratos o dentro de las mismas partículas.

El esqueleto sólido y el espacio poroso de los sustratos dependen de la naturaleza del material y del tipo de empaquetamiento. El esqueleto sólido depende del tipo de material y de su distribución granulométrica (tamaño de partícula) y del grado, mezclado e isotropía (igualdad de las propiedades físicas en todas las direcciones) del empaquetamiento o configuración espacial. Un mismo material tendrá distintas propiedades en función de la granulometría y del estado de empaquetamiento de la partícula.

Las características del material que pueden conferir propiedades específicas a un sustrato son: composición, masa, densidad, compresibilidad, rugosidad, estructura interna, forma, características superficiales, isotropía y tamaño. La combinación de la estructura generada por las partículas en el espacio y las características del material (naturaleza, composición elemental y estructura interna) determinarán las propiedades físicas y químicas de un sustrato (3):

a) La estructura interna de las partículas del material determina la porosidad interna y la densidad real, mientras que la granulometría y el tipo de empaquetamiento determinan la distribución del tamaño de poros interparticulares. La densidad aparente es función de la distribución espacial y de la estructura interna del material. La porosidad es la suma de los poros internos y externos, de ella dependen las propiedades hídricas del sustrato, como la retención de humedad y la permeabilidad.

b) La composición elemental y el modo de estar los elementos fijados a la matriz de un material determinan el contenido de nutrientes y el contenido de elementos fitotóxicos, como los materiales pesados, y las actividades de intercambio de iones; también el pH, la capacidad de tampón y el contenido de sales del sustrato se derivan de la actividad química del material.

c) Tradicionalmente se han clasificado los sustratos en orgánicos e inorgánicos. La materia orgánica fresca es susceptible de descomposición dando como productos finales los ácidos húmicos y fúlvicos. También la materia orgánica confiere una serie de propiedades a los sustratos, como son la actividad enzimática, actividad reguladora del crecimiento y actividad supresora frente a patógenos.

#### A. Características de las partículas que constituyen los sustratos

Los sustratos están constituidos por partículas de características diversas que forman empaquetamiento al azar. Los sustratos tienen mayor porosidad que un suelo natural, puesto que la mayoría de los materiales que se utilizan tienen poros dentro de sus partículas, además de los poros intraparticulares. Los poros de los sustratos tienen un porcentaje más elevado de poros de mayor tamaño.

La mayoría de los materiales que constituyen los sustratos son dinámicos en cuanto a su composición química. Las condiciones de uso de los sustratos, que implican una elevada humedad, favorecen reacciones químicas que pueden afectar a su comportamiento físico, como el proceso de descomposición de la materia orgánica, solubilización o

agregación de las partículas. La presencia de partículas de carácter coloidal afecta las propiedades hídricas, independientemente de otros parámetros como la forma o tamaño de la partícula.

La composición de los sustratos puede hacer variar sus propiedades cuando se realizan mezclas o se pretenden comparar materiales distintos (3).

#### **a. Características físicas**

Las propiedades físicas de un sustrato pueden considerarse constantes en cuanto al tiempo, debido que resulta muy difícil prever las reacciones que puedan dar lugar a inestabilidad de los materiales.

- Formas de las partículas

Los sustratos suelen clasificarse desde el punto de vista de sus partículas integrantes en granulares y fibrosos. Los granulares tiene estructuras sueltas formada por partículas quasi-esféricas (arena o materiales inorgánicos). La mayoría de materiales orgánicos de origen vegetal son fibrosos, es decir, que sus partículas forman fibras más o menos alargada (3).

- Granulometría

La distribución del tamaño de las partículas que componen un material se expresa mediante la granulometría, que puede caracterizarse fácilmente mediante tamizado. El tamaño de las partículas define a su vez el tamaño de los poros situados entre ellas. Normalmente la granulometría se determina por tamizado de muestras secas al aire o a la estufa, utilizando una batería de tamices de tamaño de mayas distintos ordenados sucesivamente por tamaño de mallas, recogiendo las fracciones que quedan en cada tamiz y determinando generalmente su peso. La frecuencia, amplitud de vibración y el tiempo de tamizado influyen en el porcentaje de material que pasa a través de los tamices.

La granulometría, o tamaño de las partículas de los sustratos, muchas veces puede caracterizarse como índice único de sus estructura (3).

- Porosidad y densidad aparente

La porosidad es la cuantificación del espacio ocupado por poros en un sustrato, y también se denomina espacio de poros, espacio poroso o espacio vacío. Normalmente se expresa como porcentaje respecto a volumen aparente del sustrato. El volumen aparente es el volumen que ocupa un sustrato incluyendo la materia sólida y los poros internos o externos, tanto los abiertos como los cerrados. La densidad aparente (DA) es la relación entre la masa o peso de las partículas y el volumen aparente que ocupan.

Los sustratos por lo general tiene dos tipos de porosidad: interna y externa. La primera es la que se genera por el propio empaquetamiento de las partículas y depende del modo de empaquetamiento, tamaño del recipiente que lo

contiene, forma, tamaño y naturaleza de la partícula. La porosidad interna depende de la naturaleza de las partículas, estado e interconexión de los poros. La porosidad interna puede estar abierta o cerrada. Los poros abiertos son los que tienen conexión con el sistema de poros externos y también se les denomina poros percolantes, los poros cerrados son los que no tienen conexión con el sistema de poros externo y se le denomina no percolantes. La porosidad efectiva es la percolante, que es la que contribuye con la retención y movimiento de agua en el sustrato.

La porosidad disminuye cuando aumenta la densidad aparente de un material dado. Al comprimirse una muestra de sustrato, se observa un aumento de la densidad aparente y una disminución de la porosidad (3).

### **b. Características químicas**

La reactividad 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 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). Estos tres tipos de reactividad constituyen los parámetros químicos fundamentales en la caracterización de sustratos y permiten definir dos tipos extremos de sustratos desde el punto de vista químico (3):

- a) Sustratos químicamente inertes, son aquellos que no se descomponen químicamente o bioquímicamente, no liberan elementos solubles de forma notable ni tienen capacidad de adsorber elementos añadidos a la solución del sustrato. En los sustratos inertes no existe transferencia de materia entre el material sólido y la solución.
- b) Sustratos activos químicamente o no inertes, reaccionan liberando elementos debido a la degradación, disolución y reacción de los compuestos que forman el material sólido del sustrato o bien absorbiendo elementos en su superficie que pueden intercambiar con los elementos disueltos en la fase líquida.

Algunas determinaciones químicas que se utilizan generalmente para la caracterización de sustratos son:

- Reacción del sustrato

La reacción del sustrato es la expresión del valor en el que su pH está dentro de esta escala. Algunos materiales se hidrolizan reaccionando con el agua de modo que los iones no combinados contribuyen a acidificar o alcalinizar la solución del sustrato. El valor de pH varía en función de la dilución, por lo que cuando se comparen pH deben estar realizados con las mismas proporciones de sustrato:agua. Una disolución se denominara ácida si la concentración de iones  $H^+$  excede a la de  $OH^-$  y básica en el caso contrario; la disolución será neutra cuando la concentración de  $H^+$  y de  $OH^-$  sea igual (3).

- Conductividad eléctrica

La fase líquida del sustrato consiste en una solución acuosa de diversas sales de composición y concentración no homogénea. La composición de la solución del sustrato depende del material que forma al mismo y su concentración depende del contenido de humedad y de cómo se llena el espacio poroso, aumentando la concentración a medida que disminuye el contenido de humedad del sustrato.

La conductividad eléctrica es el valor recíproco de la resistencia eléctrica, que es la resistencia de una columna de líquido de sección  $1 \text{ cm}^2$  y longitud  $1 \text{ cm}$ . Se expresa en  $\text{dS/m}$  o  $\text{mmho/cm}$  y expresa de una manera aproximada la concentración de sales ionizadas en la solución del sustrato. La concentración total de sales afecta al potencial osmótico que está relacionado con la concentración iónica en la fase líquida. El potencial osmótico está también relacionado con la conductividad eléctrica (3).

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Es la capacidad de un sustrato de adsorber e intercambiar iones. Se expresa generalmente en miliequivalentes por  $100 \text{ gr}$  de sustrato o, mejor, por litro de sustrato. La CIC es la suma de todos los cationes intercambiables o complejos de cambio. Los cationes divalentes generalmente están adsorbidos con más fuerza que los monovalentes y se intercambian con más dificultad, excepto el  $\text{H}^+$ .

La capacidad de intercambio catiónico depende del pH. Los materiales muy ácidos, o que tienen el complejo de cambio saturado de  $\text{H}^+$ , liberan iones  $\text{H}^+$  que se intercambian con los iones de la solución. Se puede saturar el complejo de cambio de un sustrato con iones determinados mediante su titulación, los cuales pueden mantenerse mediante aportes continuos de una misma solución y actúan como tamponadores de esta solución después del tiempo. En los sustratos con CIC elevada, conviene cargar el complejo de cambio con cationes en equilibrio compatible con la solución nutritiva (3).

- Elementos nutritivos

En algunas ocasiones los materiales usados como sustratos pueden aportar directamente nutrientes, esta disponibilidad de nutrientes depende no solo de la concentración de la solución del sustrato sino también de la capacidad de tampón del sustrato, que es la capacidad del sustrato para mantener la concentración de nutrientes.

En el sustrato, los nutrientes pueden transportarse por dos mecanismos distintos: por flujo de masas o por difusión. El flujo de masas es el movimiento de convección de la solución del sustrato y en este caso, la tasa de movimiento de agua influye en la nutrición de la planta. La difusión tiene lugar por gradientes de concentración, moviéndose los nutrientes hacia aquellos puntos donde la concentración es menor, por ejemplo la superficie de las raíces. En los sustratos el fenómeno de la difusión es más importante que el de convección (3).

- Relación C/N

Es un parámetro de carácter químico, que indica el estado de descomposición de la materia orgánica. 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. En general varía entre 5 y 30 para un material compostado y un valor inferior a 20 se suele tomar como indicador de madurez y estabilidad. La relación C/N por sí sola no puede considerarse fiable para indicar la madurez de un compost. Existen algunas variantes a este índice que se consideran más fiables, como la determinación de la relación C/N-orgánico o la capacidad de intercambio catiónico (3).

## B. Materiales utilizados como sustratos

### a. Suelo

La tierra, o suelo natural, se puede clasificar de distintos modos (en función de su formación, composición mineralógica, etc.). Sin embargo, la clasificación textural es quizá la más utilizada a nivel agronómico, puesto que es indicativa de las propiedades físicas y de intercambio iónico del suelo. La tierra fina, es decir, la fracción de partículas de tamaño inferior a 2 mm, puede separarse en tres tipos de materiales siguiendo una escala logarítmica de la distribución de tamaños de partículas o granulometría. Estos tres materiales son las arcillas (0,002 mm), los limos (0,002 – 0,02 mm) y las arenas (fina, de 0,02 a 0,2 mm y gruesa, de 0,2 a 2 mm).

La proporción de arcilla, limo y arena define la clase textural de suelo (arenoso, franco, arcillo-arenoso, etc.). Mientras que en edafología el estudio de la textura no debe desligarse del estudio de la estructura del suelo, definiendo conjuntamente las propiedades físicas del mismo, en su uso en el ámbito de los sustratos, la textura es muy importante, puesto que las tierras utilizadas carecen de estructura, que se deshace en el proceso de extracción y mezcla.

Es importante también conocer el tipo de arcillas, puesto que según su composición mineralógica pueden tener propiedades físicas y químicas distintas. Las arcillas tienen una superficie específica muy elevada, por ser el volumen de las partículas muy pequeño en relación con el limo o la arena.

Las tierras tienen propiedades físicas muy distintas en función de su textura y del grado de empaquetamiento de las partículas. Estas características definen el tamaño de los poros, y por lo tanto la retención de agua de los suelos, que en materiales arcillosos y limosos tiene lugar a tensiones muy elevadas ya que a los poros son muy pequeños.

La porosidad de la tierra es baja, inferior al 60% en volumen, puesto que no existen poros internos, aunque en suelos naturales la porosidad puede aumentar hasta tomar valores similares a la de los sustratos por formarse agregados que actúan como partículas independientes con poros externos mayores y poros interiores a los agregados de tamaño reducido (la formación artificial de agregados, por ejemplo, mediante la adición de polímeros absorbentes, se utiliza para mejorar la capacidad de retención de agua y la aireación de los suelos).

En general, los suelos de textura fina no son adecuados como sustratos pues su potencial de entrada de aire es superior a la altura de los contenedores que se utilizan para el cultivo y su permeabilidad es baja. Actualmente, sin

embargo, se esta empezando (o volviendo a empezar, puesto que el uso de tierra en mezclas de sustratos es muy antiguo) a utilizar arcilla mezclada con otros materiales tradicionales en la preparación de sustratos, como la turba. No se conoce bien el papel de la arcilla en los sustratos pero se sabe que aumenta el agua difícilmente disponible por tener poros de pequeño tamaño. Esto hace pensar que la adición de arcilla puede tener un efecto beneficioso en el transplante, en cuanto a que mejora la continuidad hidráulica entre el sustrato contenido en el cepellón o que da soporte a las raíces, y el suelo circundante de la zona en que se transplanta.

La densidad de la tierra es elevada, del orden de 1200 –1500 kg de materia seca por m<sup>3</sup>, lo que debe tenerse en cuenta si el peso del contenedor con la planta es limitante.

El suelo natural tiene una fertilidad inicial, poder amortiguador físico y químico, y capacidad de intercambio catiónico elevada, que depende de la textura, así, un suelo franco puede tener entre 80 y 150 meq/1 de capacidad de intercambio catiónico, mientras que un suelo arcilloso puede tener entre 200 y 450 meq/1 (3).

## **b. Arena**

En edafología se conoce como arena la fracción granulométrica de tamaño situado entre 0,02 y 2 mm, diferenciado entre arena fina (0,02 – 0,2 mm) y arena gruesa (0,2 – 2 mm). Las arenas suelen provenir de canteras o bien de ríos. Las de canteras son más homogéneas y están formadas por granos angulosos de aristas vivas, mientras que las de río suelen tener los granos más redondeados. Las arenas, si se utilizan como tales, deben estar exentas de arcilla (3).

La composición de la arena depende del material original, tratándose generalmente de materiales silíceos con un contenido en SiO<sub>2</sub> superior al 50% en peso.

Las propiedades físicas de la arena, por ser un material granular sin porosidad interna, depende básicamente de la granulometría. A menos que los tamaños de partículas sean iguales (materiales de una misma fracción granulométrica), la arena tiende a empaquetarse, es decir, que las partículas finas llenan los espacios entre las partículas gruesas, compactando el material y reduciendo la aireación. Su densidad aparente es elevada, del orden de 1350 a 1500 kg de materia seca por m<sup>3</sup>. Su porosidad es inferior al 50%, tratándose exclusivamente de porosidad interparticular. Al contrario de lo que se suele creer, cuando se mezcla la arena en bajas proporciones no mejora la aireación de los sustratos que tienen elevada retención de agua, al contrario, si se mezcla arena fina en un sustrato aumenta la capacidad de retención de agua puesto que se reduce el tamaño de los poros interparticulares y aumenta la mojabilidad del sustrato.

Las arenas retienen agua a distintas tensiones en función del tamaño de los poros, que depende a su vez del tamaño de partículas. En general, el tamaño de poros medio es de una mitad del tamaño medio de partículas. Las arenas gruesas no son más porosas que las arenas finas, al contrario de lo que muchas veces se piensa: la porosidad depende sólo de cómo están empaquetadas las partículas (es decir, de la distribución relativa de tamaños) y no del tamaño de las



mismas. Pueden tener un contenido variable de arcillas y limos, dificultando la infiltración de agua y haciendo necesario el lavado previo a su uso. También pueden contener carbonatos lo que hace que su pH sea elevado.

El peso representa la principal limitación para su transporte: su elevada densidad aparente hace que no resulte económico el transporte por carretera a largas distancias.

Las arenas se consideran prácticamente inertes desde el punto de vista químico, siendo su capacidad de intercambio catiónico muy baja. Siempre que se especifiquen mezclas con arenas, debe especificarse la granulometría, puesto que por ser materiales finos, sus propiedades de retención de agua pueden variar considerablemente con el tamaño de las partículas (3).

### **c. Estiércol**

El estiércol consiste en la fracción sólida de los excrementos del ganado, mezclados con la cama y restos de comida. La calidad del estiércol depende del tipo de cama que se ha utilizado, del tipo de ganado, de su edad y alimentación, además del proceso de fermentación que sufre el estiércol, siendo susceptible de diversas transformaciones físicas y químicas que modifican sus características y composición. Generalmente el estiércol se estabiliza mediante el compostaje o fermentación controlada, pudiéndose mezclar con materiales como la corteza de pino que actúa de fuente de carbono durante el compostaje. El estiércol tiene pH generalmente básico y su composición salina depende de la cama utilizada. Su densidad varía entre los 300 y los 900 kg de materia seca por m<sup>3</sup>, según el estado de descomposición (3).

Los estiércoles pueden tratarse de diversas maneras para adecuarlos mejor a su uso. Entre ellas, la separación de fases, homogeneización, desodorización, composición, fermentación aeróbica o anaeróbica, evaporación y deshidratación constituyen ejemplos de tratamientos que se efectúan sobre el estiércol.

En algunos países se utiliza la digestión anaeróbica del estiércol para producir biogás; a partir del tamizado y lavado del residuo de esta digestión se obtiene un material fibroso de aspecto similar a la turba más un líquido efluente que se utiliza como abono líquido. Esta fracción sólida se utiliza como sustrato y tiene granulometría fina, densidad entre 80 y 120 kg de materia seca por m<sup>3</sup>, porosidad elevada (del orden del 95%) y aireación elevada.

El estiércol deshidratado sufre un proceso de eliminación del agua hasta valores inferiores del 15% de humedad y también se utiliza como componente de sustratos. Se denomina estiércol artificial a la mezcla de paja y abonos nitrogenados que han sufrido una fermentación. También existe el denominado estiércol o compost de lombrices, que consiste en las deyecciones de lombrices que se utilizan para descomponer la materia orgánica.

Los estiércoles se consideran generalmente como enmiendas orgánicas, en general tienen exceso de N, P, K, Mg, Ca y Cl y conductividad eléctrica elevada, por lo que, independientemente de sus propiedades físicas deben mezclarse en pequeñas dosis si se utilizan como componentes de sustratos. La conductividad eléctrica puede controlarse mediante el lavado de material (3).

#### **d. Fibra de frutos de palma africana**

La fibra del fruto de la palma aceitera se obtiene luego del proceso de extracción mediante la maceración de los frutos, de donde surgen como productos finales el aceite y el palmiste. Para la obtención del aceite es necesario pasar luego de la extracción a la clarificación, proceso que logra generar un 22% de aceite del total de la fruta cruda. Para obtener el palmiste, que es un 4.5 % del total de fruta cruda, es necesario realizar el desfibrado de los frutos previamente macerados (torta). El total de material producido mediante la desfibración de los frutos es un 12 % de fibra de frutos de palmas aceitera del total de fruta cruda que ingreso a la planta extractora.

El fruto de la palma africana es un drupa sécil, ovoide cuyo color externo cambia de acuerdo al cultivar. Es de color verdoso o negro rojizo en la parte superior; la inferior es siempre amarilla. El exocarpo es liso, duro y brillante. El mesocarpio es una masa amarillenta de parénquima rico en aceite, cruzado por fibras y haces vasculares. Contiene de un 45 a 50 por ciento de su peso en aceite, un 15 a 20 por ciento de fibras solubilizadas en agua, albúmina, materiales pécticas, azúcares y sales. El endocarpo protege la almendra, la cual consta de capas de endospermo aceitoso. La consistencia y grosor del endocarpo es una característica varietal.

Los subproductos son la fibra, cuesco y raquis, de los cuales parte de ellos es utilizado para la caldera. La fibra esta constituida por células, mas largas que las esclereidas, en general tienen los extremos puntiagudos y paredes gruesas secundarias, en el caso de las fibras del fruto de palma africana puede decirse que son fibras extraxilares, que conforman el mesocarpio del fruto de la palma (12).

Las propiedades físicas y químicas de la fibra del fruto de la palma africana son: pH de 5.9, una densidad aparente de 0.0614 g/ml, el color en seco es amarillento oscuro y en húmedo varia a grisáceo oscuro, tiene un contenido de humedad de 9.1 % (8).

El fruto de la palma africana es similar al fruto del cocotero. Por ser de características morfológicas similares y por pertenecer a la misma familia sistemáticamente hablando, se asume que existen similitudes entre las características de las fibras y lo beneficios que puede ofrecer estos material al utilizarse como sustrato .

Los subproductos resultantes del desfibrado de la nuez de coco proceden del mesocarpio de la misma y consisten en fibras largas, que se suelen utilizar para diversas actividades de manufactura, más restos de fibras y polvo, de aspecto similar a la turba, que se acumulan como residuo. Son generalmente estos restos de fibras, de longitud inferior a 2 mm, los que suelen utilizarse en mezclas como sustrato y se presentan generalmente prensadas en ladrillos que deben deshacerse y rehumectarse previamente a su uso. Las fibras largas, de longitud superior a 16 mm, se utilizan como sustratos para el cultivo hidropónico (3).

La fibra de coco consiste en partículas de lignina y celulosa, con una relación C/N de 80. Aunque en general la fibra de coco puede utilizarse fresca, para algunos tipos de fibra de coco que presentan fitotoxicidad en el material fresco es preferible el compostaje antes de su uso en mezcla para sustratos, debiéndose añadir nitrógeno en el compostaje. Este material tiene elevada capacidad de retención de agua y se ha utilizado tradicionalmente para mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos. La aplicación de la fibra de coco mejora la retencion de agua, aumenta la disponibilidad de nutrientes y aumenta la tasa de infiltración, la porosidad total y la conductividad hidráulica de los

suelos donde se utiliza como enmienda. Tiene elevado contenido de potasio, por lo que puede ser utilizada como fuente de potasio en cultivo en campo. La fibra de coco tiene bajo contenido en nutrientes, excepto para el potasio (3).

Su pH varía entre 4,0 y 7,0; su conductividad eléctrica puede variar entre 0,1 y 6,0 dS/m, procediendo la elevada salinidad del lavado o contacto con agua de mar en las zonas de origen; este aspecto puede resultar un inconveniente para el cultivo, habiéndose encontrado partidas de distintas características (es conveniente analizar todas las partidas de fibra de coco, al menos, con respecto a la salinidad). Se han descrito también algunos problemas de exceso de cloro, sodio o potasio. El contenido de materia orgánica es del 85 – 95 %. La capacidad de intercambio catiónico está entre los 20 y 30 meq/l. La porosidad total es superior al 80%, con aireación muy elevada. La conductividad hidráulica es también muy elevada. Su densidad varía entre 50 y 100 kg de materia seca por m<sup>3</sup>.

Varios estudios publicados muestran que la fibra de coco se puede utilizar con éxito como sustrato de cultivo. En cultivo hidropónico puede reemplazar a la turba de Sphagnum si se proporciona una nutrición adecuada. Durante los últimos años se está ampliando su uso en horticultura, habiéndose utilizado en países como Holanda, Inglaterra, o Australia; aunque en estos países el uso de la fibra de coco es muy reciente, en algunas zonas, como en Samoa se ha utilizado la fibra de coco para el cultivo hidropónico de hortalizas comestibles desde antes de 1973 (3).

## **3.2 MARCO REFERENCIAL**

### **3.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

La investigación se realizó en el área de vivero de la empresa TACUBA S.A., ubicada en el municipio de Ocos, del departamento de San Marcos, situada a 5 kilómetros de la cabecera municipal, a 98 de la cabecera departamental y a 278 de la ciudad de Guatemala, por la ruta internacional del pacífico CA-2 (15). El área de viveros se encontraba localizada según el meridiano de Greenwich en las coordenadas 92° 9' 26'' longitud oeste y 14° 37' 06'' latitud norte.

### **3.2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSIO-GEOGRÁFICAS**

La altitud sobre el nivel del mar es de 10 metros. Según datos de la estación meteorológica TACUBA S.A. para el año 2002, la temperatura máxima es de 33 grados centígrados, con una mínima de 21° y una media de 27°. La precipitación pluvial distribuida en los meses de mayo a noviembre, fue en promedio de 127 mm/mes. La velocidad del viento varió de 1.10 a 2.90 km/h con una dirección principalmente al norte-nororiente. La humedad relativa fue de 83 % y una radiación solar de 97207W/m<sup>2</sup> en promedio (25).

La zona de vida según Holdridge (10), es bosque seco tropical. Se extiende sobre un área de 216 km<sup>2</sup>, que representa el 0.20 % del país. Ocupa una faja ancha en las bajuras del pacífico que bordean el océano, la parte norte del Petén y una pequeña porción del valle del Motagua comprendida entre la formación anterior y el valle de menor altitud más lluvioso. El techo formado por el follaje en los bosques naturales alcanza alturas considerables que a veces sobre pasan árboles gigantes como el cedro, la caoba y la ceiba (6, 10).

### 3.2.3 RECURSOS NATURALES

#### A. Recursos hídricos

El principal recurso hídrico es el río Naranjo, del cual, por medio de motores, se lleva el agua a canales de riego que la conducen para su distribución a motores auxiliares, y estos, a diversas válvulas que proporcionan el agua al cultivo de banano por medio de aspersores (4).

#### B. Recursos forestales

En la actualidad no existe ningún bosque natural que pertenezca a la jurisdicción de la empresa, ya que esta completamente sembrada de banano, a excepción de siembra de pocos árboles de eucalipto a orillas de canales de conducción del agua de riego; existen proyectos de reforestación con *Eucaliptus camaldulensis* para cubrir riveras de ríos y caminos que limitan las fincas de la empresa (4).

#### C. Fauna y flora

Conejos, iguanas, lagartijas, siendo las ratas y tacuacines, los que desempeñan un rol mas importante, debido a los agujeros que hacen en el suelo, provocando volcamiento de plantas y con ello pérdidas de racimos; la flora principal es el propio cultivo de banano, y las malezas que pueden presentarse como propias del agrosistema (4).

#### D. Relieve

Presenta un relieve casi plano, con riesgo de erosión de regular a bajo, pendiente no mayor al 1%, lo que permite que se pueda mecanizar fácilmente (4).

#### E. Suelos

Estos suelos están desarrollados sobre materias fluvio-volcánicas recientes, a elevaciones bajas. Son los suelos más profundos de Guatemala. Su pH es de neutro a ligeramente ácido. En ella puede desarrollarse el cultivo de algodón, banano, caña de azúcar, citronela y otros, con fines industriales o para exportación. Se encuentran localizados en la planicie costera del pacífico y se extiende desde México o en la totalidad de los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez, Retalhuleu, Escuintla (23).

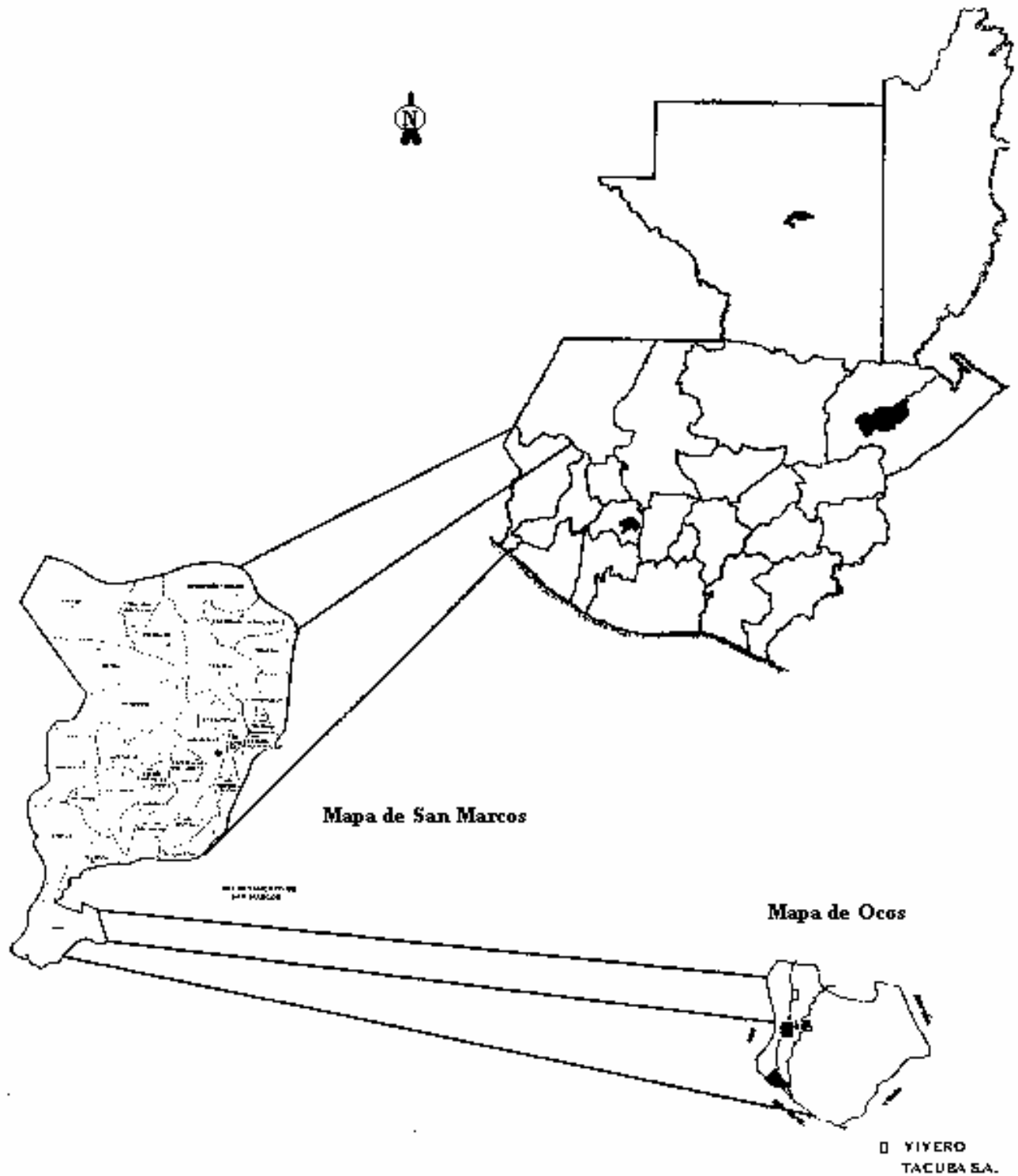
### 3.2.4 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Ramírez (20), realizó una investigación sobre Micropropagación de plátano (*Musa AAAB*) y (*Musa AAB*), en el laboratorio de cultivo de tejidos vegetales, disciplina de Biotecnología, ICTA, Quetzaltenango; con ésta, logro validar

el método de cultivo para la micropropagación del híbrido FHIA-21 y del cultivar criollo, ya que obtuvo una respuesta satisfactoria al cultivo, según lo reportado en la literatura para esta especie. Sin embargo no continuó las etapas de propagación hasta el establecimiento de las plantas al campo definitivo.

Nava (17), evaluó el comportamiento de plántulas del clon de plátano Harton (*Musa* AAB) en el Sur del Lago de Maracaibo. Es una investigación de la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, donde se determinó que las plantas originadas de "semilla" presentaron significativamente en el campo mayor grosor del seudotallo que aquellas provenientes de meristemas. No hubo diferencia significativa entre las plántulas aclimatadas en el vivero y en el área de producción. Por lo menos hasta la fase de crecimiento, el comportamiento de las plántulas originadas de meristemas *in vitro* fue satisfactorio en cuanto al proceso de obtención en el laboratorio, lo que se ve reflejado en la no aparición de plantas fuera de tipo.

En cuanto al sitio de aclimatación de las plántulas *in vitro*, a pesar de que los parámetros medidos indican similitud de comportamiento, en la práctica los costos son similares (el gasto en bolsas, arena, mantenimiento) se compensan, por el mayor precio de las plántulas con mayor tiempo en el vivero pero el productor maneja su material, decide sobre el mejor momento para la siembra y las plántulas en bolsas presentan mayor volumen radical. En la actualidad el costo de la "semilla" es más bajo que el de las plántulas. En el primer caso debe considerarse el valor en sí o la sacada, pelado, tratamiento químico o físico, y traslado al sitio de siembra. En el segundo caso, el valor en sí, traslado al área, aclimatación (bolsa plástica, sustrato, mantenimiento) por 15 o más días en la finca o sitio de siembra (17).



**Figura 1.** Ubicación geográfica del experimento. Viveros TACUBA S.A. (sin escala) (15).

#### 4. OBJETIVOS

##### GENERAL:

Determinar el efecto de diferentes de mezclas de sustratos, sobre el tiempo para alcanzar el desarrollo en 2.5 cm de diámetro, 25 cm de altura y un número de 7 hojas de las *vitro*-plantas de banano en la fase de aclimatación en vivero.

##### ESPECÍFICOS:

- Establecer el efecto de 6 mezclas de sustratos sobre el tiempo para aclimatar *vitro*-plantas de banano en vivero.
- Caracterizar los sustratos según algunas propiedades físicas (Textura, Densidad aparente, Capacidad de campo y Punto de marchitez permanente) y químicas (pH, % Materia orgánica, Capacidad de intercambio cationico, Macro y microelementos, Relación C/N).
- Realizar un análisis de Costos unitarios promedios, Ingresos netos y Rentabilidad de cada uno de los tratamientos.

## 5. HIPÓTESIS

- La mezcla de sustrato compuesta de 75 % de fibra de frutos de palma africana y un 25 % de arena de río, utilizada para la aclimatación de *vitro*-plantas de banano en vivero, producirá plantas con siete hojas verdaderas, diámetro de seudotallo de 2.5 cm y una altura de 25 cm, en cinco semanas.



## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 MATERIAL EXPERIMENTAL

El material vegetativo que se utilizó en la presente investigación fueron *vitro*-plantas de banano del clon Galil-12, perteneciente al grupo Cavendish. Este grupo es el que se produce a nivel mundial para la exportación bananera para consumo en fresco o como postre. Galil-12 es un clon con el que no se cuenta en el área y que ofrece ser superior al Gran Nain. Las *vitro*-plantas fueron regeneradas por métodos de micropropagación de la empresa Galiltec S.A. de C.V. de Honduras, así como endurecida y aclimatadas en invernaderos; luego fueron transportadas por vía terrestre hacia la empresa TACUBA S.A. a temperaturas entre 18 y 25 °C bajo sombra, dentro de cajas de cartón de 1040 plantas.

Los materiales que fueron utilizados como sustratos, se encontraban presentes en el área y ofrecían ser buenas alternativas al ser usados con este fin. Dentro de los materiales están: arena de río, fibra de frutos de palma africana, suelo del lugar y estiércol bovino. Los materiales orgánicos no fueron sometidos a ningún proceso de descomposición, únicamente la fibra de frutos de palma africana fue picada y pasada por una maya de 2 mm para reducir el tamaño de las partículas. Estos materiales fueron mezclados en diferentes proporciones, tratando de generar sustratos con características físicas y químicas adecuadas para el desarrollo de las *vitro*-plantas en vivero.

### 6.2 DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS EVALUADOS

Se utilizaron 6 mezclas de sustratos, cada uno a diferentes proporciones de los materiales empleados, para hacer un total de 6 tratamientos con 3 repeticiones o bloques cada uno. Las proporciones de los materiales se realizaron basándose en experiencias prácticas, así como de información de diferentes fuentes bibliográficas. En el cuadro 1, se presentan los materiales empleados y las proporciones de los mismos, para formar cada uno de los tratamientos.

**Cuadro 1.** Descripción de los tratamientos evaluados en el vivero de aclimatación de *vitro*-plantas de banano, de la empresa TACUBA S.A., 2003.

No. TRATA MIENTO	PROPORCIÓN V/V (%)			
	SUELO DEL LUGAR	ESTIÉRCOL BOVINO	FIBRA DE FRUTO DE PALMA AFRICANA	ARENA DE RÍO
1	25	25	25	25
2	0	25	50	25
3	0	50	25	25
4	0	0	75	25
5	0	0	50	50
6	100	0	0	0

### 6.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

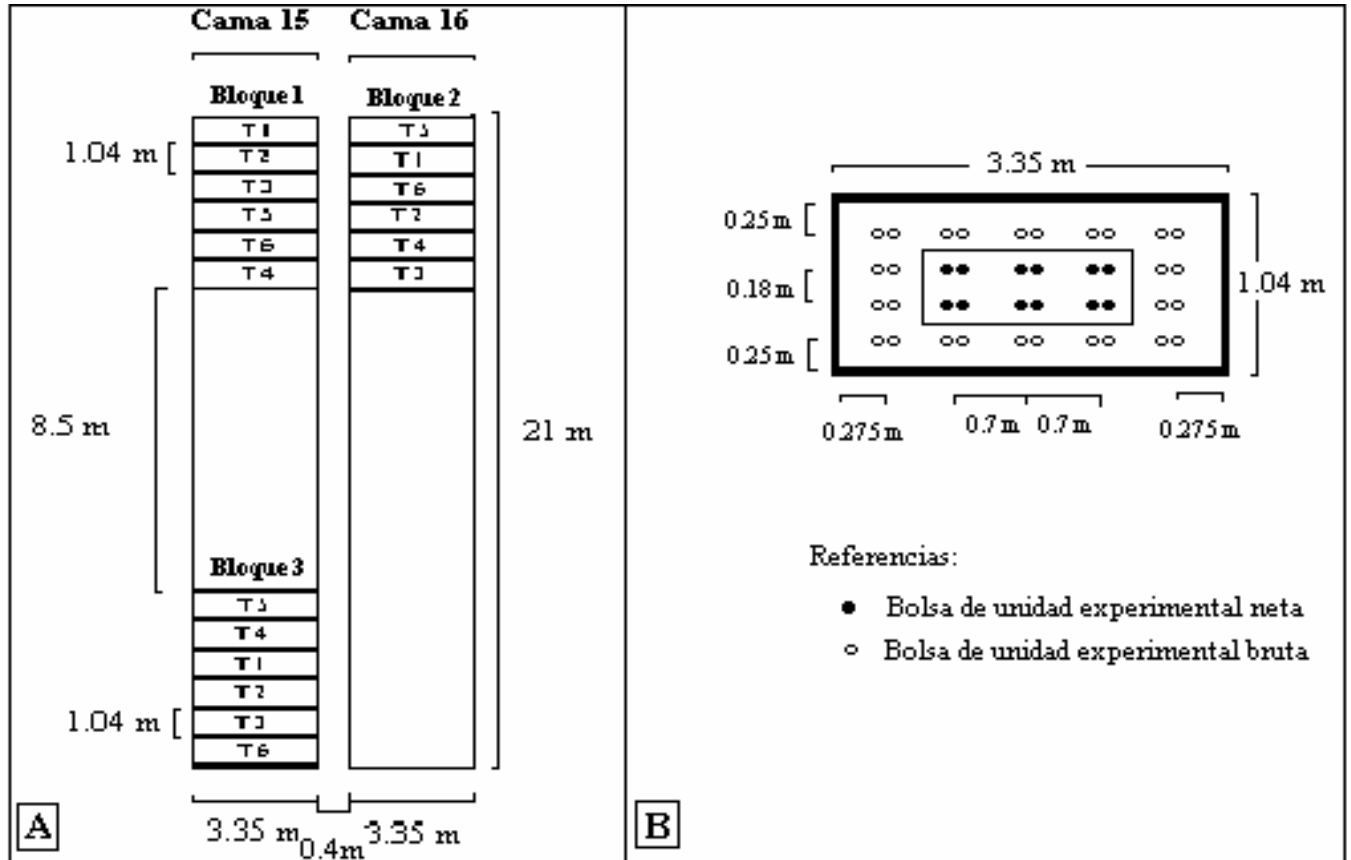
El diseño experimental utilizado para el análisis de la información fue el de Bloque Completos al Azar, para bloquear el efecto del número de hojas con que las plantas llegan al vivero. El total de tratamientos fue de seis, con tres bloques o repeticiones, todos con una altura de 5.5 cm y distribuidos de la siguiente forma: bloque 1 = *vitro*-plantas con 3 hojas, bloque 2 = *vitro*-plantas con 4 hojas, bloque 3 = *vitro*-plantas con 5 hojas procedentes del invernadero.

### 6.4 UNIDAD EXPERIMENTAL

Cada unidad experimental total estaba compuesta de 40 *vitro*-plantas cultivadas en bolsas de polietileno de 1 ½ litros con agujeros, llenadas con su respectiva mezcla de sustrato, trabajándose con una unidad experimental neta de 12 *vitro*-plantas. Las *vitro*-plantas median 5.5 centímetros de altura de la base del seudotallo a la bifurcación en V de las últimas dos hojas, y contaban con un número de 3, 4 y 5 hojas generadas en el invernadero.

En total fueron 18 unidades experimentales, distribuidas en las camas número 15 y 16 del vivero número 5 de la empresa TACUBA S.A. Las dimensiones de cada unidad experimental total fueron de 3.484 m<sup>2</sup>, definidas por el distanciamiento entre plantas, el área empleada para el ensayo y el manipuleo del material.

**Figura 2.** Distribución espacial de los tratamientos, área de vivero número 5, TACUBA S.A., Ocos, San Marcos. A) Distribución y distanciamiento de bloques y unidades experimentales. B) Distanciamientos de bolsas dentro de las unidades experimentales.



## 6.5 VARIABLES DE RESPUESTA

### 6.5.1 ALTURA DE LA PLÁNTULA

Esta variable se empezó a medir cuando las plántulas cumplieron 3 semanas en vivero. La toma de datos se efectuó semanalmente hasta que se cumplieron seis semanas, utilizándose para ello una cinta métrica. La medición se realizó desde la base del seudotallo de las *vitro*-plantas hasta la bifurcación en V de las últimas dos hojas.

### 6.5.2 DIÁMETRO DEL SEUDOTALLO

El diámetro basal de las *vitro*-plantas de banano, fue medido una vez cumplidas tres semanas después del transplante en vivero. Este diámetro se evaluó 1 centímetro arriba de la base del seudotallo de las *vitro*-plantas, con una cinta diamétrica. La toma de datos se efectuó semanalmente hasta que las plantas cumplieron 6 semanas.

### 6.5.3 NÚMERO DE DÍAS PARA QUE LA PLANTA ALCANCE SIETE HOJAS VERDADERAS

Una vez que las plántulas habían cumplido un mes en vivero, se realizó el conteo del número de hojas que la planta emitía cada semana. Cuando la planta presento siete hojas verdaderas en el vivero, se anotó el número de días que fueron necesarios para alcanzar esta variable.

## 6.5.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUSTRATOS

Al inicio del experimento, teniendo las mezclas homogéneas con diferentes proporciones de los materiales usados como sustratos se tomaron 5 sub-muestras, de las cuales se hizo una muestra homogénea. Las muestras fueron llevadas a el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala para analizar el contenido de macro y micronutrientes, materia orgánica, pH, Capacidad de intercambio cationico, Relación C/N, Textura, Densidad aparente, Capacidad de campo y Punto de marchitez permanente.

**Cuadro 2.** Métodos utilizados en laboratorio para determinar algunas propiedades físicas y químicas de los sustratos.

DETERMINACIÓN	MÉTODO
Fósforo (%)	Colorimetría
Potasio (%)	Espectrofotometría de absorción atómica
Nitrógeno (%)	Metodología de Kjeldahl
pH	Potenciómetro relación 1:2.5
Materia Orgánica (%)	Fórmula
CIC	Peech (Acetato de Amonio pH 7)
Elementos secundarios	Espectrofotometría de absorción atómica
Microelementos	Espectrofotometría de absorción atómica
Relación C/N	Fórmula
D ap.	Probeta
CC	Olla de presión (1/3 atm. de presión )
PMP	Olla de presión (15 atm. de presión)
Clase textural (Suelo)	Triángulo de texturas

## 6.6 MANEJO DEL EXPERIMENTO

### 6.6.1 PREPARACIÓN DE SUSTRATOS

Los materiales fueron recolectados y transportados hacia el área de vivero. Únicamente la fibra de frutos de palma africana fue la que se sometió a una desintegración de las partículas, para aumentar el área superficial y el número de éstas, así como, mejorar la forma y tamaño. El estiércol bovino no sufrió ningún tipo de tratamiento para su descomposición, más que la que se dio en el tiempo que estuvo acumulado en los corrales que fue de uno a dos meses.

La arena de río, el suelo y el estiércol fueron pasados por una malla para cernir de 4 mm de diámetro, mientras que la fibra de frutos de palma africana fue pasada por una picadora eléctrica de molino de martillos, con saranda número 3, que da un tamaño de partícula de 2 mm.

Luego los materiales fueron mezclados de manera homogénea, cumpliendo con las proporciones planteadas para cada uno de los tratamiento evaluados que se presentan en el cuadro número uno.

Los sustratos no fueron sometidos a ningún tipo de desinfección, para tratar de hacer una caracterización biológica de los materiales y determinar si existía la presencia de enfermedades o plagas que causaran daños a las *vitro*-plantas de banano en el vivero.

### 6.6.2 LLENADO DE BOLSAS

Se llenaron un total de 720 bolsas para realizar la investigación, a cada tratamiento o sustrato le correspondían 120 bolsas. Luego fueron colocadas según los distanciamientos y la aleatorización correspondiente que se presentan en la figura No. 2, en los 3 diferentes bloques.

Se procedió a llenar las bolsas en su totalidad con la mezcla homogénea de sustrato que le correspondía según el tratamiento, y se apelmazaron para lograr una compactación y llenado uniforme de los contenedores.

### 6.6.3 FERTILIZACIÓN

La fertilización se manejó de igual manera para todos los sustratos, utilizando el mismo método que se emplea comúnmente para suplir los requerimientos nutricionales de las *vitro*-plantas, especialmente de elementos menores. Se aplicaron 2 gr de Osmote plus, el cual es un fertilizante de liberación lenta. Esta aplicación fue por bolsa, y se hizo antes del trasplante.

### 6.6.4 TRANSPLANTE

Para el trasplante de las *vitro*-plantas fue necesario humedecer las bolsas para luego ahoyar con trozos de madera con la forma y tamaño del pilón. Se utilizaron únicamente plantas con una altura de 5.5 cm desde la base delseudotallo a la bifurcación en V de las últimas dos hojas. El número de hojas fue también tomado en cuenta al momento del trasplante para bloquear el efecto que puede causar este factor en los resultados de la investigación; la distribución de las plantas por número de hojas procedentes del invernadero se hizo de la siguiente forma: bloque 1 = *vitro*-plantas con 3 hojas, bloque 2 = *vitro*-plantas con 4 hojas, bloque 3 = *vitro*-plantas con 5 hojas. Las *vitro*-plantas fueron introducidas en el sustrato hasta el cuello de la raíz y en una posición lo más firme posible. Las *vitro*-plantas se aclimataron durante la fase de vivero, en sombreadores o sarañes con 50% de sombra.

### 6.6.5 RIEGO Y FERTIRRIGACIÓN

Durante la primera semana en vivero, a las *vitro*-plantas únicamente se les aplicó riego durante 30 minutos en la mañana y 15 minutos por la tarde, por medio de micro-aspersores con un volumen de descarga de 160 lts/hr. Cada válvula contó con un número de 60 micro-aspersores.

Una vez cumplida una semana en vivero, las *vitro*-plantas fueron sometidas a fertirrigaciones diarias, dentro de las cuales se elevó la concentración de fertilizantes semanalmente de manera gradual. Esta dosis de fertilizantes se disolvió en 100 lts de agua y se introdujo a la tubería de riego por medio de una bomba inyectora de fertilizante.

**Cuadro 3.** Dosis de fertirrigación, correspondiente a la evaluación de sustratos para aclimatación de *vitro*-plantas de banano en vivero. TACUBA, S.A., 2003.

Semana	Producto	Dosis	Tiempo
1	-----	-----	45 min.
2	Triple-15	5 kg/válvula/día	45 min.
3	Triple-15	6 kg/válvula/día	45 min.
4	Triple-15	7 kg/válvula/día	45 min.
5	Triple-15	8 kg/válvula/día	45 min.
6	Triple-15	9 kg/válvula/día	45 min.

Las aplicaciones de fertirriego se realizaron todos los días a las 11:00 AM, estas aplicaciones eran de lunes a sábado, aplicando el día domingo un lavado de sales únicamente con agua durante 45 minutos, para evitar quemaduras celulares tanto en raíces como en hojas por una alta concentración de sales dentro de los sustratos.

### 6.6.6 CONTROL DE MALEZAS

La eliminación de malezas de los sustratos se realizó dos veces a lo largo del ciclo, la primera fue al cumplir tres semanas y la segunda fue al cumplir las *vitro*-plantas cinco semanas en el vivero. El control de malezas fue manual, tratando de arrancar la planta completamente de los sustratos.

### 6.6.7 CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

En el vivero solo se presentaron problemas con diabroticas y larvas de lepidópteros, para su control fue necesario el uso de Zipermetrina 25 EC en dosis mínimas, solamente dos veces por ciclo; en la tercera semana y en la quinta semana para que las plantas salieran sin daños al campo.

Se presentaron solamente dos casos de plantas enfermas con *Erwinia*, por lo cual fueron eliminadas del vivero en su totalidad. Estos casos se presentaron únicamente en los tratamientos que tenían como sustrato suelo al 100%.

En el caso de los sustratos que contenían algún porcentaje de fibra de frutos de palma africana se pudo observar el crecimiento de algunos hongos del género *Mycena* sp., el cual es saprófito y se desarrolla sobre las partículas del sustrato sin causar daño a las *vitro*-plantas de banano. Estos fueron eliminados manualmente y se desarrollaron solo en las primeras tres semanas de permanencia en el vivero.

## 6.7 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

### 6.7.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con los resultados que se obtuvieron en el experimento se procedió a efectuar un análisis de varianza (ANDEVA) para los seis tratamientos, una vez que las plántulas de uno de los tratamientos alcanzó en promedio los parámetros mínimos requeridos de 25 cm de altura y 2.5 cm de diámetro, ocurriendo esto 35 días después del

transplante en vivero. De igual manera, cuando las plantas cumplieron seis semanas o 42 días dentro del vivero, se realizó el análisis de varianza para las variables de respuesta antes mencionadas.

Cumplidas las seis semana en vivero, se hizo el análisis de varianza para la variable de respuesta número de días para alcanzar siete hojas verdaderas. El ANDEVA para cada una de las variables de respuesta evaluadas, se realizó con el diseños de bloques completos al azar simple.

El modelo lineal utilizado para este análisis, fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t$$

$$j = 1, 2, \dots, r$$

de donde,

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

$\mu$  = Efecto de la media general.

$\tau_i$  = Efecto del i-ésimo sustrato.

$\beta_j$  = El efecto del j-ésimo bloque.

$\varepsilon_{ij}$  = Efecto del error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental .

Cuando existió diferencia estadística significativa en los correspondientes análisis de varianza para las variables en estudio, se realizaron pruebas de Tukey al 5% de significancia, para la interacción o efectos simples.

## 6.7.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico se realizó sobre la base de producir 48,000 *vitro*-plantas de banano por vivero, y se tomaron los precios actuales de cada uno de los materiales y mano de obra utilizada en el ensayo. El valor estimado de las planta ya aclimatada en el mercado fue de Q 8.00, siendo necesario considerar las perdidas de un 8 % de *vitro*-plantas debido a mutaciones que se presentan y se observan en esta etapa, reduciéndose el total de la producción a 44,160 plantas por vivero. La estimación se realizó asumiendo que todos los materiales necesarios para la construcción del vivero se utilizaban en seis ciclo de aclimatación.

Los parámetros económicos analizados fueron los siguientes:

- Costos Unitarios Promedios

$$CUP = \frac{CT}{Producción}$$

- Ingresos Netos

$$IN = IT - CT$$

- Rentabilidad

$$\% \text{ de Rentabilidad} = \frac{IT - CT}{CT} \times 100$$

donde,

IT = Ingreso total

CT = Costo Total

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para verificar si existió diferencia significativa entre los tratamientos, se procedió a realizar un análisis de varianza para las variables de respuestas evaluadas en la presente investigación, una vez que las medias de algunos tratamientos habían alcanzado los parámetros mínimos de aclimatación, tales como 25 cm de altura y 2.5 cm de diámetro. La toma de datos para las variables de respuesta se realizó semanalmente, a partir de 21 días después de transplante, hasta los 42 días (Cuadro 13 “A”), para conocer los cambios en las variables, según los sustratos evaluados en relación con el tiempo en semanas en vivero. Para la variables de respuesta número de días para que la planta alcance siete hojas verdaderas, se realizó el análisis de varianza a los datos obtenidos en el experimento (Cuadro 14 “A”), una vez concluído el tiempo en vivero máximo de 42 días.

### 7.1 ALTURA DE LA PLÁNTULA.

Según el análisis de varianza, realizado a los 35 días (5 semanas) después del transplante, a la variable de respuesta, altura de las plántulas (apéndice 3, página 59), habiendo alcanzado los tratamientos 3 y 6 la media mínima de 25 cm de altura, se puede afirmar que existió diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados. Por lo cual, se procedió a realizar la comparación múltiple de medias, a través de la prueba de Tukey (alfa = 0.05), para esta variable, la cual se presenta en el cuadro 4.



**Cuadro 4.** Prueba múltiple de medias de Tukey (alfa = 0.05) de la variable altura de las plántulas de los tratamientos evaluados a 35 días después del transplante en vivero. TACUBA S.A. 2003.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cm)	Grupo Tukey
3	Estiércol + Arena + Fibra (2:1:1)	26.780	A
6	Suelo (testigo)	25.093	A
1	Estiércol + Arena + Fibra + Suelo (1:1:1:1)	23.867	A
2	Estiércol + Arena + Fibra (1:1:2)	23.780	A
5	Arena + Fibra (1:1)	17.100	B
4	Arena + Fibra (1:3)	17.047	B

Se presenta dos grupos bien definidos, teniéndose 4 sustratos que no presentan diferencias significativas, aún y cuando, solamente los sustratos 3 y 6 han alcanzado la altura mínima de 25 cm que las plantas necesitan para salir del vivero. La principal característica de los sustratos 3, 6, 1 y 2, que presentan medias con valores más altos, es el aporte de nutrientes que ofrece, dado por los materiales que lo componen, tales como estiércol y suelo, y la proporción de los mismos dentro de cada mezcla.

Según el análisis de varianza, realizado a los 42 días después del transplante, a la variable de respuesta, altura de la plántula (apéndice 3, página 61), hay evidencia suficiente para afirmar que existió diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados, por lo cual fue necesario establecerlas con la realización de una prueba múltiple de medias de Tukey (alfa = 0.05), para esta variable, la cual se presenta en el cuadro 5.

**Cuadro 5.** Prueba múltiple de medias de Tukey (alfa = 0.05) de la variable altura de las plántulas a los tratamientos evaluados a 42 días después del transplante en vivero. TACUBA S.A. 2003.

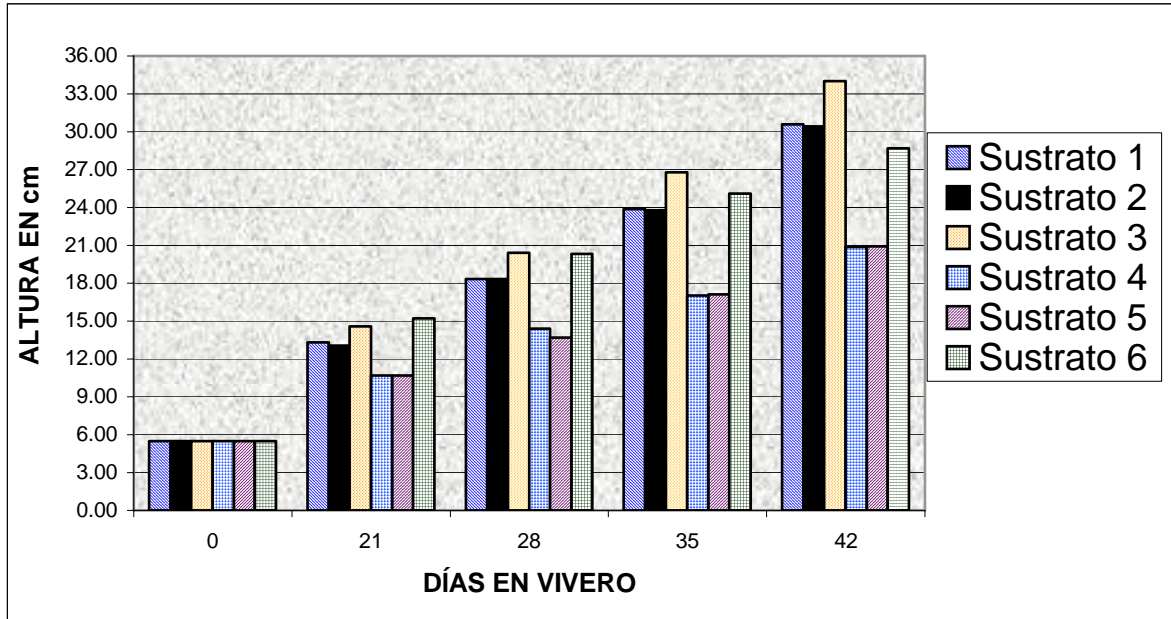
No. Trat.	Tratamiento	Media (cm)	Grupo Tukey
3	Estiércol + Arena + Fibra (2:1:1)	33.997	A
1	Estiércol + Arena + Fibra + Suelo (1:1:1:1)	30.610	A
2	Estiércol + Arena + Fibra (1:1:2)	30.403	A
6	Suelo (testigo)	28.690	A
5	Arena + Fibra (1:1)	20.923	B
4	Arena + Fibra (1:3)	20.883	B

Para las lecturas realizadas a la variable de respuesta altura de la plántula, los valores más altos los presentaron los tratamientos formados de las mezclas: Estiércol + Arena + Fibra (2:1:1), Estiércol + Arena + Fibra + Suelo (1:1:1:1), Estiércol + Arena + Fibra (1:1:2) y Suelo (testigo), con medias en el último análisis de varianza realizado a los 42 días después del trasplante de 33.99, 30.61, 30.40, y 28.69 cm respectivamente; existiendo dos grupos definidos en cuanto a la variable altura de las *vitro*-plantas. La cantidad de estiércol dentro de los sustratos, fue uno de los factores determinantes en el desarrollo en altura de las *vitro*-plantas en vivero, dado por el aporte de nutrientes, principalmente nitrógeno disponible. Aún y cuando se presentan cantidades adecuadas de nutrientes dentro de la totalidad de las mezclas de sustratos evaluadas, estos pueden estar en su mayoría presentes de manera potencial, pero no disponibles a las raíces de las plántulas; tal es el caso del sustrato 4, que presenta valores altos en el contenido de nitrógeno total, según el análisis de laboratorio realizado (Cuadro 9).

Para analizar esta variable de respuesta, se elaboró una gráfica descriptiva de la altura de las plántulas respecto al tiempo en semanas que duraron las *vitro*-plantas de banano en la fase de aclimatación en vivero, en función del sustrato utilizado, a partir de los 21 días después del trasplante.

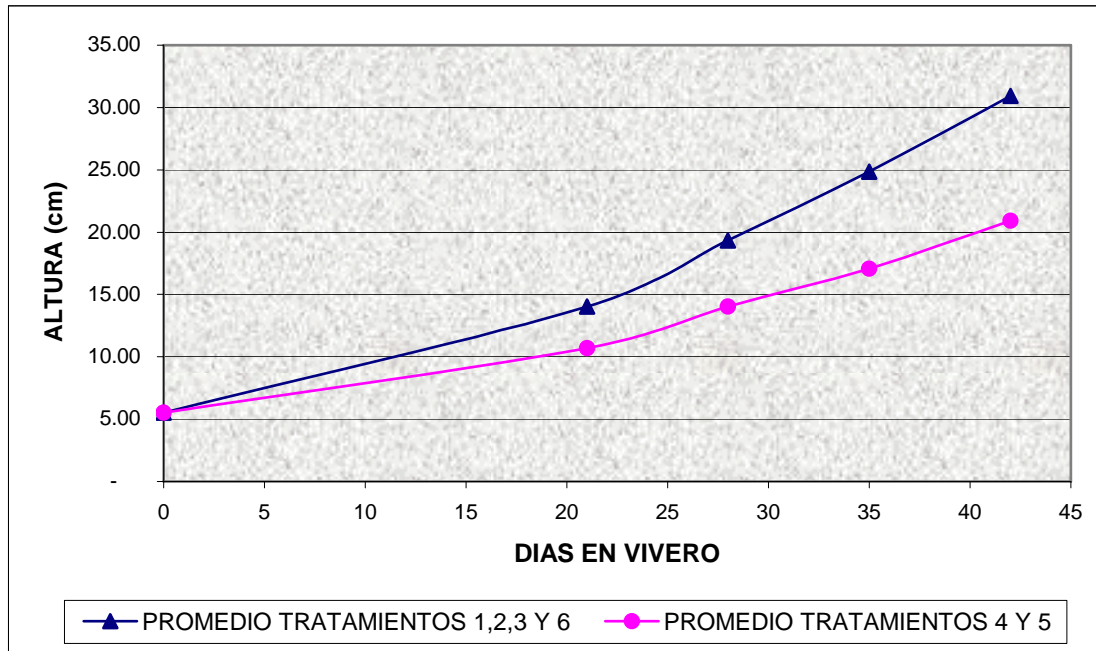
En la figura 3 se muestra el comportamiento de esta variable, indicando que el sustrato 3 compuesto por Estiércol + Arena + Fibra (2:1:1), fue el que presentó medias mas altas con valores de 26.78 a los 35 y 34.00cm a los 42 días, seguido por los sustratos 1 (Estiércol + Arena + Fibra + Suelo (1:1:1:1)) y 2 (Estiércol + Arena + Fibra (1:1:2)), que al final del experimento que presentaron medias de 30.61 y 30.40 cm respectivamente. El testigo presentó una media de 28.690, la cual fue significativa, según el análisis de varianza realizado a los 42 días despues del trasplante. Es evidente la ventaja de utilizar sustratos activos químicamente, ya que como se observa, reaccionan liberando elementos debido a la degradación, disolución y reacción de los materiales que formaban las mezclas de sustratos, o bien absorben elementos en su superficie que pueden intercambiar con los elementos disueltos en la fase líquida (3).

**Figura 3.** Dinámica de crecimiento para la variable de respuesta altura de las plántulas, en función del sustrato utilizado para la aclimatación de *vitro*-plantas de banano. TACUBA S.A., 2003.



En la gráfica 3 se puede observar, el efecto que el estiércol causó a lo largo de los 42 días de las plantas en vivero, haciéndose más evidente sus bondades químicas a partir de los 28 días después del trasplante. Pudiendo ser causado por la utilización de estiércol bovino sin compostar, y sabiendo que este material es dinámico en cuanto a su composición química, favoreciéndose dentro del vivero con una elevada humedad y altas temperaturas en el área, a acelerar los proceso de descomposición de la materia orgánica, aportando a lo largo del experimento más nutrientes, principalmente nitrógeno.

**Figura 4.** Curva de crecimiento para la variable altura de las plántulas según los grupos establecidos al realizar la prueba múltiple de medias de Tukey (alfa = 0.05) después de 35 días en vivero en función del tipo de sustrato utilizado.



En la figura 4 se observan las curvas de crecimiento para la variable de respuesta altura de las plántulas, formándose dos grupos bien definidos, según los resultados de la prueba múltiple de medias. Se agruparon en la letra B los sustratos inertes 4 y 5, compuestos de arena y fibra de frutos de palma africana, presentando los valores medios más bajos; también los sustratos 1, 2, 3 y 6 fueron agrupados en la letra A, los cuales estaban compuestos de suelo, estiércol, arena y fibra a diferentes proporciones. Es muy notable, el efecto que produce el utilizar sustratos que contiene materiales que brindan un aporte adicional de nutrientes de manera constante a las *vitro*-plantas, tales materiales fueron el estiércol y el suelo, causando mayores beneficios a partir de los 21 días en vivero, haciéndose más evidente las bondades químicas del estiércol a lo largo de la investigación, ya que los sustratos que contenían este material presentaron las medias más altas.

## 7.2 DIÁMETRO DEL SEUDOTALLO

Según el análisis de varianza realizado para la variable de respuesta diámetro delseudotallo, una vez que las *vitro*-plantas cumplieron 35 días (5 semanas) después del trasplante (apéndice 3, página 60), tiempo en el cual los sustratos 3, 2, 1 y 6 ya habían alcanzado un diámetro mayor al mínimo requerido de 2.5 cm para que las plantas salgan del vivero, se pudo observar que existieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados, por lo que se procedió a realizar la comparación múltiple de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para esta variable. En el cuadro 6, se muestra el resultado de la comparación múltiple de medias.

**Cuadro 6.** Prueba múltiple de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para la variable de respuesta diámetro delseudotallo de las *vitro*-plantas de los tratamientos evaluados, 35 días después del trasplante en vivero. TACUBA S.A. 2003.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cm)	Grupo Tukey
3	Estiércol + Arena + Fibra (2:1:1)	2.86333	A
2	Estiércol + Arena + Fibra (1:1:2)	2.61333	B
1	Estiércol + Arena + Fibra + Suelo (1:1:1:1)	2.60333	B
6	Suelo (testigo)	2.52000	B
5	Arena + Fibra (1:1)	2.04333	C
4	Arena + Fibra (1:3)	1.98000	C

Se presentan 3 grupos bien definidos, con diferencias estadísticas significativas entre ellos. A el grupo Tukey de la letra A, perteneció únicamente el sustrato 3, compuesto de Estiércol + Arena + Fibra (2:1:1) con una media de 2.86 cm de diámetro, siendo éste el mejor tratamiento a los 35 días después del transplante, lográndose reducir en una semana el tiempo en vivero. El encontrar diferencias estadísticas significativas para esta variable tiene gran importancia, debido a que, según Alves (1999) y Ballesteros (1992), existe evidencia que el número de raíces tiene relación con el grosor del seudotallo o diámetro, por lo cual, se puede asegurar una adecuada adaptación en la siembra al campo definitivo de las plantas aclimatadas con este sustrato, y se debe considerar como una de las variables más importantes estudiadas en la presente investigación. Los sustratos 2, 1 y 6, conforman el segundo grupo con la letra B, presentando medias de 2.61, 2.60 y 2.52 cm, no presentando diferencias estadísticas significativas entre ellos. Habiendo alcanzado ya, de igual manera, los 2.5 cm de diámetro mínimos, para que las plantas salgan del vivero.

Según el análisis de varianza realizado para la variable de respuesta diámetro del seudotallo, cuando las *vitro*-plantas cumplieron 42 días o seis semanas en vivero (apéndice 3, página 62), existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados, por lo que se procedió a realizar una prueba múltiple de medias de Tukey (alfa=0.05), la cual se presenta en el cuadro 7.

**Cuadro 7.** Prueba múltiple de medias de Tukey (alfa = 0.05) para la variable de respuesta diámetro del seudotallo de los tratamientos evaluados, 42 días después del transplante en vivero. TACUBA S.A. 2003.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cm)	Grupo Tukey
3	Estiércol + Arena + Fibra (2:1:1)	3.32000	A
1	Estiércol + Arena + Fibra + Suelo (1:1:1:1)	3.07333	A B
2	Estiércol + Arena + Fibra (1:1:2)	3.03333	A B
6	Suelo (testigo)	2.87000	B
5	Arena + Fibra (1:1)	2.33667	C
4	Arena + Fibra (1:3)	2.31000	C

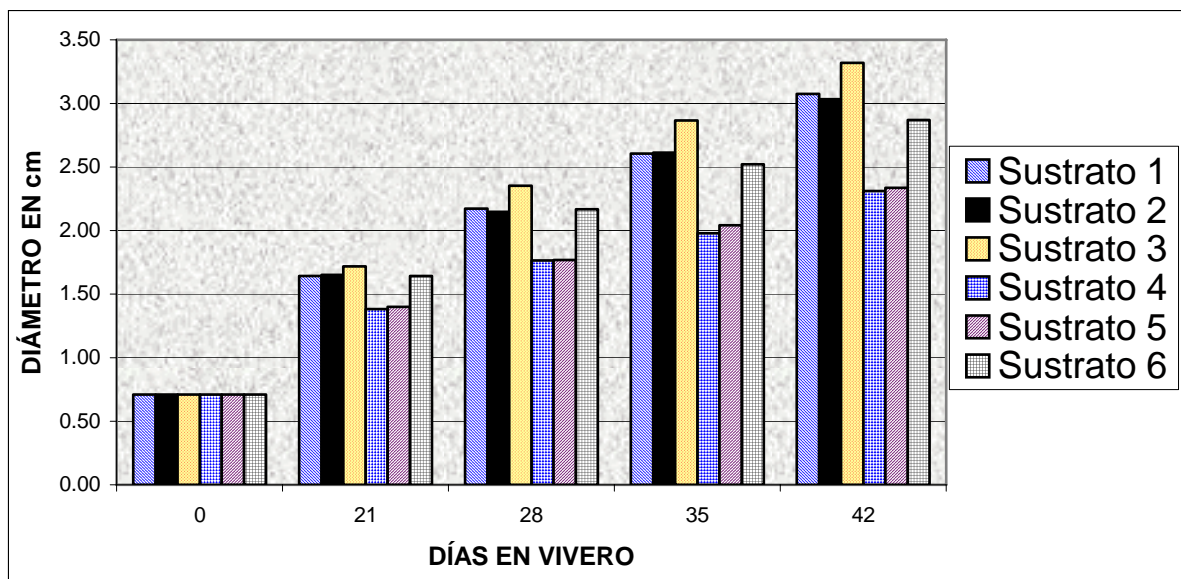
Las medias más altas a los 42 días después del transplante son de 3.32, 3.07, 3.03, 2.87 cm de diámetro para los sustratos Estiércol + Arena + Fibra (2:1:1), Estiércol + Arena + Fibra + Suelo (1:1:1:1), Estiércol + Arena +

Fibra (1:1:2) y Suelo (testigo) respectivamente, sin diferencias estadísticas significativas entre ellos. Definiéndose dos grupos al resumir los resultados de la prueba de medias de Tukey, con diferencias estadísticas significativas entre ellos.

Es evidente, que el aporte de nutrientes que los sustratos puedan brindarles a las *vitro*-plantas por si solos, además del aporte nutricional brindado por la fertirrigación diaria, es muy importante para el desarrollo de la variable de respuesta diámetro del seudotallo en vivero. Alcanzándose mejores resultados en las mezclas que contenían mayor cantidad de estiércol bovino (50%), por la disponibilidad de nutrientes que el sustrato número 3 presenta, principalmente nitrógeno en un 0.93 % y una relación C/N con un valor de 12.22, la cual es baja respecto a los demás tratamientos (cuadro 9), aún y cuando no fue sometido el estiércol a un proceso de descomposición previo a su utilización en el presente ensayo.

Para analizar la variable de respuesta diámetro del seudotallo, se elaboró una gráfica que muestra el comportamiento de las *vitro*-plantas de banano en respuesta a los sustratos evaluados (Figura 5), tomando en cuenta los promedios obtenidos de las cuatro lecturas realizadas a lo largo de la investigación. Dicha gráfica muestran el comportamiento de la variable de respuesta diámetro del seudotallo respecto al tiempo en semanas que duraron las *vitro*-plantas de banano en la fase de aclimatación en vivero en función del sustrato empleado.

**Figura 5.** Dinámica de crecimiento para la variable diámetro del seudotallo de las *vitro*-plantas de banano, en función del sustrato empleado para la aclimatación en etapa de vivero. TACUBA S.A., 2003.



En la figura 5 se muestra el comportamiento de esta variable de respuesta, indicando que el para el sustrato 3 compuesto por Estiércol + Arena + Fibra (2:1:1), fue el que presentó medias más altas y se puede observar

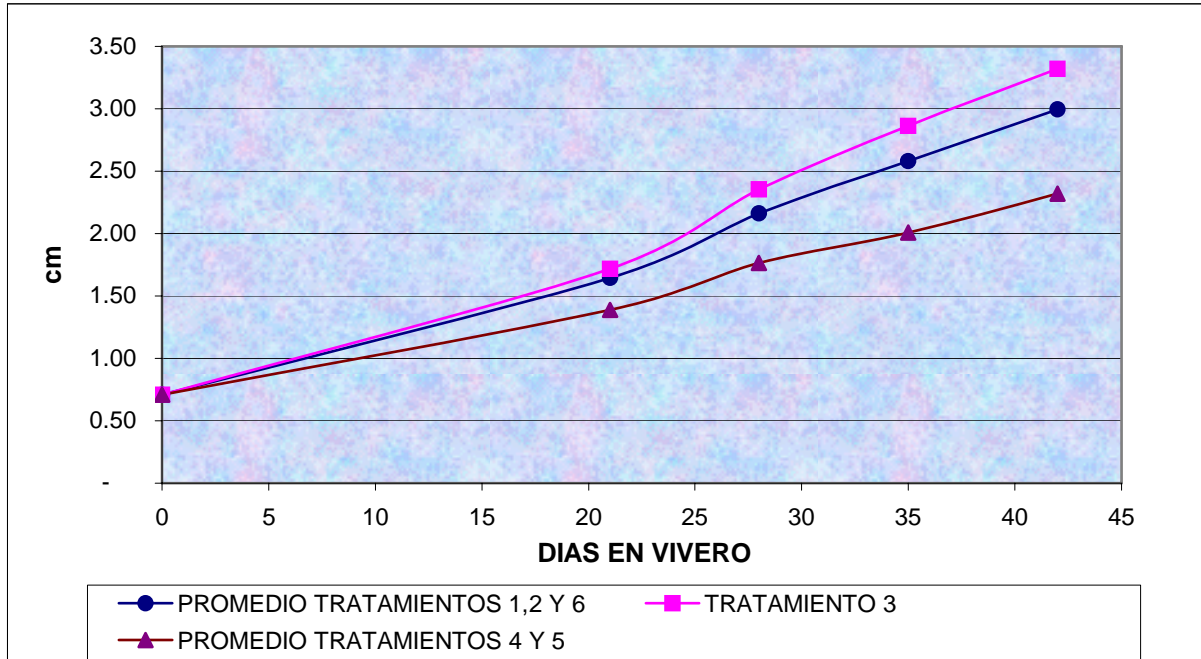
gráficamente, un separación de las demás barras que representan cada uno de los tratamientos desde el momento de la primera lectura realizada a los 21 días después del trasplante, aumentando la distancia en las lecturas realizadas a los 35 y 42 días; habiendo alcanzado este tratamiento la media mínima requerida de 2.5 cm de diámetro a los 35 días con diferencias estadísticas significativas comparado con los otros tratamientos evaluados.

El efecto de los sustratos sobre el desarrollo de las *vitro*-plantas para las variables de respuesta altura de las plántulas y diámetro del seudotallo es muy similar, según las gráficas elaboradas con los valores promedios de los tratamientos evaluados. Es evidente, que al que al incluir un 50 por ciento de estiércol bovino, que permite generar una mezcla de sustrato con un contenido de 0.93 % de nitrógeno total (cuadro 9), para el caso del sustrato número 3, además de las cantidades presentes en la fertirrigación, las plántulas de banano fueron capaces de desarrollar un adecuado metabolismo y por ende presentar valores más altos en estas variables.

Es indudable también, que la principal fuente de nutrientes incluida dentro de las mezclas de sustratos es el estiércol bovino, ya que en el sustrato sustratos 1 (Estiércol + Arena + Fibra + Suelo (1:1:1:1)) y 2 (Estiércol + Arena + Fibra (1:1:2)) presentan como fuentes nutrimentales un 25 por ciento del volumen total para ambos casos, y en el sustrato 1, se cuenta con otro material que puede ofrecer elementos nutritivos dentro de la mezcla, siendo este suelo en un 25 %. Para ambos sustratos no existen diferencias estadísticas entre ellos, ya que están incluidos dentro de una mismo grupos de Tukey para las variables de respuesta estudiadas, tanto a los 35 como a los 42 días después del trasplante en vivero.

Para los sustratos que no presentan ningún tipo de aporte de nutrientes, los cuales eran el sustrato 4 (Arena + Fibra (1:3)) y 5 (Arena + Fibra (1:1)) se observa gráficamente, ninguna diferencia entre ellos, presentando para las variables de respuesta analizadas las medias con valores más bajos, sin ser estadísticamente significativos respecto a los demás tratamientos, estando siempre agrupados ambos dentro de Tukey con la misma letras, aislados de los demás tratamientos estudiados.

**Figura 6.** Curvas de crecimiento para la variable diámetro del seudotallo, según los grupos establecidos al realizar la prueba múltiple de medias de Tukey (alfa = 0.05) a lo 35 días después del trasplante en función del sustrato utilizado.



En la figura 6 se observa las curvas de crecimiento para la variable de respuesta diámetro del pseudotallo. La curva que presenta los valores más altos pertenece al grupo Tukey identificado con la letra A, encontrándose únicamente dentro de éste, el sustrato número 3, compuesto en un 50% de estiércol, 25 % de fibra de frutos de palma africana y 25 % de arena de río, mostrando ser diferente estadísticamente a los demás tratamiento evaluados a los 35 días después del trasplante y tener mejores características físicas y químicas según los análisis de laboratorio realizados (Cuadro 9). Las diferencias se observaron desde la primera toma de datos, permitiendo reducir en una semana el período de aclimatación de *vitro*-plantas bajo sombreador.

Se agruparon los sustratos 1, 2 y 6, los cuales alcanzaron medias muy similares en las variables analizadas, conformando el segundo grupo Tukey identificado con la letra B, compuestos de diferentes proporciones de suelo y estiércol, brindando un aportando de nutrientes a las plantas en vivero.

Los sustratos inertes 4 y 5 compuestos de arena y fibra de frutos de palma, se agruparon en la letra C, ya que presentaron las medias más bajas de los seis sustratos evaluados, y con valores muy similares entre ellos.

### 7.3 NÚMERO DE DÍAS PARA QUE LA PLANTA ALCANCE SIETE HOJAS VERDADERAS

Según el análisis de varianza realizado a la variable de respuesta, número de días para que la planta alcance siete hojas verdaderas (apéndice 3, página 63), hay evidencia suficiente para afirmar que existen diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados, siendo necesario realizar una prueba múltiple de medias de Tukey (alfa = 0.05). Los resultados de la comparación múltiple de medias, para esta variable de respuesta se presenta en el cuadro 8.

**Cuadro 8.** Prueba múltiple de medias de Tukey (alfa = 0.05) de los tratamientos evaluados para la variable de respuesta número de días para alcanzar siete hojas verdaderas después del trasplante en vivero. TACUBA S.A. 2003.

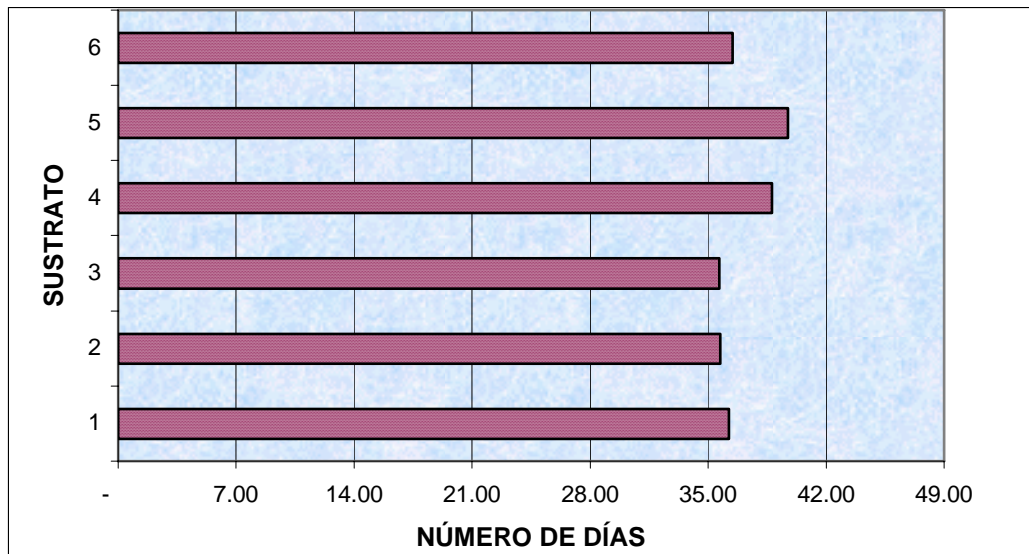


No. Trat.	Tratamiento	Media (días)	Grupo Tukey
5	Arena + Fibra (1:1)	39.7300	A
4	Arena + Fibra (1:3)	38.7833	A B
6	Suelo (testigo)	36.4533	B C
1	Estiércol + Arena + Fibra + Suelo (1:1:1:1)	36.2400	B C
2	Estiércol + Arena + Fibra (1:1:2)	35.7167	C
3	Estiércol + Arena + Fibra (2:1:1)	35.6600	C

En el cuadro anterior se observa, que no se presentan diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en cuanto al efecto de los sustratos sobre el número de días necesarios para alcanzar 7 hojas verdaderas, siendo las mejores opciones el tratamiento 3 y 2, ya que presentan medias más bajas y se da una reducción del tiempo en alcanzar esta variable en el vivero.

Para analizar la variable de respuesta número de días para que la planta alcance siete hojas verdaderas, se elaboró una gráfica, tomando en cuenta las medias obtenidas en cada sustrato, según los valores promedios obtenidos por tratamiento, conforme a las lecturas realizadas a lo largo de la investigación. Dicha gráfica muestra el efecto de los sustratos en el comportamiento de la variable de respuesta días necesarios para alcanzar siete hojas verdaderas en función del tiempo en días que duraron las *vitro*-plantas de banano en la fase de aclimatación en vivero con los sustratos evaluados.

**Figura 7.** Gráfica de la variable de respuesta número de días para que la planta alcance siete hojas verdaderas, durante la etapa de aclimatación en vivero con diferentes sustratos. TACUBA S.A., 2003.



En la figura 7, se observa el comportamiento de esta variable de respuesta, indicando que el sustrato 3 compuesto por Estiércol + Arena + Fibra (2:1:1), fue el que presentó medias más bajas con valores de 35.66 días, seguido por los

sustratos 2 (Estiércol + Arena + Fibra (1:1:2)) y el sustrato 1 (Estiércol + Arena + Fibra + Suelo (1:1:1:1)), que presentaron medias de 35.72 y 36.24 días respectivamente. El testigo alcanzó una media de 36.4533 días, y los sustratos 4 (Arena + Fibra (1:3)) y 5 (Arena + Fibra (1:1)) que presentaron las medias más altas con valores de 38.7833 y 39.7300 días respectivamente. Teniéndose entonces, en función de medias, que con el tratamiento 3 y 2, se pudo reducir el tiempo en vivero en una semana para la variable de respuesta días para alcanzar siete hojas verdaderas, sin que existieran diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados. Pudiéndose observar que la emisión foliar se ve afectada en cierta medida según el sustrato utilizado para la aclimatación de *vitro*-plantas de banano en la etapa de vivero.

Transcurridos 35 días después del trasplante de las *vitro*-plantas en vivero, se observaron daños en las dos o tres hojas inferiores de las plantas, para el caso del tratamiento 6, compuesto únicamente por suelo. Estos daños eran lesiones en los tejidos de las hojas por plasmolisis, lo cual pudo disminuir la capacidad fotosintética de las plantas. Estos daños fueron causados, por la acumulación de sales que se presentó en este material, lo cual es un indicador del mal drenaje y compactación que sufre el suelo al ser utilizado dentro de contenedores, no permitiendo el lavado de sales de forma adecuada.

#### **7.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUSTRATOS**

Una vez hechas las mezclas compuestas de estiércol, suelo, arena y fibra de frutos de palma africana a diferentes proporciones, utilizadas en el experimento, estas fueron enviadas al laboratorio. Según el análisis físico y químico realizado a las muestras enviadas al laboratorio de suelo-planta-agua, de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se observa que existen sustratos con buenas características químicas y físicas, contando también cantidades altas de elementos que podrían ser perjudiciales.

Los resultados del análisis químico se presentan en el cuadro No. 9, donde se pueden observar los valores de las diferentes características analizadas, de igual manera, los resultados del análisis físico se pueden observar en el cuadro No. 10.

**Cuadro 9.** Características químicas de los sustratos evaluados en la aclimatación de *in vitro*-plantas de banano. TACUBA S.A. 2003.

Sustrato	pH	Ppm		Meq/100gr						ppm					%		
		P	K	Ca	Mg	Na	K	CIC	Cu	Zn	Fe	Mn	SB.	M.O.	NT	C/N	
1. Estiércol + Arena + Fibra + Suelo (1:1:1:1)	8.1	402	3750	5.99	3.91	0.45	10.90	12.73	1.5	9.0	25.5	59.5	>100	9.78	0.37	15.37	
2. Estiércol + Arena + Fibra (1:1:2)	7.7	427	4600	5.49	5.88	0.52	16.92	15.91	2.0	11.0	36.5	39.0	>100	27.39	0.83	19.21	
3. Estiércol + Arena + Fibra (2:1:1)	9.2	571	8550	8.73	7.61	0.78	29.49	18.18	1.5	15.5	20.0	52.5	>100	19.57	0.93	12.22	
4. Arena + Fibra (1:3)	5.8	172	1400	2.50	3.70	0.27	4.72	9.09	3.0	4.5	30.0	22.0	>100	35.22	0.87	23.60	
5. Arena + Fibra (1:1)	5.9	130	750	2.25	2.06	0.27	2.05	5.91	2.5	3.0	47.0	53.5	>100	11.09	0.29	21.97	
6. Suelo del lugar (testigo)	6.7	530	298	7.73	1.77	0.34	0.92	15.00	1.0	7.5	11.0	9.0	71.77	1.50			

FUENTE: Laboratorio de Suelo-Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana”, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Ciudad Universitaria, Zona 12. Guatemala Centroamérica.

Los tratamientos evaluados presentaron valores contrastantes en sus propiedades físicas y químicas analizadas. El pH de los sustratos al inicio del experimento, presentaba rangos óptimos en los sustratos Arena + Fibra (1:3), Arena + Fibra (1:1) y Suelo del lugar (testigo) con valores de 5.8, 5.9 y 6.7 respectivamente, lo cual es un valor de pH moderadamente ácido que podía dar buenos resultados, mientras que para los demás tratamientos el pH era alcalino, siendo estos, los sustratos que presentaban un aporte nutrimental por los materiales que los conformaban (estiércol bovino sin descomponer).

El contenido de materia orgánica estuvo entre el rangos de entre 9.78 y 35.22 %, influenciado directamente por las cantidades presentes de cada uno de los materiales que forman los sustratos.

El contenido de P fue alto, encontrándose dentro de los valores de 130 y 571 ppm. De igual manera el potasio (K) presente en los sustratos fue elevado con valores que oscilaban entre los 298 – 8550 ppm.

La cantidad de nitrógeno total dentro de los sustratos evaluados se encontraba entre 0.29 y 0.93 %, considerándose según los resultados obtenidos en la investigación, para el caso de las mezclas que contenían un 50% de fibra de frutos de palma africana, que este elemento se encontraba de manera potencial. Jugando entonces, un papel muy importante el aporte de nitrógeno del estiércol bovino, debido a la relación C/N de 12.22 % que presentaba, la cual permitió que durante el desarrollo de la investigación se presentara una mineralización más rápida, y un aporte más alto de nutrientes a lo largo del experimento, especialmente nitrógeno, el cual, generalmente no esta disponible y es necesario que exista un aporte constante de este elemento.

Los valores de elementos como el hierro y el manganeso, oscilaron entre los 11-47 ppm y 9-59.5 ppm respectivamente.

La capacidad de intercambio cationico ofrecía ser adecuada para la mayoría de los sustratos, encontrándose entre 5.91-18.18 Meq/100gr, con valores más bajos en los sustratos con mayor contenido de arena, y los valores más altos los presentaron los sustratos con alto contenido de estiércol.

Todos los sustratos que contenían algún material que aportaba nutrimentos a las *vitro*-plantas, presentaron un potencial de fertilidad bastante aceptable, el cual podría determinarse con mayor exactitud al ser evaluados con distintas soluciones en fertirriego, para determinar el efecto directo sobre la nutrición del las *vitro*-plantas de banano en la etapa de vivero. Este aporte de nutrimentos fue necesarios en la fase de aclimatación por las altas exigencias de las plántulas y falta de reservas nutrimentales.

**Cuadro 10.** Características físicas de los sustratos evaluados en la aclimatación de *vitro*-plantas de banano. TACUBA S.A. 2003.

SUSTRATO	%		gr/cc	%			CLASE TEXTURAL
	1/3 ATM.	15 ATM.	D.A.	Arcilla	Limo	Arena	
<b>1. Estiércol + Arena + Fibra + Suelo (1:1:1:1)</b>	22.16	18.04	1.0526	----	----	----	----
<b>2. Estiércol + Arena + Fibra (1:1:2)</b>	42.82	37.16	0.6250	----	----	----	----
<b>3. Estiércol + Arena + Fibra (2:1:1)</b>	40.69	35.27	0.8510	----	----	----	----
<b>4. Arena + Fibra (1:3)</b>	28.64	25.41	0.3773	----	----	----	----
<b>5. Arena + Fibra (1:1)</b>	15.13	11.51	1.0810	----	----	----	----
<b>6. Suelo del lugar (testigo)</b>	27.70	9.74	1.2500	17.14	34.94	47.92	FRANCO

FUENTE: Laboratorio de Suelo-Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana”, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Ciudad Universitaria, Zona 12. Guatemala Centroamérica.

La densidad aparente en los sustratos empleados para esta investigación, presentó valores adecuados, a excepción del sustrato cuatro con un valor de 0.3773gr/cc, lo cual no proporcionaba mucha estabilidad a la planta, este valor se debió a la cantidad de material fibroso presente en la mezcla en estudio. El valor más alto lo presentó el suelo o sustrato 6 con una densidad de 1.25 gr /cc.

La textura del tratamiento 6, utilizado como testigo, compuesto únicamente por suelo de lugar fue franca, presentando las condiciones óptimas para el desarrollo de plantas en general, más no así, para el crecimiento de las plantas en bolsas de polietileno, debido a que presentó mal drenaje por los grande requerimientos hídricos necesarios en las instalaciones del vivero. Por lo que es más conveniente la utilización de suelos con texturas poco más arenosas.

Las constantes de humedad de los sustratos presentaron valores muy variados, tal fue el caso de la Capacidad de Campo (1/3 de atm. de presión) con rangos de 15.13 a 42.82 %, y para el Punto de Marchites Permanente (15 atm. de presión) se presentaron rangos de 9.74 a 37.16 %. Los valores más altos para la Capacidad de Campo, correspondieron al sustrato número 2 y 3, debido a la cantidad de materia orgánica que contenían, pero la mayor parte de esa agua no era disponible, lo contrario pasó con el sustrato 6 compuesto únicamente por suelo del lugar, el cual presentó el mayor porcentaje de agua disponible para las plantas.

El origen de las características tanto físicas como químicas presentes en los cuadros 9 y 10 fueron el resultado de la combinación de cuatro materiales mezclados a diferentes proporciones, que reunieron una serie de ventajas y desventajas para poder complementarse por medio de mezclas entre ellos. En cuanto a las características químicas y físicas de dichos sustratos, todos presentaron un potencial de fertilidad aceptable, que puede ser bien utilizado en

futuras investigaciones, para la disminución de insumos (fuentes nutrimentales), en la preparación de soluciones nutritivas o fertirrigaciones adecuadas.

## 7.5 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS TRATAMIENTOS

El análisis económico se realizó sobre la base de producir 48,000 *vitro*-plantas de banano por vivero. Se emplearon los costos actuales de mano de obra para la construcción del sombreador con un valor total de Q 2296.80 dividido en 3 ciclos, alcanzando un valor por ciclo de Q 765.60. El valor de los materiales para la construcción del sombreador ascienden a Q 80,314 dividido entre seis ciclos, que es el tiempo de vida útil aproximado, adquiriendo un costo de Q 13385.67 por ciclo de aclimatación. De igual forma, se tomó en cuenta el valor de cada uno de los materiales y mano de obra utilizada en el ensayo. El valor estimado de las planta ya aclimatada en el mercado es de Q8.00, siendo necesario considerar un 8% de perdidas de *vitro*-plantas debido a mutaciones que se presentan y se observan en esta etapa, reduciéndose el total de la producción a 44,160 plantas por vivero, siendo ésta la cantidad que se le paga a la empresa productora a Q 4.75 por unidad (apéndice 4, página 64).

**Cuadro No. 11.** Costo de los materiales utilizados como sustratos en la aclimatación de *vitro*-plantas de banano. TACUBA S.A. 2003.

MATERIAL	VALOR DE m <sup>3</sup>	TRANSPORTE DE 10 m <sup>3</sup>
Estiércol bovino	Q 45.00	Q 150.00
Fibra de fruto de palma africana	Q 29.00	Q 150.00
Arena de río	Q 15.00	Q 150.00
Suelo del lugar	Q 15.00	Q 150.00

**Cuadro No. 12.** Costo unitario promedio, ingreso neto y rentabilidad de los tratamientos evaluados como sustratos para la aclimatación de *vitro*-plantas de banano, TACUBA S.A. 2003.

No. Trat.	CT	IT	CUP	IN	% RENT.
Trat. 1	Q 247496.04	Q 353280.00	Q 5.60	Q 105783.96	42.74
Trat. 2	Q 248677.02	Q 353280.00	Q 5.63	Q 104602.98	42.06
Trat. 3	Q 247276.16 *	Q 353280.00	Q 5.60	Q 106003.84	42.87
Trat. 4	Q 249304.41	Q 353280.00	Q 5.65	Q 103975.59	41.71
Trat. 5	Q 248123.43	Q 353280.00	Q 5.62	Q 105156.57	42.38
Trat. 6	Q 245638.79	Q 353280.00	Q 5.56	Q 107641.21	43.82

\* El valor de costo total para el tratamiento 3 se determinó para un tiempo de 35 días en el vivero de aclimatación, debido a la reducción de tiempo que se logró al utilizar este sustrato, según las variables de respuesta analizadas.

### 7.5.1 COSTOS UNITARIOS PROMEDIOS

En el análisis efectuado se pudo observar que de los 6 tratamientos evaluados, únicamente 2 de ellos tuvieron un costo unitario igual de Q 5.60, siendo los tratamientos 1 y 3. El resto de costos promedios fue diferente, resaltando el costo mas bajo de Q 5.56 en el tratamiento 6.

Cabe comentar que este costo se redujo en su total derivado de que el sustrato era únicamente suelo, el cual representa uno de los costo de material para el llenado de bolsas más bajos al igual que la arena.

El mayor costo fue en el tratamiento 4 con un costo unitario de Q 5.65, debido esencialmente al valor de la fibra de frutos de palma africana el cual estaba compuesto de 75% con este material y el 25% restante de arena de río.

### 7.5.2 INGRESOS NETOS

Para el cálculo del ingreso neto se consideró el ingreso total menos el costo total. En el caso de estos seis tratamientos, el ingreso total fue igual debido al mismo precio con que se cotizó en el mercado la unidad de *vitro*-planta de banano aclimatada, que fue de Q8.00 equivalente a un dólar de los Estados Unidos de América (USA\$1.00).

En tal sentido, el valor de ingreso neto, presentó una relación inversa con el valor de costo total ya que los ingresos totales fueron los mismos para todos los tratamientos. De esta forma encontramos que el ingreso neto más alto es el del tratamiento 6 de Q 107641.21, que resulta de la diferencia de los ingreso total de Q 353280.00 (Q 8.00 x 44,160 plantas) menos el costo total de Q 245638.79 (Q 5.56247 x 44,160).

Caso contrario fue el del tratamiento 4 que presentó el ingreso neto más bajo por Q 103975.59, obtenido de la diferencia entre Q 353,280.00 de ingreso total y Q 249304.41 de costo total. Este último presentó el mayor costo total de la muestra de los 6 tratamientos, razón por la cual arrojó un ingreso neto menor.

### 7.5.3 RENTABILIDAD

En el presente caso, en vista que los 6 tratamientos presentaron un mismo precio de cotización del producto para la venta, la diferencia en el porcentaje de rentabilidad radicó en el costo total y consecuente en el ingreso neto, ya que ambos guardaron relación.

En tal sentido, observamos que el porcentaje de rentabilidad más alto correspondió al tratamiento 6 con 43.82%, en el cual el ingreso neto por Q 107641.21 fue el mayor entre los 6 tratamientos; seguidamente se encontraban los tratamientos 3, 1 y 2, con valores de 42.87 %, 42.74 % y 42.06 % respectivamente.

Caso contrario se pudo observar en el tratamiento 4 el cual presento un porcentaje de rentabilidad de 41.71 %, estimado el más bajo entre los tratamientos, debido especialmente a que tuvo el ingreso neto más bajo por Q103975.59.

Cabe comentar, que el tratamiento 3 alcanzó el segundo porcentaje de rentabilidad más alto con un valor de 42.87, debido a que de igual manera presenta uno de los costos totales más bajos, debido a que alcanzó los parámetros requeridos para la aclimatación de *vitro*-plantas en un período de 5 semanas, lo cual representó una reducción de tiempo en vivero de una semana, que comparada con el tiempo total estimado de 6 semanas para aclimatar *vitro*-plantas

de banano, representó un ahorro de 16.67% en el tiempo total. Si este tiempo se traduce en costos, podemos estimar que puede tener un efecto favorable después de 6 ciclos de aclimatación ya que se ahorrarían costos por concepto de construcción de viveros, tanto en mano de obra como en la infraestructura, así como los costos por fertirrigación.

## 8. CONCLUSIONES

- 8.1 Contrario a la hipótesis planteada, el sustrato número 3, compuesto en un 50% de estiércol bovino, 25 % de arena de río y 25 % de fibra de frutos de palma africana, permitió reducir el tiempo de aclimatación en vivero hasta en una semana, al determinar que existieron diferencias estadísticas significativas respecto a los demás tratamientos evaluados para la variable diámetro del seudotallo, con una media de 2.86 cm a las 5 semanas después del trasplante en vivero; de igual forma para las variables altura de la plántula y número de días para alcanzar siete hojas verdaderas, con este mismo sustrato se alcanzaron las medias más favorables con valores de 26.78 cm y 35.66 días respectivamente, sin presentarse diferencias estadísticas significativas para las variables antes mencionadas respecto a los demás tratamientos evaluados a los 35 días del inicio del experimento, contando ya las *vitro*-plantas, con los parámetros de aclimatación necesarios para el trasplante al campo definitivo.
- 8.2 Los tratamientos evaluados presentaron valores contrastantes en las propiedades físicas y químicas analizadas, y un potencial de fertilidad aceptable, el cual, se incrementaba en aquellos sustratos que contenían materiales químicamente activos, aportando nutrimentos a las *vitro*-plantas de banano de manera constante en la etapa de aclimatación, mientras que para los sustratos inertes, los valores de nutrientes presentes se encontraban únicamente de manera potencial.
- 8.3 El tratamiento 6, formado en su totalidad por suelo del lugar, fue el más favorable según el análisis económico realizado, ya que presentó el valor de costo total más bajos. Con un costo unitario promedio de Q 5.56 y consecuentemente un ingresos netos de Q 107,641.21, así como una rentabilidad de 43.82 %, siendo este último valor, el más alto de los seis tratamientos evaluados.



## 9. RECOMENDACIONES

9.1 Para aclimatar *vitro*-plantas de banano en la etapa de vivero bajo condiciones de sombreador a gran escala, se recomienda utilizar el sustrato compuesto de 50% de estiércol bovino, 25 % de fibra de frutos de palma africana y 25 % de arena de río, debido a que éste permitió reducir el tiempo en vivero en una semana con diferencias estadísticas significativas en la variable diámetro del seudotallo respecto a los demás tratamientos evaluados, y por presentar las mejores medias en todas las variables estudiadas a los 35 días después del transplante.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. Alves E, JA. 1999. Cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconómicos e agroindustrias. Cruz das Almas, Brasil, EMBRAPA-SPI. 257 p.
2. Ballesteros, MS. 1992. Banano: cultivo y comercialización. 3 ed. San José, Costa Rica, Imrensa Lil. 584 p.
3. Bures, S. 1997. Sustratos. Madrid, España. Ediciones Agrotécnicas. 342 p.
4. Carrillo Villatoro, MA. 2003. Diagnóstico del área de aclimatación de *vitro*-plantas de banano (*Musa sapientum*) producidas a partir de meristemos en fase de vivero, propiedad de la empresa TACUBA S.A. Diagnostico EPSA. Guatemala, USAC. 27 p.
5. Cronquist, A. 1988. The evolution and classification of flowering plant. 2 ed. New York, US, The New York Botanical Garden. 555 p.
6. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional forestal. 42 p.
7. FAO, CR. 2001. La biotecnología y la producción del banano; informe preparado para el segundo período de sesiones del Grupo Intergubernamental sobre el Banano y sobre las Frutas Tropicales (parte del Comité de Problemas de Productos Básicos (FAO)). San José, Costa Rica. Consultado 8 Abr. 2003. Disponible en <http://www.fao.org/biotech/free/doc.asp>
8. Girón de León, DF. 2000. Cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* en subproductos lignocelulosicos derivados de la agroindustria de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.). Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. p. 20-21.
9. Guzmán N, N; Berthouly, M. 1987. Enraizamiento y aclimatación de plantas de café (*Coffea* spp.) producidas por cultivo de tejidos *in vitro*. In Curso de cultivo de tejidos (2., 1987, Turrialba, Costa Rica). Memorias. Turrialba, Costa Rica, IICA-CATIE. p. 107-109.
10. Holdridge, L. 1982. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p. (Libros y materiales educativos no. 34).
11. IICA, CR. 1989. Compendio de agronomía tropical. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura y ministerio de asuntos extranjeros de Francia. San José, Costa Rica, IICA. 693 p. (Investigación y desarrollo no. 13).
12. IICA, NI. 1983. Guía técnica para el cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.). Nicaragua, Estación Experimental El Recreo. 40 p.
13. León , J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales. San José, Costa Rica, IICA. 445 p. (Libros y materiales educativos no. 84).

14. López, A. 1999. Fertilización convencional del cultivo de banano en Costa Rica y su relación con la producción sostenible. In Rosales, FE; Tripon, SC; Cerna, J. Producción de banano orgánico y, o, ambientalmente amigable; taller internacional (1998, Guacimo, Costa Rica). Memorias. Guácimo, Costa Rica, INIBAP-CIID Canada-EARTH. 265 p.
  15. Maldonado C, SA. 1999. Evaluación de dos alternativas de manejo y tres productos químicos para el control del complejo: picudo, *Erwinia* y hongos asociados a la muerte de cormos de banano (*Musa sapientum*) en vivero. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 65 p.
  16. Marroquín T, CG. 1991. Suspensiones celulares y embriogénesis somática en *Musa acuminata ssp. malaccensis*. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 8-10
  17. Nava, C; Villareal, E; Villalobos, R. 1998. Comportamiento de plántulas del clon de plátano Harton (*Musa AAB*) en el sur del lago de Maracaibo. Maracaibo, Venezuela, Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía. Consultado 3 Abr. 2003. Disponible en [http://www.redpavfpolar.info.ve/fagroluz/v15\\_1/v151z001.html](http://www.redpavfpolar.info.ve/fagroluz/v15_1/v151z001.html)
  18. Orozco, C. 1996. Cultivo de tejidos y su aplicación en la agricultura. In Simposio nacional sobre cultivo de tejidos vegetales. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. p. 1-8.
  19. Ortiz Vega, RA. *et al.* 1999. El cultivo del banano. San José, Costa Rica, EUNED. 186 p.
  20. Ramírez, AE. 1996. Micropropagación de plátano (*Musa AAAB*) y (*Musa AAB*). In Simposio nacional sobre cultivo de tejidos vegetales (1., 1996, Guatemala). Memorias. Guatemala, Instituto de ciencia y tecnología agrícola. p. 41-47.
  21. Reyes, N. 2003. Manejo de *vitro*-plantas de banano en vivero (entrevista). San Pedro Sula, Honduras, Galiltec.
  22. Rouweler, H. 1990. Banana cultivation; photos plant B.V; musaceae. (Monster, ). p. 29-31.
  23. Simmons, C; Tarano, JM; Pinto JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado. Guatemala, Instituto Agrícola Nacional. 1000 p.
  24. Standley PC; Steyermark, JA. 1952. Flora of Guatemala. Chicago, US, Chicago Natural History Museum. Fieldiana Botany, v. 24, pte. 3, 431 p.
  25. Tacuba, SA, GT. 2002. Banano; reporte semanal de datos climatológicos; estación meteorológica tipo A. Ocós, San Marcos, Guatemala.
- Sin publicar.
26. Tisdale, SL; Nelson, WL. 1988. Fertilidad de lo suelos y fertilizantes. Trad. por Jorge Balasch. México, UTHEA. 760 p.
  27. Vidalie, H. 1986. Cultivo *in vitro*. Trad. por Maria Eugenia de Aragón Espejo. México, Editorial Científica. p. 175-182.

## **11. APÉNDICES**

## APÉNDICE UNO

### DATOS DE CAMPO OBTENIDOS EN EL EXPERIMENTO

**Cuadro 13 “A”.** Resultados obtenidos en la evaluación de diferentes sustratos en la aclimatación de *vitro*-plantas de banano (*Musa* spp.) en la fase de vivero, bajo condiciones de sombreador para las variables de respuesta alturas de planta y diámetro deseudotallo, a partir de los 21 días de iniciado el experimento. Tacuba S.A., Ocos, San Marcos, 2003.

DIAS EN VIVERO	TRATAMIENTOS	Altura de Plantas			Diámetro de Seudotallo		
		R 1	R 2	R 3	R 1	R 2	R 3
21 Días	Sustrato 1	11.77	13.90	14.29	1.66	1.68	1.58
21 Días	Sustrato 2	13.23	11.63	14.27	1.74	1.56	1.66
21 Días	Sustrato 3	14.17	14.38	15.20	1.79	1.61	1.75
21 Días	Sustrato 4	10.86	9.94	11.25	1.31	1.38	1.46
21 Días	Sustrato 5	10.58	10.05	11.50	1.45	1.30	1.45
21 Días	Sustrato 6	14.29	14.85	16.45	1.63	1.66	1.64
28 Días	Sustrato 1	16.23	19.79	19.00	2.07	2.26	2.18
28 Días	Sustrato 2	18.50	17.38	19.16	2.16	2.07	2.22
28 Días	Sustrato 3	20.25	20.79	20.15	2.33	2.36	2.37
28 Días	Sustrato 4	16.00	12.89	14.35	1.78	1.67	1.85
28 Días	Sustrato 5	14.71	13.00	13.35	1.77	1.73	1.80
28 Días	Sustrato 6	19.50	20.65	20.77	2.10	2.24	2.16
35 Días	Sustrato 1	20.77	25.50	25.33	2.59	2.73	2.49
35 Días	Sustrato 2	23.82	22.88	24.64	2.70	2.54	2.60
35 Días	Sustrato 3	26.96	25.83	27.55	2.84	2.91	2.84
35 Días	Sustrato 4	17.23	16.06	17.85	1.99	1.92	2.03
35 Días	Sustrato 5	18.42	16.18	16.70	2.13	1.99	2.01
35 Días	Sustrato 6	23.67	26.20	25.41	2.47	2.61	2.48
42 Días	Sustrato 1	26.09	33.20	32.54	2.94	3.26	3.02
42 Días	Sustrato 2	30.91	29.25	31.05	3.13	3.00	2.97
42 Días	Sustrato 3	34.75	33.04	34.20	3.32	3.34	3.30
42 Días	Sustrato 4	21.41	19.44	21.80	2.28	2.22	2.43
42 Días	Sustrato 5	22.46	20.36	19.95	2.37	2.31	2.33
42 Días	Sustrato 6	27.88	31.10	27.09	2.76	3.03	2.82

**Cuadro 14 “A”.** Resultados diferentes sustratos en la banano (*Musa spp.*) en la fase sombreador para la variable de Tacuba S.A., Ocos, San

TRATAMIENTOS	Días para alcanzar 7 hojas		
	R 1	R 2	R 3
Sustrato 1	37.55	35.00	36.17
Sustrato 2	36.27	35.88	35.00
Sustrato 3	35.58	35.00	36.40
Sustrato 4	38.18	39.67	38.50
Sustrato 5	38.50	40.09	40.60
Sustrato 6	36.75	35.70	36.91

obtenidos en la evaluación de aclimatación de *vitro*-plantas de de vivero, bajo condiciones de respuesta días para alcanzar 7 hojas. Marcos, 2003.

## APÉNDICE DOS.

PROGRAMA CORRIDO EN SAS PARA EL ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS VARIABLES DE RESPUESTAS ESTUDIADAS EN EL ENSAYO DE EVALUACIÓN DE SUSTRATOS PARA ACLIMATACIÓN DE *VITRO*-PLANTAS DE BANANO EN VIVEROS. OCÓS, SAN MARCOS, 2003.

```

OPTIONS LS=65 PS=66;
DATA UNO;
INPUT DIA LECT TRAT REP ALT DIAM DIAS;
CARDS;
21      1      1      1      11.77      1.66      37.55
21      1      1      2      13.90      1.68      35.00
21      1      1      3      14.29      1.58      36.17
21      1      2      1      13.23      1.74      36.27
21      1      2      2      11.63      1.56      35.88
21      1      2      3      14.27      1.66      35.00
21      1      3      1      14.17      1.79      35.58
21      1      3      2      14.38      1.61      35.00
21      1      3      3      15.20      1.75      36.40
21      1      4      1      10.86      1.31      38.18
21      1      4      2      9.94      1.38      39.67
21      1      4      3      11.25      1.46      38.50
21      1      5      1      10.58      1.45      38.50
21      1      5      2      10.05      1.30      40.09
21      1      5      3      11.50      1.45      40.60

```

21	1	6	1	14.29	1.63	36.75
21	1	6	2	14.85	1.66	35.70
21	1	6	3	16.45	1.64	36.91
28	2	1	1	16.23	2.07	.
28	2	1	2	19.79	2.26	.
28	2	1	3	19.00	2.18	.
28	2	2	1	18.50	2.16	.
28	2	2	2	17.38	2.07	.
28	2	2	3	19.16	2.22	.
28	2	3	1	20.25	2.33	.
28	2	3	2	20.79	2.36	.
28	2	3	3	20.15	2.37	.
28	2	4	1	16.00	1.78	.
28	2	4	2	12.89	1.67	.
28	2	4	3	14.35	1.85	.
28	2	5	1	14.71	1.77	.
28	2	5	2	13.00	1.73	.
28	2	5	3	13.35	1.80	.
28	2	6	1	19.50	2.10	.
28	2	6	2	20.65	2.24	.
28	2	6	3	20.77	2.16	.
35	3	1	1	20.77	2.59	.
35	3	1	2	25.50	2.73	.
35	3	1	3	25.33	2.49	.
35	3	2	1	23.82	2.70	.
35	3	2	2	22.88	2.54	.
35	3	2	3	24.64	2.60	.
35	3	3	1	26.96	2.84	.
35	3	3	2	25.83	2.91	.
35	3	3	3	27.55	2.84	.
35	3	4	1	17.23	1.99	.
35	3	4	2	16.06	1.92	.
35	3	4	3	17.85	2.03	.
35	3	5	1	18.42	2.13	.
35	3	5	2	16.18	1.99	.
35	3	5	3	16.70	2.01	.
35	3	6	1	23.67	2.47	.
35	3	6	2	26.20	2.61	.
35	3	6	3	25.41	2.48	.
42	4	1	1	26.09	2.94	.
42	4	1	2	33.20	3.26	.
42	4	1	3	32.54	3.02	.
42	4	2	1	30.91	3.13	.
42	4	2	2	29.25	3.00	.
42	4	2	3	31.05	2.97	.
42	4	3	1	34.75	3.32	.
42	4	3	2	33.04	3.34	.
42	4	3	3	34.20	3.30	.
42	4	4	1	21.41	2.28	.
42	4	4	2	19.44	2.22	.
42	4	4	3	21.80	2.43	.
42	4	5	1	22.46	2.37	.
42	4	5	2	20.36	2.31	.
42	4	5	3	19.95	2.33	.
42	4	6	1	27.88	2.76	.
42	4	6	2	31.10	3.03	.
42	4	6	3	27.09	2.82	.

```

PROC PRINT;
PROC SORT;BY LECT;
PROC GLM;BY LECT;
CLASS TRAT REP;
MODEL ALT DIAM DIAS=TRAT REP;
MEANS TRAT;MEANS TRAT/TUKEY;
PROC SORT;BY TRAT;
PROC GLM;BY TRAT;
MODEL ALT DIAM=DIA;
PROC GLM;BY TRAT;
MODEL ALT DIAM=DIA DIA*DIA;
RUN;

```

**APÉNDICE TRES.**

SALIDAS DE SAS

ANDEVA Y PRUEBA DE MEDIAS PARA VARIABLE DE RESPUESTA ALTURA DE PLANTAS, 35 DÍAS DESPUÉS DEL TRANSPLANTE.

----- LECT=3 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: ALT

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	7	265.35692222	17.77	0.0001
Error	10	21.33018889		
Corrected Total	17	286.68711111		

R-Square      C.V.      ALT Mean  
0.925598      6.555797      22.2777778

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: ALT

Tukey Grouping	Mean	N TRAT
A	26.780	3 3
A		
A	25.093	3 6
A		
A	23.867	3 1
A		



A	23.780	3	2
B	17.100	3	5
B			
B	17.047	3	4

---

ANDEVA Y PRUEBA DE MEDIAS PARA VARIABLE DE RESPUESTA DIÁMETRO DE SEUDOTALLO, 35 DÍAS DESPUÉS DEL TRANSPLANTE.

----- LECT=3 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: DIAM

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	7	1.84123889	38.84	0.0001
Error	10	0.06772222		
Corrected Total	17	1.90896111		

R-Square      C.V.      DIAM Mean  
0.964524      3.376529      2.43722222

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: ALT

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	2.86333	3	3
B	2.61333	3	2
B			
B	2.60333	3	1
B			
B	2.52000	3	6
C	2.04333	3	5
C			
C	1.98000	3	4

ANDEVA Y PRUEBA DE MEDIAS PARA VARIABLE DE RESPUESTA ALTURA DE PLANTAS, 42 DÍAS DESPUÉS DEL TRANSPLANTE.

----- LECT=4 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: ALT

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	7	447.15425556	12.98	0.0003
Error	10	49.23218889		
Corrected Total	17	496.38644444		

R-Square	C.V.	ALT Mean
0.900819	8.043783	27.5844444

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: ALT

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	33.997	3	3
A			
A	30.610	3	1
A			
A	30.403	3	2
A			
A	28.690	3	6
B			
B	20.923	3	5

---

B	20.883	3	4
---	--------	---	---

---

ANDEVA Y PRUEBA DE MEDIAS PARA VARIABLE DE RESPUESTA DIÁMETRO DE SEUDOTALLO, 42 DÍAS DESPUÉS DEL TRANSPLANTE.

----- LECT=4 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: DIAM

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	7	2.57957222	29.71	0.0001
Error	10	0.12405556		
Corrected Total	17	2.70362778		

R-Square	C.V.	DIAM Mean
0.954115	3.944214	2.82388889

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: DIAM

Tukey Grouping		Mean	N	TRAT
A		3.32000	3	3
A				
B	A	3.07333	3	1
B	A			
B	A	3.03333	3	2
B				
B		2.87000	3	6
C		2.33667	3	5
C				
C		2.31000	3	4

ANDEVA Y PRUEBA DE MEDIAS PARA LA VARIABLE DE RESPUESTA DÍAS PARA ALCANZAR 7 HOJAS VERDADERAS

----- LECT=1 -----

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: DIAS

Source	DF	Sum of Squares	F Value	Pr > F
Model	7	45.11970556	7.04	0.0033
Error	10	9.15525556		
Corrected Total	17	54.27496111		

R-Square	C.V.	DIAS Mean
0.831317	2.579252	37.0972222

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: DIAS

Tukey Grouping	Mean	N TRAT
A	39.7300	3 5
A		
B A	38.7833	3 4
B		
B C	36.4533	3 6
B		
B C	36.2400	3 1
B		
C		
C	35.7167	3 2
C		
C	35.6600	3 3

**APÉNDICE CUATRO.** TABLA DE COSTOS TOTALES, INGRESOS TOTALES E INGRESOS NETOS AL PRODUCIR UN VIVERO DE 48,000 PLANTAS CON EL SUSTRATO COMPUESTO DE 25% DE ARENA, 25% DE SUELO, 25% DE FIBRA DE FRUTOS DE PALMA AFRICANA Y 25 % DE ESTIÉRCOL. AÑO 2003.

ACTIVIDAD O GASTO	UNIDAD	VALOR UN	CANTIDAD	1.00
<b>I. COSTO TOTAL</b>				<b>247496.04</b>
<b>I.1 TOTAL COSTOS DE OPERACIÓN, INVERSION E INFRAESTRUCTURA</b>				<b>240990.07</b>
I.1.1. MANO DE OBRA				7344.50
Construcción vivero	Jornal	31.90	24.00	765.60
Mezclado del material	Jornal	31.90	15.00	478.50
Llenado de bolsa y colocación	unidad	0.05	48000.00	2400.00
Fertilización	Jornal	31.90	4.00	127.60
Ahoyado y siembra	Jornal	31.90	18.00	574.20
Aplicación de Insecticida/ciclo	Jornal	31.90	2.00	63.80
Eliminación de malezas/ciclo	Jornal	31.90	8.00	255.20
Fertirriego/ciclo	Jornal	31.90	84.00	2679.60
I.1.2. MATERIALES Y SUMINISTROS				231695.57
Infraestructura de vivero	unidad	13385.67	1.00	13385.67
Estiércol	m 3	45.00	18.00	810.00
Arena	m 3	15.00	18.00	270.00
Fibra de palma	m 3	29.00	18.00	522.00
Suelo	m 3	15.00	18.00	270.00
Bolsa de polietileno 7 x 6	unidad	0.03	48000.00	1440.00
Osmocote plus	saco 22 kg	946.86	4.37	4137.78
Ziper 25 EC	lts	54.30	0.10	5.43
Triple 15	saco 50 kg	86.88	12.60	1094.69
<i>Vitro</i> -plantas de banano	unidad	4.75	44160.00	209760.00
I.1.3. TRANSPORTE O FLETES				1050.00
Transporte de materiales para sustrato	flete de 10 m 3	150.00	7.00	1050.00
I.1.4. EQUIPO, VEHICULOS Y HERRAMIENTA				900.00
Picado de fibra de frutos de palma	m 3	50.00	18.00	900.00
<b>I.2. TOTAL GASTOS ADMINISTRATIVOS</b>				<b>4055.52</b>
Administración s/ Costos Directos	Porcentaje		0.02	3614.85
Cuota IGSS s/ Mano de Obra	Porcentaje		0.06	440.67

<b>I.3. IMPREVISTOS Y ESCALAMIENTO</b>				
IMPREVISTOS	Porcentaje		0.01	2450.46
<b>II. INGRESOS</b>				<b>353280.00</b>
<b>II.1. Productos</b>				<b>353280.00</b>
Plantas listas al campo	unidad	8.00	44160.00	353280.00
<b>II.2. Subproductos</b>				<b>0.00</b>
				0.00
<b>III. INGRESO NETO</b>				<b>105783.96</b>

APÉNDICE CINCO. GRÁFICAS DE DATOS CLIMATOLÓGICOS PRESENTADOS DURANTE LA EVALUACIÓN DE SUSTRATOS PARA LA ACLIMATACIÓN DE *VITRO*-PLANTAS DE BANANO, TACUBA S.A. 2003.

