

T.2975

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMIA

**EVALUACION AGRONOMICA DE SUSTRATOS EN LA
PRODUCCION DE PLANTINES DE TOMATE**

por

Cristina MORI ALVEZ

FACULTAD DE AGRONOMIA



INSTITUTO DE INVESTIGACION Y
EXTENSION
BIBLIOTECA

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.
(Orientación Vegetal intensivo)**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2001**

Tesis aprobada por:

Director: MARGARITA GARCIA de LOUZA
Nombre completo y firma

HECTOR GONZALEZ
Nombre completo y firma

ESTELA PRIORE
Nombre completo y firma

Fecha:

Autor: CRISTINA MARGARET MORALES
Nombre completo y firma

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS Y GRAFICOS.....	VI
1- <u>INTRODUCCION</u>	1
2 - <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>.....	3
2.1 - <u>EVALUACION AGRONOMICA DE SUSTRATOS</u>	3
2.2- <u>LOS SUSTRATOS EN HORTICULTURA</u>	6
2.3- <u>COMPOSICIÓN DEL MEDIO DE CULTIVO</u>	8
2.3.1- <u>Fase sólida</u>	9
2.3.2- <u>La solución acuosa</u>	10
2.3.3- <u>El aire</u>	11
2.4- <u>PROPIEDADES DE LOS MEDIOS DE CULTIVO</u>	12
2.4.1 - <u>Propiedades físicas</u>	12
2.4.1.1 - <u>Distribución del tamaño de las partículas o granulometría</u>	13
2.4.1.2 - <u>Densidad real</u>	14
2.4.1.3 - <u>Densidad aparente</u>	15
2.4.1.4 - <u>Porosidad o espacio poroso total</u>	17
2.4.1.5 - <u>Capacidad de retención de agua</u>	18
2.4.1.6- <u>Porosidad ocupada por aire</u>	21
2.4.1.7 - <u>Permeabilidad</u>	22
2.4.1.8 - <u>Temperatura</u>	23
2.4.2- <u>Propiedades químicas</u>	24
2.4.2.1 - <u>Capacidad de intercambio catiónico</u>	24
2.4.2.2 - <u>pH</u>	26
2.4.2.3 - <u>Capacidad tampón</u>	26
2.4.2.4- <u>Contenido de sales</u>	27
2.4.2.5 - <u>Disponibilidad de nutrientes</u>	29
2.4.2.6- <u>Relación C/N</u>	30
2.4.3 - <u>Características biológicas</u>	31
2.5- <u>PREPARACIÓN Y SELECCIÓN DE SUSTRATOS</u>	32
2.5.1- <u>Corrección de las características de los sustratos</u>	32
2.5.1.1 - <u>Estabilización de la materia orgánica</u>	32
2.5.1.2- <u>Mezcla de materiales</u>	33
2.5.1.3 - <u>Corrección de las propiedades físicas y químicas</u>	33
2.5.2 - <u>Problemática que lleva a la selección de sustratos específicos</u>	34
2.6 - <u>MATERIALES QUE SE UTILIZAN COMO SUSTRATOS</u>	37
2.6.1- <u>Ejemplos de materiales orgánicos</u>	37
2.6.2- <u>Ejemplos de materiales inorgánicos</u>	40
2.7- <u>APLICACIÓN DEL COMPOSTAJE A LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS ALTERNATIVOS A LOS SUSTRATOS TRADICIONALES</u>	42
2.7.1- <u>Fases del proceso de compostaje</u>	44
2.7.2- <u>Factores condicionantes del proceso de compostaje</u>	46
2.8- <u>EL CULTIVO DE TOMATE</u>	49
2.8.1 - <u>Generalidades</u>	49
2.8.2- <u>Fisiología de crecimiento durante la etapa de almácigo</u>	49
2.8.2.1- <u>Germinación y emergencia</u>	49

2.8.2.2- Crecimiento y desarrollo.....	54
3- <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>.....	63
3.1- ANALISIS ESTADÍSTICO.....	63
3.2- SUSTRATOS EVALUADOS.....	64
3.3- ANALISIS DE SUSTRATOS.....	66
3.3.1- <u>Caracterización física de los sustratos</u>	66
3.3.2- <u>Caracterización química de los sustratos</u>	70
3.4- ANALISIS DE AGUA.....	71
3.5 - MANEJO DEL ALMÁCIGO.....	72
3.6- OBSERVACIONES, REGISTROS Y ANALISIS.....	74
3.6.1- <u>Análisis de semilla</u>	74
3.6.2- <u>Ensayo de emergencia</u>	74
3.6.3- <u>Ensayo de crecimiento</u>	74
3.7 – REGISTRO DE TEMPERATURAS.....	79
3.7.1- <u>Temperatura ambiente</u>	79
3.7.2 - <u>Temperatura del sustrato</u>	79
4- <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>.....	80
4.1- CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS SUSTRATOS.....	80
4.1.1- <u>Características físicas</u>	80
4.1.2 - <u>Características químicas</u>	89
4.2 – RESULTADOS DEL ANALISIS DE AGUA.....	92
4.3 – RESULTADOS DEL ANALISIS DE SEMILLA.....	93
4.4- ANALISIS DE LA EMERGENCIA.....	94
4.5- ENSAYO DE CRECIMIENTO.....	98
4.5.1- <u>Variables de crecimiento</u>	98
4.5.2- <u>Estado sanitario de los plantines</u>	118
4.5.3- <u>Resultados del análisis foliar</u>	119
5- <u>CONCLUSIONES</u>.....	122
6-<u>SUGERENCIAS</u>.....	123
7- <u>RESUMEN</u>.....	124
8- <u>SUMMARY</u>.....	126
9- <u>BIBLIOGRAFIA</u>.....	127
10 - <u>ANEXOS</u>.....	133

LISTA DE CUADROS Y GRAFICOS

CUADRO N°:

2.1: Coeficientes de correlación entre variables de crecimiento de plantines de tomate, a los 29 DDS.....	4
2.2: Coeficientes de correlación entre variables de crecimiento y volumen del contenedor.....	5
2.3: Influencia del tamaño de partícula en la porosidad y retención de agua.....	13
2.4: Variación de la porosidad, densidad aparente y retención de agua con el grado de compactación.....	16
2.5: Densidad aparente (g M.S./ ml) de algunos ingredientes de sustratos, e influencia del tamaño de partícula.....	16
2.6: Densidad seca (105°C) de algunos componentes de sustratos hortícolas.....	17
2.7: Distribución del volumen de agua: aire según tamaño del contenedor.....	20
2.8: Porosidad de aire de la mezcla de turba irlandesa y arena fina(10 y 20 %) con la adición de corteza de pino y lana de roca	22
2.9: Valores de pH (H ₂ O) en mezclas a base de componentes orgánicos.....	26
2.10: Clasificación de los niveles de salinidad en sustratos.....	29
2.11: Salinidad de algunos componentes de sustratos.....	29
2.12: Valores referencias de turbas de Sphagnum.....	39
2.13: Efecto de diferentes sustratos mezcla sobre altura, peso fresco y seco total y concentración de macronutrientes en plantines de melón.....	43
2.14: Influencia de la adición de compost sobre las propiedades físicas en sustratos basados en turba.....	44
2.15: Organismos implicados en la producción de compost.....	45
2.16: Días necesarios para emergencia y porcentaje de germinación según la temperatura del suelo.....	50
2.17: Efecto del agua sobre la germinación.....	51
2.18: Efecto del anegamiento de las raíces de tomate, durante 5 horas.....	51
2.19: Velocidad de emergencia y población final de plántulas de tomate, obtenidas a diferentes profundidades de siembra.....	52
2.20: Efecto de la temperatura(del suelo) del sistema radicular del tomate sobre la absorción de iones, luego de 21 días de la siembra.....	54
2.21: Efecto de la intensidad luminosa y la duración de la luz, sobre el desarrollo del tomate.....	56
2.22: Influencia del nivel de Mg, sobre el contenido de Ca en hojas y frutos de tomate.....	60
2.23: N° y peso de frutos de tomate, producidos por plantas en un medio de cultivo de arena.....	61

2.24: Efectos de la omisión individual de micronutrientes de una solución nutritiva completa, sobre la altura y contenido de materia seca de las plantas de tomate, y rendimiento de los frutos.....	61
3.1: Tratamientos del ensayo de crecimiento.....	64
4.1: Densidad aparente de los sustratos.....	81
4.2: Porcentaje de porosidad total de los sustratos.....	85
4.3: Contenido de agua retenida a 10 y 100 cm de succión y capacidad de agua disponible, de los sustratos	86
4.4: Porosidad con aire de los sustratos.....	87
4.5: Análisis granulométrico (% de partícula según tamaño, en base a volumen).....	88
4.6 Análisis químico.....	89
4.7: Clasificación de los sustratos según salinidad.....	91
4.8: Resultados del análisis de agua.....	92
4.9: Porcentaje de emergencia según sustrato, por día después de la siembra.....	95
4.10: Tasa de emergencia según sustrato.....	96
4.11: Promedio de altura de plantín según tipo de sustrato, por día después de la siembra.....	98
4.12: Promedios de la altura del plantín según nivel de fertilización, por día después de la siembra.....	100
4.13: Altura del plantín según sustrato y nivel de fertilización, a los 48 DDS.....	100
4.14: Promedios de PFA del plantín, según sustrato, por día después de la siembra.....	102
4.15: Promedios de PFA del plantín según nivel de fertilización, por día después de la siembra.....	103
4.16: Promedios de PSA del plantín según sustrato, por día después de la siembra.....	104
4.17: Promedios de PSA del plantín según nivel de fertilización, por día después de la siembra.....	105
4.18: Promedios de PFR del plantín según sustrato, por día después de la siembra.....	106
4.19: PFR del plantín según sustrato y nivel de fertilización a los 48 días de la siembra.....	106
4.20: Promedios de PSR del plantín según sustrato, por día después de la siembra.....	108
4.21: Promedios de la relación PFA/PFR según sustrato, por día después de la siembra.....	110
4.22: Promedios de la relación PFA/PFR según nivel de fertilización a los 42 días de la siembra.....	110
4.23: Relación PFA/PFR según sustrato y nivel de fertilización, a los 48 días de la siembra.....	111

4.24: Promedios de la relación PSA/PSR según sustrato, a los 42 días de la siembra.....	112
4.25: Promedios de la relación PSA/PSR según nivel de fertilización, a los 48 días de la siembra.....	112
4.26: Promedios de PFT del plantín según sustrato, por día después de la siembra.....	113
4.27: Promedios de PFT del plantín según nivel de fertilización, por día después de la siembra.....	113
4.28: Promedios de PST del plantín según sustrato, por día después de la siembra.....	114
4.29: Promedios de PST del plantín según nivel de fertilización, por día después de la siembra.....	115
4.30: Promedios de la relación PST/PFT según sustrato a los 36 días de la siembra.....	116
4.31: Relación PST/PFT según sustrato y nivel de fertilización a los 48 días de la siembra.....	116
4.32 - Análisis foliar.....	121

GRAFICO N°:

2.1: Suelo mineral.....	9
2.2: Sustrato orgánico.....	9
3.3: Representación gráfica de la curva de liberación de agua.....	19
4.1: Densidad aparente de los sustratos.....	80
4.2: Humedad gravimétrica de los sustratos.....	82
4.3: Humedad volumétrica de los sustratos.....	83
4.4: Curvas de liberación de agua de los sustratos.....	84
4.5: Porosidad total de los sustratos.....	85
4.6: Agua disponible entre 0.01 y 0.1 bar de los sustratos.....	86
4.7: Porcentaje de materia orgánica de los sustratos.....	90
4.8: Relación C/N de los sustratos.....	90
4.9: Valores de cond. eléctrica para los sustratos.....	91
4.10: Porcentaje de emergencia según sustrato.....	96
4.11: Evolución diaria de la temperatura en cada sustrato y de la temperatura ambiente.....	97
4.12: Evolución de la altura promedio del plantín según sustrato.....	100
4.13: Altura del plantín (con y sin fertilización), a los 48 DDS, según porcentaje de compost en la formulación mezcla (compost : CAC).....	101
4.14: Evolución del peso fresco aéreo del plantín según sustrato.....	102
4.15: Evolución del peso seco aéreo del plantín según sustrato.....	104

4.16: PFR del plantín (con y sin fertilización), a los 48 días de la siembra, según % de compost en la formulación mezcla (compost : CAC).....	107
4.17: Evolución del PSR del plantín según sustrato.....	109
4.18: Relación PFA/PFR (con y sin fertilización), a los 48 días de la siembra, según % de compost en la formulación mezcla (compost : CAC).....	111
4.19: Relación PST/PFT (con y sin fertilización), a los 48 días de la siembra, según % de compost en la formulación mezcla (compost : CAC).....	117

1- INTRODUCCION

La cátedra de Horticultura viene trabajando desde el año 1990 en líneas de investigación y docencia, que hacen al tema de este proyecto: Proyecto de propagación y producción de plantines y Proyecto de manejo de suelos y recuperación de su materia orgánica.

La producción de plantines en horticultura es una de las fases mas exigentes dentro del proceso productivo, por significar una importante especialización, y por la alta correlación existente entre un buen desarrollo del plantín, número de plantas aseguradas en el cultivo y posterior producción a campo. Las técnicas para producción de mudas se han difundido ampliamente en los últimos tiempos; por lo cual la disponibilidad de sustratos es uno de los principales temas a abordar, teniendo en cuenta la variedad y la variabilidad de materiales a usar puros o en mezcla.

Existen materiales residuales de la agroindustria nacional, como cáscara de arroz, orujo de uva, aserrín o biruta, o estiércoles de distintos animales que pueden ser utilizables luego de un proceso de compostaje o vermicompostaje, como componentes de un sustrato hortícola. Otros materiales posibles de utilizar son turba y arena. Un punto importante a tener en cuenta, es, lograr estandarizar la composición de los materiales a utilizar con el fin de que sean fácilmente reproducibles.

Los trabajos de tesis realizados hasta la fecha, han estudiado distintos materiales orgánicos compostados o vermicompostados, usados en distintas proporciones con suelo u otros materiales disponibles: cáscara de arroz quemada, turba, orujo o arena.

A mediados del año 1999, la Intendencia de Montevideo, instaló una planta de compostaje a escala industrial para procesar los residuos orgánicos provenientes del Mercado Modelo y los residuos de poda de la ciudad. La disponibilidad permanente (volumen, costos, etc.) de éstos materiales, justifica su estudio en la producción de mudas hortícolas.

En esta oportunidad se planteó trabajar con el compost de la Intendencia, en distintos tratamientos, puro y diluido con cáscara de arroz carbonizada, y evaluar sus características agronómicas en la producción de plantines de tomate. Desde el punto de vista económico estos sustratos son altamente competitivos, ya que son materiales residuales de coste prácticamente nulo, y al mismo tiempo se da una salida comercial a este tipo de residuos, evitando su progresiva acumulación y el daño que producen en el medio ambiente.

El presente trabajo forma parte del proyecto INIA – FPTA N° 135, “Evaluación de sustratos y biofertilizantes para la producción hortícola”. En el mismo se plantearon tres objetivos:

- 1- Caracterizar las propiedades físicas y químicas del compost puro y en mezclas con cáscara de arroz en distintas proporciones.
- 2- Analizar el crecimiento del plantín durante la etapa de almácigo hasta llegar al tamaño para transplante.
- 3- Ajustar la metodología de análisis físico de sustratos.

2 - REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 - EVALUACION AGRONOMICA DE SUSTRATOS.

La caracterización agronómica integra todo el conjunto de propiedades del sustrato en la respuesta final de la planta. Abad (1992) dice, que la evaluación agronómica de sustratos debe pasar por diferentes etapas, entre las cuales mencionó :

- 1 - Caracterización de los materiales, y determinación de sus propiedades físicas, físico –químicas, químicas y biológicas
- 2 - Estudio de dichas propiedades de manera crítica, comparándolas con las del sustrato ideal. Posteriormente, y en aquellos casos en que las propiedades del material se desvíen significativamente de los valores óptimos recomendados, debe procederse a mejorar, de modo sencillo, dichas propiedades.
- 3 – Realización de ensayos de crecimiento vegetal, los cuales exigen:
 - Selección de las especies vegetales a utilizar como planta testigo
 - Diseñar las estrategias de manejo de los sustratos durante el ciclo de cultivo, en función de los contenedores, el riego y la fertilización
 - Evaluar el crecimiento vegetativo y el desarrollo reproductivo de las plantas mediante el control de las variables más adecuadas a la hora de estimar la respuesta vegetal

La calidad de una planta se puede determinar a través de diferentes variables de crecimiento, entre las cuales se deben elegir las más adecuadas para estimar la respuesta vegetal. En los siguientes párrafos se citan algunas de estas variables, que fueron empleadas en diferentes trabajos de investigación, como estimadores de crecimiento de mudas hortícolas.

Por ejemplo Chiesa et al.(1994), para evaluar la calidad de plantines de pimiento determinaron *peso fresco y seco total, peso fresco y seco aéreo y peso fresco y seco radicular, la relación peso seco aéreo/peso seco radicular (PSA/PSR), altura, diámetro del tallo y número de hojas*. El nº de hojas se determinó en cinco momentos durante la etapa de almácigo.

En cuanto a la relación *PSA/PSR*, Leskovar et al.(1994), citado por Rothman et al. (2000), encontraron que dicha relación al momento de transplante en plantines de tomate siempre fue menor a cinco, cuando éstos crecieron en celdas de 40 cm³ de volumen. Este mismo autor en 1989, citado por Chiesa et al.(1994), encontró que esta relación varió significativamente para diferentes dosis de fertilización nitrogenada.

En otros trabajos como los que realizaron Weston (1988) y Rothman et al.(2000), la calidad de plantín se evaluó a través de la determinación del *área foliar* y el *contenido de nutrientes* de esta, entre otros.

Abou Hadid et al.(1998), para evaluar el crecimiento de plantines de melón, en diferentes medios de cultivo determinaron la relación *peso fresco total/ peso seco total (PFT/PST)*, además de otras variables ya mencionadas. En la tesis que realizaron Elola et al. (1997) también se hizo referencia a la relación *PFT/PST*, relación que puede reflejar la consistencia del plantín y el grado de resistencia al viento y al daño por manipuleo durante la etapa de transplante.

En los trabajos que realizaron Weston (1988) y Chiesa et al.(1994), se observó que un adelanto en la madurez fisiológica del plantín, se tradujo siempre en un incremento de la precocidad a cosecha. Los plantines que mostraron estas características fueron clasificados por los autores como plantines de calidad superior.

En el experimento que llevaron a cabo Rothman et al.(2000) se correlacionaron algunas variables de crecimiento de plantines de tomate (híbrido Empire) entre sí, a los 29 días de la siembra. Estos plantines crecieron en bandejas multiceldas y el volumen de cada celda fue de 40 cm³. Las correlaciones que los autores encontraron fueron:

Cuadro N° 2.1: Coefficientes de correlación entre variables de crecimiento de plantines de tomate, a los 29 DDS.

Variabes	Coefficiente de correlación
PSA – Altura	0.72
PSA – AF	0.69
PFA – AF	0.94
PSA – PSR	0.61

FUENTE : Rothaman et al. (2000)

En el trabajo de Chiesa et al.(1994) se determinó la correlción entre variables de crecimiento de plantines de pimiento con tamaño del contenedor. Los resultados obtenidos fueron:

Cuadro N° 2.2: Coefficientes de correlación entre variables de crecimiento y volumen del contenedor.

Variables	Coefficiente de correlación
PSA – vol.contenedor	0.87
PSR – vol.contenedor	no se encontró correlación
PST – vol.contenedor	0.83
PSA/PSR – vol.contenedor	0.57
PFA – vol.contenedor	0.9
PFR – vol.contenedor	0.71
PFT – vol.contenedor	0.91
PFA/PFR – vol.contenedor	0.53
Altura – vol.contenedor	0.59
Diámetro – vol.contenedor	0.57

FUENTE : Chiesa et al. (1994)

En relación al *PST*, Knavel (1977), citado por Chiesa et al.(1994), encontró mayores valores cuando los plantines de pimiento se suplementaron con dosis crecientes de nitrógeno, además de, mayor altura y mayor rendimiento a campo al final del ciclo del cultivo.

2.2- LOS SUSTRATOS EN HORTICULTURA

En los últimos años, las técnicas de cultivo empleadas en la producción de hortalizas y plantas ornamentales en maceta y contenedor han experimentado importantes y rápidos cambios. Entre estos, cabe citar la tendencia hacia la sustitución del cultivo tradicional en suelo por el cultivo en sustrato. Los primeros sustratos, que contenían proporciones importantes de suelo mineral, han sido sustituidos progresivamente por mezclas con proporción mayoritaria de ingredientes orgánicos, cuyas propiedades fisicoquímicas y de manejo han mejorado sensiblemente (Gojenola Eizagirre et al., 1994). Según Abad (1995), la principal razón de esta sustitución ha sido la existencia de factores limitantes para la continuidad del cultivo en el suelo natural, particularmente salinización, enfermedades y agotamiento de los suelos agrícolas.

En resumen, el desarrollo de los sustratos hortícolas tiene su origen en el cultivo en contenedor. La propia definición de sustrato, pues, no puede desligarse del cultivo en contenedor. Un sustrato es, por definición, cualquier medio que se utilice para cultivar plantas en contenedores, entendiendo por contenedor cualquier recipiente que tenga una altura limitada y que su base se halle a presión atmosférica. En base a esta definición, un contenedor podrá tener dimensiones muy variables, así como los sustratos características muy distintas (Burés, 1998a).

A causa del reducido volumen del medio de cultivo disponible para el suministro de aire, agua y nutrientes a las raíces, la elección de un sustrato adecuado es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta, para obtener buenas producciones, de plantas de calidad (mudas fisiológicamente preparadas para el trasplante, sanas, uniformes y sin vehiculizar patógenos ni malezas). Pero la elección de un sustrato no es sencilla, ya que existe una gran variabilidad de sustratos disponibles. En términos generales, las diferencias que pueden existir entre las características de los sustratos serían físicas, químicas y/o biológicas (Ansorena Miner, 1994).

Existen situaciones en las que sí se puede utilizar el suelo pero interesa más la utilización de sustrato; por ejemplo:

- Cuando interesa controlar correctamente la gestión del agua y nutrientes
- Cuando interesa reducir las labores de cultivo
- Cuando se pretende maximizar el aprovechamiento de la superficie del invernadero

Entre las situaciones en las que más se suele utilizar sustratos en la producción hortícola es en la producción de plantines. Esto es sin duda una producción especializada en la que se trata de provocar la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas en condiciones controladas. Al poder controlar las condiciones de cultivo tales como, temperatura, pH, agua y fertilizantes, se pueden

fácilmente provocar las condiciones adecuadas para la germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas (Ballesta, 1999).

De acuerdo a Ballesta (1999) las principales características que debería presentar un sustrato utilizado para la producción de plantines son:

- retener la humedad y ceder lo que la plántula pueda necesitar para su correcto crecimiento
- capacidad de transmisión de la temperatura, factor importante de controlar en el desarrollo de la plántula
- densidad aparente reducida, para facilitar el transporte de la bandeja de sustrato

2.3- COMPOSICIÓN DEL MEDIO DE CULTIVO

El medio de cultivo además de servir de soporte o anclaje a la planta, tiene que suministrar a las raíces las cantidades equilibradas de aire, agua y nutrientes minerales. Si las proporciones de estos componentes no son adecuadas, el crecimiento de la planta podrá verse afectado, según Ansorena Miner (1994) por:

- asfixia o falta de oxígeno, que impide la respiración de las raíces y de los organismos vivos que habitan en el suelo
- deshidratación por falta de agua, que puede provocar la muerte de la planta
- exceso o carencia de nutrientes minerales, o desequilibrio entre sus concentraciones, que limita el crecimiento de las plantas
- enfermedades producidas indirectamente por las causas anteriores

Según Lemaire et al.(1989), un sustrato esta formado por:

1- *una fase sólida*

3- *los espacios vacíos* (porosidad o espacio poroso), dentro de los cuales se hallan los fluidos, que reagrupan a:

- * la fase acuosa, conteniendo los componentes minerales u orgánicos en solución o en suspensión
- * la fase gaseosa, donde la composición depende de los intercambios con el aire ambiental, de la actividad del sistema radicular y de la de los microorganismos

Cada una de estas fases tiene una función que le es propia:

- la fase sólida asegura el sostén mecánico del sistema radicular y la estabilidad del vegetal
- la fase líquida asegura el abastecimiento de la planta, en agua y en elementos nutritivos
- la fase gaseosa asegura la transferencia de oxígeno y del dióxido de carbono que interviene en el transcurso de la respiración radicular

Las proporciones de las fases sólida, líquida y gaseosa en un medio de cultivo varían con la naturaleza del medio y con las condiciones exteriores (drenaje, temperatura, humedad, etc.). En la siguiente figura se compara la composición media de un suelo mineral con la de un sustrato orgánico, tras haber sido saturados con agua y dejados drenar libremente (Ansorena Miner, 1994).

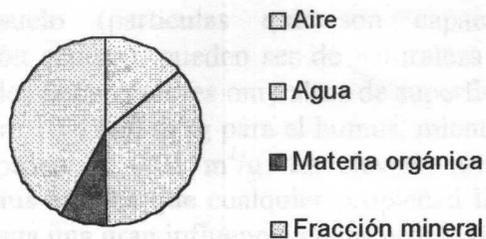


Gráfico N° 2.1: *Suelo mineral*. (Ansorena Miner, 1994).

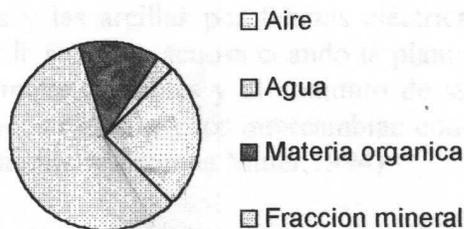


Gráfico N° 2.2: *Sustrato orgánico*. (Ansorena Miner, 1994).

Lo primero que llama la atención es la proporción muy inferior de fase sólida del sustrato respecto del suelo (consecuencia de su elevada porosidad), lo que indica que en un volumen determinado de sustrato habrá mas espacio para el agua y el aire que en el mismo volumen de suelo. Esto explica que las plantas puedan desarrollarse en volúmenes de sustratos tan reducidos como los contenidos en una maceta, a causa de sus mejores propiedades físicas.

A continuación se describen brevemente, las fases sólida, líquida y gaseosa.

2.3.1- Fase sólida

Dentro de la fracción sólida del suelo la mayor parte es mineral, mientras que en los sustratos orgánicos suele predominar la materia orgánica. Esta podrá estar mas o menos descompuesta, la que también influirá en sus propiedades, desde el punto de vista físico, químico y biológico. La materia orgánica se descompone a consecuencia del ataque de los microorganismos experimentando una serie de cambios en su composición hasta que alcanza una cierta estabilidad biológica. Una de las sustancias que mayor influencia tiene sobre las propiedades de los suelos y sustratos es el humus, ese residuo de materia orgánica muy descompuesta y estable, formado por una mezcla de varias sustancias (Ansorena Miner, 1994).

Los coloides del suelo (partículas que son capaces de permanecer indefinidamente en solución acuosa), pueden ser de naturaleza orgánica o mineral: humus o arcilla. Los coloides tienen valores muy altos de superficie específica (m^2/g), que suelen encontrarse entre 10 y $800 \text{ m}^2/\text{g}$ para el humus, mientras que en el caso de la arena gruesa es del orden de $0.01 \text{ m}^2/\text{g}$. La elevada área superficial de las partículas de arcilla y humus explica que cualquier propiedad ligada a la superficie, como la carga eléctrica, tenga una gran influencia en las propiedades de un suelo, y se manifiesta aunque las cantidades de arcilla y humus sean pequeñas. La mayor parte de los nutrientes minerales que se hallan disueltos en la solución del suelo como iones de carga positiva, son atraídos por los iones de cargas eléctricas negativas de las arcilla y el humus, formando una capa difusa de cationes. Estos cationes son retenidos en la superficie del humus y las arcillas por fuerzas eléctricas débiles, por lo que pueden pasar de nuevo por la solución acuosa cuando la planta los necesita. Por esta razón, se llaman cationes intercambiables y al conjunto de sustancias que como la arcilla y el humus, retienen los cationes y los intercambian con la solución acuosa, se le denomina complejo de cambio (Ansorena Miner, 1994).

El complejo de cambio es una auténtica reserva de nutrientes, ya que estos son retenidos, evitándose su pérdida por lavado o lixiviación, y pasando a la solución acuosa a medida que disminuye su concentración, como consecuencia de la absorción por la planta (Ansorena Miner, 1994).

2.3.2- La solución acuosa

Según Gras (1987), la alimentación en agua de la planta depende:

- de las propiedades que conciernen a la planta misma: sistema radicular y dinámica de desarrollo, características fisiológicas
- de las condiciones meteorológicas que determinan la demanda de agua que representa la evapotranspiración
- de las propiedades del sustrato: permeabilidad a distintas humedades, disponibilidad de agua, etc.

Los sustratos en contenedor han de tener una elevada capacidad de retención de agua, ya que el volumen del medio de cultivo es pequeño, en relación con las pérdidas elevadas de agua por evapotranspiración. En tales condiciones pues, es donde se refleja la influencia de la interacción entre las características físicas y químicas de los medios de crecimiento, dado que los nutrientes directamente disponibles para la planta, es decir aquellos que están en la solución, se encuentran limitados por el volumen del sustrato en el contenedor, por su capacidad de retención de agua y el límite máximo de concentración acuosa (que dependerá de la sensibilidad de la planta a la salinidad): la cantidad de nutrientes disponibles es el producto entre volumen de agua y la concentración de sales (Valenzuela et al., 2000).

Las plantas no pueden tomar alimentos sólidos, y deben recibir los nutrientes minerales disueltos de la solución acuosa del suelo. De acuerdo a Ansorena Miner (1994), los mecanismos por los cuales la planta absorbe los minerales de la solución acuosa son de tres tipos: interceptación por las raíces, flujo de masas y difusión.

2.3.3- El aire

Además de agua, la presencia de oxígeno es una característica primordial de los medios de cultivo. Esta fase gaseosa permite en particular, el suministro de oxígeno al sistema radicular, y la evacuación del gas carbónico, producto de la respiración de las raíces y de los microorganismos (Lemaire et al., 1989).

De acuerdo a Abad (1995), de todos los poros existentes en el medio de cultivo, el agua ocupa los más pequeños ($< 30 \mu\text{m}$), estando los poros de mayor tamaño ($> 30 \mu\text{m}$) ocupados por la fase gaseosa. Por lo tanto, cualquier acción que reduzca el tamaño de los poros más grandes, disminuirá la proporción de aire en el medio. Esto es lo que ocurre con la compactación, ya que al presionar el medio de cultivo disminuye el tamaño de los poros grandes, reduciéndose el volumen de aire disponible y aumentando la cantidad de agua retenida, lo que puede llegar a limitar el crecimiento de las plantas. Un cierto grado de compactación del sustrato se produce inevitablemente de manera natural en el curso del cultivo, como consecuencia del riego.

Aunque una parte del oxígeno necesario lo pueden tomar las raíces de la solución acuosa en la que se halla disuelto, esta cantidad solo representa una pequeña fracción del total que necesitan. Por esta razón, la mayor parte del oxígeno necesario tendrá que difundirse desde el exterior a través de los huecos vacíos de agua que posea el medio de cultivo y, finalmente, atravesar la delgada lámina de agua que rodea a las raíces. La velocidad de difusión del oxígeno a través de esta película líquida es una a diez mil veces más lenta que en el aire, por lo que cuanto mayor sea su espesor, menor será la concentración de oxígeno en la superficie de las raíces (Ansorena Miner, 1994).

2.4- PROPIEDADES DE LOS MEDIOS DE CULTIVO

Las características ventajosas de un sustrato varían según la finalidad de su uso. Para un uso correcto de estos materiales es necesario su caracterización física, química y biológica y el estudio crítico de sus propiedades comparándolas con las del sustrato “ideal”. Las propiedades de los materiales son las que inciden sobre el comportamiento de los sustratos y determinan el manejo posterior de éstos (recipiente, riego y fertilización) (Milks et al., 1989).

2.4.1 - Propiedades físicas

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

Las propiedades físicas son las más importantes desde el punto de vista de la aptitud de un material para su empleo como medio de cultivo. Esto es así, ya que una vez seleccionado el mismo, apenas podría ser modificada su estructura física a diferencia de su composición química, que puede ser alterada mediante el riego y la fertilización.

Para cumplir correctamente sus funciones de regulación de suministro de agua y aire, los sustratos deben poseer una elevada porosidad y capacidad de retención de agua, unidas a un drenaje rápido y una buena aireación. Las medidas de estas funciones serán mucho más exigentes en un medio de cultivo en contenedor respecto de un suelo natural de campo, ya que se estará trabajando en volúmenes reducidos o limitados a la dimensión del contenedor. En consecuencia de lo anteriormente expuesto, los métodos para determinar las propiedades físicas de los sustratos difieren de los métodos utilizados en los suelos con idéntico fin (Abad, 1995).

Las características físicas vienen determinadas por el tipo de partícula que forman el material, la distribución granulométrica y el tipo de empaquetamiento. Entre las más importantes se hallan:

- Distribución del tamaño de partícula o granulometría
- Densidad real
- Densidad aparente
- Porosidad total, y su reparto entre las fases líquida y gaseosa es decir:
 - * capacidad de retención de agua
 - * porosidad de aire
- Permeabilidad
- Temperatura



2.4.1.1 - Distribución del tamaño de las partículas o granulometría

Las partículas que forman un sustrato pueden tener diferentes tamaños. El tamaño de las partículas y su relación determinan el tamaño de los poros externos, que dan lugar a la porosidad interparticular. En la práctica, la porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de partícula (Ansorena Miner, 1994).

La granulometría se suele determinar con una serie de tamices, donde la abertura de cada tamiz es el doble de la del anterior (0.125; 0.25; 0.5; 1; 2; 4; 8; 16 mm) (Burés, 1999a). La granulometría se puede expresar mediante una curva granulométrica que asigna a cada tamaño de partícula el porcentaje en peso de partículas que poseen ese tamaño.

En el cuadro 2.1 se aprecia como varían la porosidad y la cantidad de agua retenida, en función de los tamaños de partícula de distintas fracciones, obtenidas por tamizado de dos sustratos diferentes (Ansorena Miner, 1994).

Cuadro N° 2.3: Influencia del tamaño de partícula en la porosidad y retención de agua.

Tamaño de partícula (mm)	Porosidad total(%)		Agua retenida a CC (%)	
	Resina fenólica	Escoria de fundición	Resina fenólica	Escoria de fundición
0 - 1	66.4	57.2	52.2	41
1 - 2.5	78.3	69.7	28.5	20.4
2.5 - 4	83.3	71.7	18.6	13.4
4 - 8	85.4	74.5	17.5	13.9
8 - 10	86.7	75.2	18.5	13.7
> 10	86.7	75.8	19.4	14.0

FUENTE : Blanc (1987), citado por Ansorena Miner (1994).

Del cuadro anterior, se revela, que existe un brusco descenso de la porosidad y aumento de la retención de agua, al pasar a partículas de tamaño inferior a 1mm. Pero no todas las partículas menores de 1 mm tienen la misma influencia en las propiedades físicas. La presencia de partículas muy pequeñas hace que disminuya la porosidad total y aumente la cantidad de agua retenida, ya que crece el número de microporos, que son los que retienen el agua. El aumento del número de microporos se debe a que la partículas pequeñas se alojan en los huecos entre partículas grandes, reduciendo su tamaño, y por tanto, la porosidad total y la ocupada por aire.

Abad (1995) señala que la distribución del tamaño de la partícula y de los poros determina el balance entre el contenido en agua y en aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad.

Los materiales de textura gruesa, con tamaño de partícula superior a 0.9 mm, con poros grandes, superiores a 100 μm , retienen cantidades reducidas de agua y están bien aireados. Los materiales finos, con partículas de 0.25 mm y tamaño de poros inferior de 30 μm , retienen grandes cantidades de agua difícilmente disponible y están mal aireados. Según Rustjarvi (1983), citado por Abad (1995), el mejor sustrato se define como aquel material de textura gruesa a media, con una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 y 2.5 mm, que retiene suficiente agua fácilmente disponible y posee, además, un adecuado contenido en aire.

Ansorena Miner (1994) señala que la granulometría de los materiales empleados como sustratos suele ser muy variable, dependiendo de múltiples factores: origen y naturaleza, sistema de recolección, condiciones de trituración y tamizado, etc. En el caso de la turba, el tamaño de partícula disminuye al aumentar el grado de descomposición. En las cortezas, la granulometría suele depender del grado de molienda del material original; si no es suficiente dará lugar a un sustrato con escasa retención de agua.

En mezclas basadas en corteza de pino, Handreck (1983), citado por Richards et al. (1986), identificó, que una forma de mejorar la capacidad de almacenaje de agua es a través del control de la distribución de tamaño de partícula de los ingredientes. El mismo investigador, citado por Gojenola Eizagirre et al. (1994), encontró además, que las partículas comprendidas en el rango de 0.1 a 0.25 mm disminuían la porosidad de aire en mayor proporción que la del intervalo de 0.25 a 0.5 mm.

Richards et al. (1986) definieron relaciones cuantitativas entre la granulometría y las propiedades físicas, cuyos valores se denominaron, índice de grosor, definido como el porcentaje de partículas de tamaño superior a 1mm. Los citados autores encontraron una relación lineal entre el índice de grosor y la porosidad de aire en corteza de pino. De los resultados concluyeron que pueden eliminarse los componentes groseros de una mezcla de corteza de pino (definidos como partículas > a 2 mm), incrementando la disponibilidad de agua, sin algún efecto adverso sobre la aireación. La validez de las correlaciones entre el índice de grosor y las características físicas, no se puede generalizar para todo tipo de ingredientes y mezclas, ya que se comprobó que en algunos materiales éstas no existen, o dependen de la naturaleza de los ingredientes y, de las proporciones en que se encuentren las diferentes fracciones menores de 1 mm (Ansorena Miner, 1994).

2.4.1.2 - Densidad real

La densidad real puede considerar o no, los poros internos de las partículas según el método que se utiliza para su determinación, dando valores muy distintos. Dentro

de los métodos normalmente utilizados para calcular la densidad real, se encuentra, el método del picnómetro. Según Ansorena Miner (1994), éste consiste en pesar exactamente una cantidad determinada de sustrato en un recipiente con enrase a un volumen conocido (normalmente 100 ml). Se añade agua destilada hasta saturar el sustrato (con lo que todos sus poros se rellenan de agua) y se enrasa a volumen. Por diferencia de pesada se calcula el volumen de agua añadida, la diferencia hasta 100 será el volumen real del sustrato. El cociente entre el peso del sustrato y su volumen nos proporciona la densidad real.

Según Burés (1999a), la densidad real también se puede calcular a partir del conocimiento de los valores medios de la densidad real de la materia orgánica y de la materia mineral según la siguiente relación:

$$D.r. = \frac{100}{(\%M.O/1.65) + [(100 - \%M.O)/2.65]}$$

La expresión anterior permite calcular la densidad real de un sustrato a partir del conocimiento de la fracción cenizas. Este método de incineración es el único que proporciona valores de densidad real independiente del tamaño de partícula del material, lo que se explica porque en la incineración se destruye la organización física de la muestra (Ansorena Miner, 1994).

2.4.1.3 - Densidad aparente

A diferencia de la densidad real, la densidad aparente depende del grado de compactación y del tamaño de partícula. Al disminuir el volumen total, manteniendo la masa del material, aumentará la densidad aparente. La reducción del tamaño de los poros que se produce al aumentar la compactación, hace que disminuya la porosidad ocupada por aire y aumente la retención por agua; como se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 2.4: Variación de la porosidad, densidad aparente y retención de agua con el grado de compactación.

Nivel de compactación	Porosidad total (%)	Densidad aparente(g/ml)	Porosidad de aire (%)	Retención de agua (%)
Nulo  Máximo	58	1.13	42	16
	54	1.23	37	17
	50	1.33	30	20
	46	1.43	28	18
	42	1.54	24	18
	38	1.64	19	19
	34	1.74	9	25

FUENTE: Facker et al. (1950), citados por Ansorena Miner (1994).

El riego también ejerce un efecto de compactación sobre los sustratos en contenedor, que habrá de ser tenido en cuenta (Ansorena Miner, 1994).

En los cuadros 2.5 y 2.6 se muestran algunos ejemplos de densidad aparente, según Handreck et al.(1991), citados por Ansorena Miner (1994) y Kämpf (2000), citado por Kämpf et al.(2000), de los ingredientes más comúnmente usados como componentes de sustratos. En el cuadro 2.6 se observa el efecto de tamaño de partícula sobre la densidad aparente en corteza de pino.

Cuadro N° 2.5: Densidad aparente (g M.S./ ml) de algunos ingredientes de sustratos, e influencia del tamaño de partícula.

Ingrediente	Tamaño (mm)	Densidad aparente (g/ml)
Turbas de musgo	.....	0.03 - 0.14 (la mayoría alrededor de 0.1)
Corteza de pino	2 - 5	0.12
	0.5 - 1	0.21
	< 0.5	0.3
	mezcla	0.25 - 0.27
Aserrín de eucaliptus	.....	0.23
Arena	0.5 - 1	1.28
Arcilla	.....	1.2
Vermiculita exfoliada	1 - 2	0.11
Perlita	2 - 5	0.21
Escoria	0.5 - 2	0.85

FUENTE. Handreck y Black (1991), citados por Ansorena Miner (1994).

Cuadro N° 2.6: Densidad seca (105°C) de algunos componentes de sustratos hortícolas.

Componente	Dens. Ap. (grs./cm ³)	Componente	Dens. Ap. (grs./ cm ³)
Suelo mineral	1 – 1.5	Cáscara de arroz carbonizada	0.15 – 0.25
Compost de res. Orgánicos.	0.5 – 0.6	Cáscara de arroz quemada	0.3 – 0.35
Vermicompost	0.65 – 0.85	Perlita	0.05 – 0.1
Turba(fibrosa)	0.1 – 0.2	Arena	1.4 – 1.5
Turba negra	0.15 – 0.25	Vermiculita	0.05 – 0.1

FUENTE: Kämpf (2000), citado por Kämpf et al. (2000).

Cuando se combinan materiales con diferentes tamaños de partícula, ocurre un acomodamiento entre ellas y la densidad final puede ser más elevada que la de los componentes iniciales, por lo tanto, se debe prestar atención al momento de elegir los ingredientes que formarán el sustrato (Kämpf, 2000, citado por Kämpf et al., 2000).

El conocimiento de la densidad aparente es muy importante, no solo porque permite calcular la porosidad, sino porque además, proporciona por sí misma, información: para la preparación de las mezclas, para el ajuste del análisis químico, en base a volumen, durante el manejo y manipuleo del sustrato, etc.. Además, al momento de elegir un sustrato el anclaje de las plantas debería ser considerado como otro parámetro de importancia (Abad, 1995).

2.4.1.4 - Porosidad o espacio poroso total

Según Abad et al.(1993), citado por Abad (1995), el volumen total del medio de cultivo no ocupado por partículas orgánicas ni minerales. Su nivel optimo se sitúa por encima del 85 % del volumen del sustrato.

De acuerdo a Raviv et al.(1986), y Bunt (1988), citados por Abad (1995), el espacio poroso de un sustrato se puede dividir en:

- 1 - Poros capilares de pequeño tamaño (< 30 µm)
- 2 - Poros no capilares o macroporos, de mayor tamaño (> 30 µm)

Los poros capilares son los que retienen el agua y los no capilares son los que se vacían después que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación. Sin embargo los poros no drenan completamente y una fina película de agua es retenida alrededor de las partículas del sustrato. Esta película de agua disminuye en espesor a medida que el medio se seca. Consecuentemente, una alta porosidad total no indica por sí

misma una buena estructura del sustrato, sino que es necesario conocer la fracción de la porosidad que proporciona el agua y aquella que proporciona el aire.

La caracterización del volumen poroso muestra que generalmente los sustratos tienen dos tipos de porosidad: intrapartícula e interpartícula. La porosidad intrapartícula, corresponde a los espacios vacíos situados en el interior de cada una de las partículas, y la porosidad interpartícula, es la que forma los espacios entre las partículas.

Cuando el material presenta porosidad intrapartícula, el comportamiento de los fluidos será diferente, según sea esta porosidad, cerrada o abierta. En el caso de una porosidad cerrada, no existe comunicación posible entre los espacios vacíos que están en el interior de la partícula y los del exterior. Por lo tanto la porosidad intrapartícula, no se debe tomar en cuenta en la repartición de aire y agua de los sustratos. Por el contrario en el caso de una porosidad abierta, el agua puede circular en las partículas y participar en la alimentación hídrica del vegetal (Lemaire et al., 1987).

La porosidad total de un sustrato (P.T.) es el porcentaje de espacios vacíos (la suma de huecos entre las partículas y la procedente de los poros internos de dichas partículas), mientras que la porosidad efectiva (P.E.) corresponde al espacio poroso interconectado. Y ésta, es la porosidad que contribuye a la retención del agua y movimiento del agua y del aire en el sustrato (Burés, 1999a). La porosidad total se calcula a través de la medida de la densidad aparente, con la cual se encuentra inversamente relacionada:

$$PT = 100 * \left(1 - \frac{D.ap}{D.real} \right)$$

La porosidad efectiva (P.E.) se calcula con la misma fórmula, cuando la densidad real se determina por el método del picnómetro (Ansorena Miner, 1994).

2.4.1.5 - Capacidad de retención de agua

La distribución de tamaños de los poros, es el factor clave para que el sustrato retenga las cantidades convenientes de agua y aire.

A principios de los años 70 De Bood y colaboradores, citados por Burés (1999a), propusieron el empleo de la “curva de liberación de agua” en el intervalo de 0 - 100 cm de succión para estudiar la distribución de agua y aire. Aplicando tensiones de 10, 50 y 100 cm de agua al sustrato y determinando su contenido en agua a cada tensión, puede trazarse la curva que refleja la distribución de las fases sólida, líquida y

gaseosa a cada tensión aplicada. A través de la curva desarrollada se determinan las siguientes categorías:

* **Agua difícilmente disponible (A.D.D.):** es el agua en tanto por ciento en volumen, que queda retenida en el sustrato tras aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua.

* **Agua de reserva (A.R.):** es el porcentaje en volumen de agua que se libera entre 50 y 100 cm de columna de agua de tensión sobre el sustrato. El nivel óptimo se sitúa entre 4 y 10 % en volumen.

* **Agua fácilmente disponible (A.F.D.):** es el tanto por ciento en volumen de agua que se libera entre 10 y 50 cm de columna de agua sobre el sustrato. El valor óptimo de agua fácilmente disponible oscila entre 20 y 30 % del volumen.

* **Capacidad de aire (C. A.):** es el porcentaje en volumen de agua que se libera al aplicar una tensión de 10 cm de columna de agua sobre el sustrato, o tanto por ciento de aire que queda en el sustrato a una tensión de 10 cm de columna de agua. El valor óptimo de capacidad de aire oscila entre un 20 - 30 % del volumen poroso

* **Material sólido (M.S.):** es el porcentaje en volumen ocupado por la materia sólida del sustrato.

• **Espacio poroso total (E. P.T.):** es el espacio de aire y agua, formado por la suma de A.D.D., A.R., A.F.D., C.A. y que se determina a partir de las densidades real y aparente, según : $E.P.T. = (1 - d_a/d_r) * 100$.

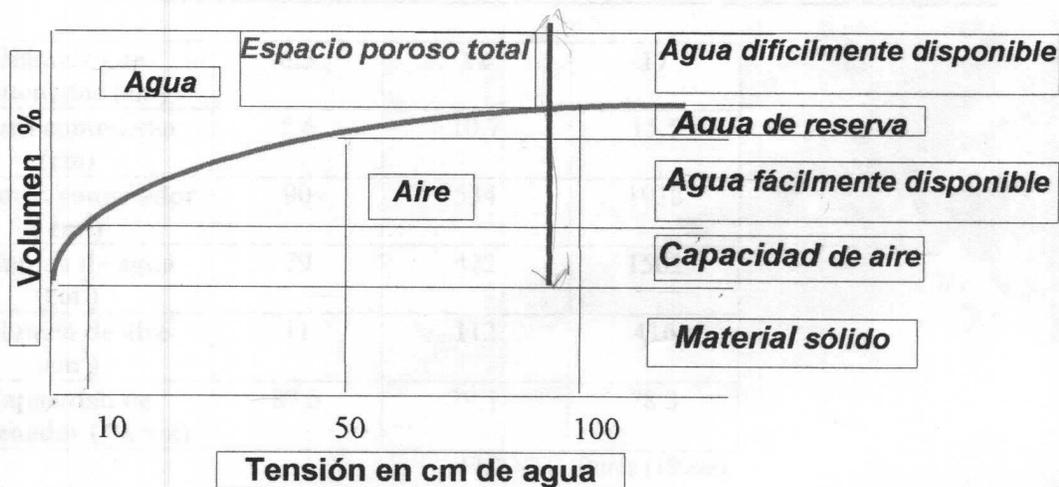


Gráfico N° 2.3: Representación gráfica de la curva de liberación de agua. (Ansorena Miner, 1994).

La capacidad de agua disponible de un sustrato, se define como la cantidad de agua retenida por el sustrato entre su capacidad de contenedor y el punto de marchitez permanente en que la planta es incapaz de extraer mas agua del medio. La capacidad

de contenedor es la cantidad de agua retenida por un sustrato alojado en un contenedor, una vez que ha sido saturado con agua y dejado drenar libremente. Entonces el agua disponible en un sustrato es igual a la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva, es decir el agua retenida entre 10 - 100 cm de columna de agua.

En los sustratos en contenedor, la succión media con que el agua es retenida es muy inferior a la de los suelos minerales de campo: a capacidad de contenedor en macetas de unos 20 cm de altura, es del orden de los 10 cm de agua. Esta es la razón por la que frecuentemente se toman como valores de capacidad de contenedor y de aireación de un sustrato sus contenidos de agua y aire a 10 cm de succión (Ansorena Miner, 1994).

La capacidad de contenedor es función de las características del sustrato y de la altura del contenedor. Un mismo volumen de sustrato retendrá más agua cuanto menor sea la altura del contenedor, debido a que el agua retenida por el medio de cultivo no se reparte uniformemente en toda la altura del contenedor (Milks et al., 1989).

En el cuadro 2.7 se puede observar la distribución de volúmenes de agua y aire en la turba para distintos tamaños de maceta a capacidad de contenedor (Burés, 1999).

CUADRO N° 2.7: Distribución del volumen de agua: aire según tamaño del contenedor.

Diámetro de contenedor (cm)	6.5	12	17
Altura contenedor (cm)	5.6	10.7	15.5
Volumen contenedor (cm³)	90	534	1918
Volumen de agua (cm³)	79	422	1502
Volumen de aire (cm³)	11	112	416
Capacidad de contenedor (% vol)	87.5	79.1	78.3

FUENTE: Burés (1999a).

A su vez, las propiedades de aire y agua en sustratos en contenedor de altura semejante dependerán de los tamaños de los poros. Cuanto más pequeños sean estos, mayor será la cantidad de agua retenida por el sustrato. Por las mismas razones expuestas, la capacidad de contenedor de un medio de cultivo será siempre superior a su capacidad de campo, por lo que los medios de cultivo en contenedor deberán tener

una mayor proporción de poros grandes que los suelos naturales, para que las plantas satisfagan sus necesidades de oxígeno (Ansorena Miner, 1994).

La influencia del tamaño de contenedor también fue evaluada por otros investigadores quienes encontraron ventajas en la producción de mudas en bandejas con celdas de mayor tamaño que en las de menor tamaño. Es decir los plantines de mejor calidad se obtuvieron en contenedores de mayor volumen, relacionado esto a un adelanto en su madurez fisiológica y a un mayor desarrollo de las raíces en estas células; ambas características muy relacionadas a la facilidad de establecimiento de los plantines en el campo (Weston, 1988).

Existen dos tipos de fuerzas que retienen el agua en los microporos del sustrato, venciendo la acción de la fuerza de la gravedad, que tiende a extraer el agua al exterior: capilares y osmóticas.

Las fuerzas capilares son el resultado de la atracción del agua por las superficies. Este fenómeno de capilaridad que se produce en los medios de cultivo, explica, el porque cuanto menor sea el tamaño de partícula y , por tanto, el diámetro de los poros, mayor será la fuerza de retención de agua. De lo anterior se deduce, que la fuerza de succión (o potencial matricial) que deberá ejercer la planta para extraer el agua retenida por el sustrato será, tanto mayor, cuanto menores sean los poros.

Las fuerzas osmóticas, tienen su origen en la elevada salinidad o concentración de sales de la fase líquida. Cuanto mayor sea esta última, más elevada será la succión que debe aplicar la planta para extraer el agua del sustrato, lo que reducirá la disponibilidad de agua para las plantas (Ansorena Miner, 1994).

En resumen, la cantidad de agua disponible, dependerá del tamaño de los poros mas pequeños y de la concentración de las sales en la solución acuosa.

2.4.1.6- Porosidad ocupada por aire.

La porosidad ocupada por aire (p.a.) es probablemente la propiedad física mas importante de los sustratos empleados en horticultura.

Las raíces requieren oxígeno para mantener su actividad metabólica y su crecimiento. Un déficit temporal de oxígeno puede reducir el crecimiento de las raíces y la parte aérea, pero en condiciones de anaerobiosis mantenida durante varios días puede llegar a provocar la muerte de algunas raíces. Este elemento también es requerido por los microorganismos, en sustratos orgánicos (Abad, 1995).

Abad (1995), señala que los valores de p.a necesarios dependen mucho de la especie cultivada, ya que la sensibilidad de las plantas a la aireación es muy variable. Además, dependen del método de medida utilizado y de las condiciones ambientales y de manejo.

Si un sustrato tiene un valor bajo de porosidad de aire, deberá limitarse el riego, sobre todo en invierno, en que las pérdidas de agua por evapotranspiración son bajas, para no saturar con agua los macroporos ocupados por aire. Por el contrario, un sustrato con elevada porosidad de aire deberá ser regado frecuentemente en verano para reparar las elevadas pérdidas de agua. La porosidad de aire puede modificarse a través de la adición de diferentes materiales como: arena, corteza, perlita, etc.(Ansorena Miner, 1994).

En el cuadro siguiente se observa el efecto combinado de incluir arena fina (al 10 y 20 %), juntamente con corteza de pino y lana de roca, en la porosidad de aire de la turba.

Cuadro N° 2.8: Porosidad de aire de la mezcla de turba irlandesa y arena fina(10 y 20 %) con la adición de corteza de pino y lana de roca .

Cantidad añadida (%)	10 % de arena fina		20 % de arena fina	
	Corteza de pino	Lana de roca	Corteza de pino	Lana de roca
0	6.3		5.8	
10	6.9	6.8	4.9	5.2
20	8.1	8.8	5.4	6.8
30	9.3	11.7	6.8	10.4

FUENTE :Bragg y Chambers (1987), citados por Ansorena Miner (1994).

Este ejemplo sirve para mostrar la influencia de las características de los componentes de un sustrato sobre su porosidad de aire. Por lo tanto deberá tenerse siempre presente que las propiedades físicas de un sustrato no son simplemente la suma de las propiedades de sus ingredientes, sino el resultado de la interacción entre todos los materiales empleados.

2.4.1.7 - Permeabilidad

Es importante conocer no solo el volumen de agua disponible, sino también la capacidad del sustrato para transmitir el agua, o su conductividad hidráulica. La conductividad hidráulica disminuye a medida que se deseca el cultivo, por lo tanto, es fundamental que el flujo de agua hacia las raíces de las plantas sea elevado, con el fin

de reponer el agua perdida por transpiración (Marfá, 1994). La conducción del agua en un medio poroso depende de la configuración espacial de los poros y de la continuidad de los mismos (percolación) y de su geometría, a la vez que depende del material que toma la matriz del sustrato (Bures, 1999a).

2.4.1.8 - Temperatura

La temperatura del sustrato afecta a múltiples procesos que influyen en el manejo de los sustratos y en el cultivo, como son las tasas de reacciones químicas y biológicas, la difusión de gases y el movimiento del agua. La temperatura influye así directamente en la nutrición y el crecimiento vegetal por medio de aspectos fisiológicos importantes .

1 – Según Nicolas et al.(1988), la temperatura radicular modificó la actividad fisiológica de las plantas, y particularmente la absorción de agua. La absorción de agua se incrementó con la temperatura, linealmente, hacia un valor máximo de acuerdo con la curva logística. El mismo tipo de observación fue visto por Cornillon (1974) y Risser et al.(1978) citados por Nicolas et al.(1988), en la nutrición mineral;

2 - La temperatura radicular, también modificó el crecimiento de la planta. Connel et al.(1963) citados por Nicolas et al.(1988), vieron que un aumento de temperatura provocó una mejoría óptima en el peso de materia seca. Humphries et al.(1963), citados por Nicolas et al.(1988), observaron además que un aumento de la temperatura radicular modificó el crecimiento y anatomía de las hojas, condujo a un alargamiento del tallo y tendió a incrementar el diámetro y la tasa de ramificación de las raíces.

2.4.2- Propiedades químicas

Junto a propiedades físicas adecuadas, que aseguren el anclaje de la planta y el suministro de aire y agua, el sustrato debe proporcionar los nutrientes minerales que, a través de las raíces, toma la planta de la solución del suelo.

En general, el medio de cultivo no es inerte, sino que muestra reactividad a través de 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 de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales (químico), reacciones de intercambio de iones (fisicoquímico) y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (bioquímica) (Andre, 1987).

Los materiales orgánicos son los componentes que contribuyen en mayor grado a la química de los sustratos, debido principalmente a la formación y presencia de las sustancias húmicas, el producto final más importante de la descomposición de la materia orgánica.

La caracterización química de los sustratos ha de tenerse en cuenta cuando se establece un programa de fertilización, puesto que la fertilidad del sustrato y el manejo del fertilizante dependen de la reactividad química del sustrato que hace también que el material no sea estable en el tiempo.

Entre las propiedades químicas de importancia se citan:

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
- pH
- Capacidad tampón
- Contenido de sales (conductividad eléctrica, presión osmótica)
- Contenido de elementos nutritivos totales o libres en la solución del sustrato o intercambiables (solubles o extractables)
- Relación C/N

En algunos materiales también es importante conocer la presencia de elementos nocivos (por ej. metales pesados y compuestos fitotóxicos en general).

2.4.2.1 - Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), se expresa generalmente en miliequivalentes por 100 grs. de sustrato, o mejor por litro de sustrato (Burés, 1999a).

El valor óptimo para la CIC de los sustratos depende estrechamente de la frecuencia de la fertirrigación. Si la fertirrigación se aplica permanentemente, la capacidad de adsorción de cationes no representa ninguna ventaja, siendo recomendable en este caso la utilización de materiales inertes, con muy baja o nula capacidad de intercambio catiónico. Si, por el contrario, la fertirrigación se aplica de modo intermitente, será interesante la utilización de sustratos con moderada o elevada CIC, en todo caso superior a 20 meq/100 grs (Abad, 1995).

La medida de la CIC de un medio de cultivo se efectúa normalmente en el laboratorio de dos formas:

- A un *pH estándar*, empleando soluciones tampón de acetato amónico (pH =7), acetato sódico (pH = 8.2) o ambas. Los valores de CIC obtenidos son independientes del pH del medio de cultivo.
- A *pH del suelo*, desplazando los cationes cambiables con una solución no tamponada de una sal, tal como cloruro bórico o potásico. La CIC obtenida a través de este método refleja mejor las condiciones reales del medio de cultivo en que se desarrollan las raíces de las plantas, y es más útil en la caracterización de suelos cuya carga negativa es mayoritariamente dependiente del pH, como los suelos o sustratos orgánicos (Ansorena Miner, 1994).

Los materiales orgánicos poseen una elevada CIC y una alta capacidad tampón frente a cambios rápidos en la disponibilidad de los nutrientes y en el pH. Una CIC elevada representa un depósito de reserva para los nutrientes, mientras que los materiales con baja capacidad de cambio, como la mayoría de los sustratos minerales, retiene cantidades reducidas de nutrientes y requieren una aplicación frecuente y regular de fertilizantes. La materia orgánica, especialmente las sustancias húmicas, contienen grupos funcionales cargados negativamente (carboxílico, fenólico, enólico, etc.), que son los responsables de la capacidad de los materiales orgánicos para retener los cationes en forma no lixiviable. Durante el proceso de intercambio catiónico, los iones orgánicos cargados negativamente son capaces de absorber cationes (NH_4^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , etc.) en proporciones variables, en función de la afinidad del catión por los centros de adsorción y de su concentración en la disolución. La capacidad de los sustratos orgánicos para adsorber cationes metálicos depende del pH, cuanto más alto es el pH, más elevada es la capacidad de intercambio catiónico (Abad, 1995).

Teniendo en cuenta que en los sustratos orgánicos la mayor parte de la carga es dependiente del pH, y que las plantas se cultivan a valores de pH comprendidos entre 5.0 y 6.0, se comprende la importancia de determinar la CIC de los sustratos a valores de pH semejantes a aquellos a los que se cultivan las plantas en el medio de cultivo (Ansorena Miner, 1994).

2.4.2.2 - pH

La acidez del medio de cultivo se expresa por su pH, del que depende en gran medida el valor de CIC. Pero, además, la gran importancia del pH radica en que puede reflejar la existencia de desequilibrios o toxicidad (manganeso, aluminio) para las raíces de las plantas y, sobre todo, en que regula la solubilidad y, por tanto, la disponibilidad de los nutrientes minerales (Ansorena Miner, 1994).

El pH además de influenciar en la disponibilidad de nutrientes, afecta también la biología de los microorganismos del sustrato. Según Kämpf (2000), citado por Kämpf et al.(2000), en los suelos minerales el rango de pH dónde hay mayor disponibilidad de nutrientes se encuentra entre 6 y 7, en cambio en sustratos a base de componentes orgánicos el efecto varía, y el rango ideal se encuentra alrededor de 0.5 a 1 unidad por debajo del nivel óptimo de los suelos minerales.

El cuadro siguiente muestra la clasificación general de valores de pH (H₂O) en mezclas a base de componentes orgánicos.

Cuadro N° 2.9: Valores de pH (H₂O) en mezclas a base de componentes orgánicos

Valores	Clasificación general.
< 4.5	Extremadamente bajo
4.6 – 4.7	Muy bajo
4.8 – 4.9	Bajo
5.0 – 5.1	Ligeramente bajo
5.2 – 5.5	Óptimo
5.6 – 5.8	Ligeramente alto
5.9 – 6.3	Alto
6.4 – 6.8	Muy alto
>6.9	Extremadamente alto

FUENTE: Kämpf (2000), citado por Kämpf et al.(2000).

Los sustratos presentan amplias variaciones de pH, las turbas ácidas pueden tener pH de 3, mientras que algunos minerales como la perlita o la vermiculita pueden tener pH superiores a 8. El valor de pH varía en función de la dilución, por lo que cuando se comparan distintos pH deben estar realizados con la misma proporción de sustrato: agua (Burés, 1999a).

2.4.2.3 - Capacidad tampón

La capacidad tampón de un sustrato mide su poder amortiguador sobre cambios rápidos de pH provocados por la adición de fertilizantes de carácter ácido o

básico al sustrato y se estima mediante las curvas de valoración del sustrato frente a los ácidos y las bases. La capacidad tampón de un sustrato aumenta con la CIC. El poder tampón de los sustratos orgánicos es en general superior al de los inorgánicos puesto que las sustancias húmicas proporcionan capacidad tampón frente a un amplio rango de pH (Burés, 1999a).

En el trabajo que realizó Silva et al.(2000), citado por Kämpf et al.(2000), se observó como el pH final de las formulaciones mezcla dependió de la capacidad de tamponamiento de cada uno de los componentes y de la interacción entre los mismos. En dicho trabajo, se formularon cinco sustratos en base a volumen. Estos fueron:

- 100% turba
- 75% turba : 25% cáscara de arroz carbonizada (CAC).
- 50% turba : 50% CAC
- 25% turba : 75% CAC
- 100% CAC

Los sustratos turba pura y diluída con CAC presentaron pH ácido (entre 4.2 y 4.4), los cuales contrastaron con el medio de crecimiento 100% CAC, quién presentó un pH de valor neutro (7.2), lo que pone en evidencia el mayor poder tampón de la turba, en el pH final de las mezclas.

2.4.2.4- Contenido de sales

A consecuencia del reducido volumen del medio de cultivo de que disponen las raíces de las plantas cultivadas en contenedor, la concentración de nutrientes en la solución acuosa suele ser elevada, muy superior a lo que es habitual en cultivos de campo en suelos minerales. Con ello, aumenta el riesgo de acumulación de niveles excesivos de sales disueltas, lo que se conoce como salinidad. La concentración total de sales afecta el potencial osmótico que esta relacionado con la concentración de iones en la fase líquida del sustrato. El valor de la tensión osmótica es tanto mayor cuanto más elevada sea la concentración de iones disueltos, por lo que si esta se eleva excesivamente, la planta puede llegar a padecer un déficit hídrico, igual al que se produce en condiciones de sequía.

La salinidad de una solución acuosa se mide por su contenido en sales disueltas (mg/l o ppm) o más comúnmente, por su capacidad para conducir la corriente eléctrica o conductividad (en milisiemens por cm, ms/cm, o microsiemens por cm,

$\mu\text{s/cm}$). Cuanto más elevada sea la concentración de sales disueltas, mayor será la conductividad de la solución (Ansorena Miner, 1994).

Las causas que provocan un incremento en la salinidad del sustrato, en el contenedor son:

- 1 - La presencia de fertilizantes insolubles, como los de liberación lenta, cuando se degradan para producir nitratos, o bien, cuando liberan sales mediante difusión, en una cuantía superior a las cantidades absorbidas o lixiviadas.
- 2 - Cuando la cantidad de sales aportadas con el agua de riego o la solución fertilizante es superior a las cantidades absorbidas por las plantas o las pérdidas por lixiviación.
- 3 - Cuando el sustrato presenta una elevada CIC y, al mismo tiempo, se descomponen con el transcurso del cultivo, liberando nutrientes. (Abad, 1995).

Un incremento en la salinidad, si se presentase, puede ser prevenido, o corregido, mediante lixiviación controlada. Otras medidas para atenuar los efectos de la salinidad, son:

- 1- mantener el medio de cultivo húmedo
- 2 -no aplicar soluciones fertilizantes con elevada fuerza iónica cuando el medio este seco
- 3 - reducir el estrés de las plantas mediante sombreado e incremento de la humedad relativa ambiente (Abad, 1995).

Según Valenzuela et al.(2000), el uso de ingredientes de baja salinidad, es otra alternativa para disminuir el nivel de salinidad de un sustrato. Estos autores, evaluaron la influencia del agregado de arena a lombricompuestos, sobre la conductividad eléctrica, del sustrato así formado. Se vio que la conductividad eléctrica se redujo en los lombricompuestos mezclados con arena en un promedio menor al 50 % respecto al puro, lo que indicó que la carga nutricional de los sustratos mezcla, fue menor.

En los siguientes cuadros se muestra primeramente, la clasificación de los niveles de salinidad en sustratos, y en segundo lugar, los valores de salinidad de algunos componentes de sustratos.

Salinidad (grs./ l)	Clasificación
< 1.0	Baja
1.0 – 2.0	Normal
2.0 – 4.0	Alta
4.0 – 5.0	Muy alta
5.0 – 7.0	Extremadamente alta
> 7.0	Tóxica

FUENTE: Kämpf (2000), citado por Kämpf et al.(2000).

Cuadro N° 2.11: *Salinidad de algunos componentes de sustratos.*

Componentes	Salinidad total (grs./ l)	Componentes	Salinidad total (grs./ l)
Turba	0.35 – 0.45	Cama de ave	10.0 – 12.0
Cáscara de arroz carbonizada	0.2 – 0.3	Compost de residuos urbanos	5.0
Arena de río lavada	0.09 – 0.15		

FUENTE: Kämpf (2000), citado por Kämpf et al.(2000).

Abad et al.(1997), citados por Lallana et al.(2000), mencionaron como rango satisfactorio de salinidad para la mayoría de las plantas, valores entre 2 –3.5 dS.m⁻¹, mientras que el nivel óptimo de salinidad para la germinación de semillas y crecimiento de plantines, se ubicó en el rango de valores de 0.75 – 1.99 dS.m⁻¹.

2.4.2.5 - Disponibilidad de nutrientes

En un momento dado, los nutrientes disponibles para la planta serán aquellos que se encuentran disueltos en la solución del suelo, mas los retenidos por el complejo de cambio. Los nutrientes disueltos serán asimilables inmediatamente mientras que los retenidos en el complejo de cambio lo serán a mas largo plazo, a medida que van pasando a la solución para compensar la disminución de concentración por absorción de la planta. Los sustratos orgánicos difieren marcadamente entre si en el contenido de nutrientes asimilables. Así, algunos (turba rubia, mantillo de bosque, etc.) poseen un nivel reducido de nutrientes asimilables, mientras que otros (compost, por ej.) presentan niveles elevados, dependiendo dicho nivel del origen del compost y del proceso de compostaje. En cualquier caso, y para un crecimiento óptimo de las plantas, deberían añadirse siempre nutrientes adicionales como fertilizantes de base y/o como fertilizantes durante el ciclo del cultivo (Ansorena Miner, 1994)

Los métodos de análisis de los nutrientes asimilables consisten fundamentalmente en equilibrar (suspensión o extracto de natural) una muestra del sustrato con una determinada solución extractante (por ej: agua, acetato amonico, DTPA,etc.) durante

un tiempo normalizado. Una vez alcanzado el equilibrio, se determinan los nutrientes disueltos o extraídos por dicha disolución. Los métodos analíticos más extendidos presentan una correlación elevada con la respuesta vegetal, en determinadas condiciones del sustrato (Abad, 1995).

La cuantía y la frecuencia de la fertilización dependen de la CIC del sustrato y del régimen de riego. Las condiciones particulares del cultivo en contenedor hacen que se produzca una renovación frecuente del potencial nutritivo, por lo que el arte de la fertilización consistirá en dar con la cantidad y el tipo de abono, que permitan mantener el sistema radicular en una solución nutritiva de concentración equilibrada. Para lograrlo habrá que conocer:

- las propiedades fisicoquímicas del sustrato, y especialmente la CIC del mismo
- las necesidades específicas en elementos minerales de la especie cultivada, a lo largo de las diferentes etapas de su ciclo vegetativo
- las características de las diferentes formas de abono disponibles y su comportamiento en las condiciones particulares de empleo (Abad, 1995)

2.4.2.6- Relación C/N

La relación C/N se usa tradicionalmente como un índice del origen de la materia orgánica, de su madurez y de su estabilidad (Abad, 1995).

Algunos materiales como la corteza de pino y la mayoría de subproductos y residuos orgánicos, han de sufrir la descomposición microbiana antes de su empleo como sustratos, según el proceso que se conoce como compostaje. Si este no es adecuado, se producirán fenómenos fitotóxicos y de inmovilización del nitrógeno. La fitotoxicidad es debida a la presencia de sustancias que son tóxicas para las plantas, algunas de las cuales son originarias del material (resinas y taninos) y otras se producen en el compostaje. Entre las más importantes cabe destacar la toxicidad debida a Manganeso y compuestos fenólicos en cortezas de pino (Ansorena Miner, 1994).

Los tejidos de los microorganismos que se alimentan de la materia orgánica que descomponen, tienen una relación C/N del orden de 10 – 12. Por tanto, si descomponen y se alimentan de materiales con una relación C/N superior, se necesitará para su crecimiento una parte extra de nitrógeno, que tomarán del nitrógeno soluble presente en el medio de cultivo, compitiendo con las plantas. Por lo tanto, cuando se preparan sustratos orgánicos a partir de sustancias naturales, es necesario tener en cuenta los valores de la relación C/N: cuanto más baja sea, más mineralizado estará el material. (Ansorena Miner, 1994).

2.4.3 - Características biológicas

Todos los materiales orgánicos que no son de síntesis son inestables termodinámicamente y por lo tanto, susceptibles de degradación mediante reacciones químicas de hidrólisis o bien, por la acción de microorganismos, o descomposición biológica. La materia orgánica fresca es susceptible de descomposición dando como productos finales elementos minerales y ácidos húmicos y fúlvicos. Por ello es importante conocer el contenido en materia orgánica y su estado de descomposición (Burés, 1999a).

A efectos prácticos, la degradación de la materia orgánica se manifiesta en el sustrato orgánico mediante la aparición de deficiencias de nitrógeno, liberación de elementos y sustancias que pueden ser beneficiosas o fitotóxicas, cambios en el balance de la relación O_2/CO_2 , reducciones del volumen del sustrato, etc. Además, la materia orgánica puede albergar microorganismos patógenos, puede contener agentes supresivos de patógenos o de poblaciones fúngicas simbióticas de los vegetales y puede poseer actividad enzimática y reguladora del crecimiento. La presencia de materia orgánica en un sustrato actúa como un reservorio dosificador de nutrientes, no solo, en cuanto a su capacidad de intercambio catiónico elevada, sino también por la capacidad de transformar cationes metálicos en complejos metálicos solubles disponibles para las plantas y actuar como sumidero de metales pesados, reduciendo los riesgos de fitotoxicidad causada por los mismos (Burés, 1999a).

Muchos de los efectos biológicos de los sustratos orgánicos son directamente atribuibles a los ácidos húmicos y fúlvicos, que son los productos finales de la degradación biológica de la lignina y la hemicelulosa. Una gran variedad de funciones vegetales, tanto a nivel de célula como de órgano, son afectadas positivamente por los ácidos húmicos y fúlvicos "per se". Las sustancias húmicas actúan, asimismo, como transportadores de los micronutrientes para las plantas (Abad, 1995).

Chen et al. (1988), encontraron que las sustancias húmicas mejoran la imbibición y germinación de las semillas de trigo, maíz, etc.. Estos autores reportaron que existió una mejoría en la iniciación y crecimiento radicular. Observaron también incrementos en la absorción de nutrientes, altura del tallo y número de flores en plantas de melón como resultado de la presencia de ácido fúlvico a concentración de 300 mg/l en la solución nutritiva.

Siminis et al. (1997), también encontraron que la aplicación de las sustancias húmicas provenientes del compost de hojas de árboles de olivo, estimularon la acumulación de nutrientes y el rendimiento en tomate durante el ciclo de cultivo. Esta estimulación fue dependiente de la dosis de sustancias húmicas utilizadas.

2.5- PREPARACION Y SELECCION DE SUSTRATOS

2.5.1- Corrección de las características de los sustratos

En la preparación de sustratos se deberán tener en cuenta una serie de factores: la estabilidad de los materiales, la corrección de las propiedades físicas y químicas, la desinfección y, por supuesto, la adecuación de las mezclas de modo que las características finales sean óptimas. Algunas de las correcciones que pueden realizarse para mejorar la calidad final de los sustratos son:

- estabilización de la materia orgánica
- mezcla de materiales
- corrección de las propiedades físicas y químicas (Burés, 1999b.)

2.5.1.1 - Estabilización de la materia orgánica

La estabilización de la materia orgánica se consigue generalmente mediante el compostaje. El compostaje es un proceso de fermentación bajo condiciones controladas que tiene por finalidad transformar la materia orgánica en compuestos estables desde el punto de vista químico y obtener una configuración física del sustrato no variable a mediano plazo. El producto final del compostaje se denomina compost o material compostado.

El compostaje, que se lleva a cabo en la preparación de sustratos, tiene por objeto, satisfacer, algunas de las siguientes características: eliminar compuestos fitotóxicos, evitar deficiencias de nitrógeno, evitar falta de oxígeno, eliminar malos olores, favorecer la supresividad y/o eliminar patógenos, insectos y semillas de malas hierbas. La consecución en mayor o en menor grado de estas características determina el tiempo y tipo de compostaje a efectuar (Burés, 1999b).

Según Lemaire et al.(1998), el conocimiento de la bioestabilidad de los materiales orgánicos, permite predecir su utilidad como sustratos de plantas. Marfà et al.(1999) señala, que la variación de bioestabilidad supone alteraciones de las propiedades físicas, químicas y biológicas antes, durante y después de la utilización del sustrato en cuestión. Las alteraciones de naturaleza física afectan normalmente la capacidad de aireación, la cual suele disminuir, y la disponibilidad de agua la cual suele aumentar. Las de naturaleza química y bioquímica afectan frecuentemente el pH, el contenido de sales solubles y la CIC, los cuales suelen aumentar. Según Lemaire et al.(1998) el índice de bioestabilidad puede ser calculado a través de diferentes métodos, tales como; relación C/N, respiración bioquímica del carbono, etc..

2.5.1.2- Mezcla de materiales

Raramente se utilizan como sustratos para plantas en contenedor materiales únicos, puesto que resulta difícil que estos materiales satisfagan las necesidades del cultivo en cuanto a aireación, retención de agua, fertilidad, etc.. Las mezclas permiten complementar características y así mejorar la eficiencia y economía del proceso, “diluir” los posibles efectos contaminantes de un residuo y así mejorar la calidad del producto final (Soliva, 1999).

Tradicionalmente, los sustratos se obtienen por el método de “ensayo y error”. Es decir, se parte de una serie de materiales conocidos, se mezclan en distintas proporciones, y se analizan los sustratos resultantes, seleccionando aquellos que tienen las características más adecuadas. Actualmente se utilizan técnicas como la programación lineal, para la optimización de mezclas de sustratos (Burés, 1999b).

2.5.1.3 - Corrección de las propiedades físicas y químicas

Entre las propiedades que se suele tener que corregir en la preparación de sustratos están:

- a) *Mejora de la retención de agua y capacidad de hidratación.* Uno de los problemas que se presentan en la preparación y manejo de sustratos es aumentar la capacidad de retención de agua de los mismos o mejorar su hidratación. Para ello pueden utilizarse diferentes tipos de productos, entre ellos, los polímeros de carácter hidrofílico, como los geles o la urea-formaldehído, que retienen agua entre sus redes moleculares, y los agentes tensioactivos, que aumentan la capacidad de hidratación del sustrato al bajar la tensión superficial del agua.
- b) *Corrección del pH.* Dentro de los materiales que forman los sustratos encontramos amplios márgenes de pH. Cuando el pH no es adecuado para el cultivo es necesaria su corrección. La corrección se suele realizar mediante la adición de enmiendas encalantes para elevar el pH de los sustratos ácidos o de enmiendas de azufre para bajar el pH de los sustratos básicos.
- c) *Corrección de la salinidad.* Cuando el sustrato tiene un contenido excesivo de sales pueden presentarse problemas en el cultivo, bien debido a la toxicidad de algunos elementos químicos que se hallan en cantidades excesivas, o bien a causa del aumento del potencial osmótico del agua que provoca una mayor dificultad para la planta de obtener agua, debiéndose realizar una corrección de la salinidad mediante dilución o lavado.
- d) *Corrección de la nutrición.* Normalmente para conseguir un crecimiento vegetal óptimo, será necesario añadir nutrientes adicionales como fertilizantes de base. La cantidad de nutrientes a añadir dependerá de la fertilidad del sustrato, de su CIC, del grado de descomposición de la materia orgánica, de la especie a cultivar y de las condiciones ambientales del cultivo (Burés, 1999b).

2.5.2 - Problemática que lleva a la selección de sustratos específicos.

En el momento de seleccionar materiales para uso como ingredientes de sustrato, se debe tener en mente el objetivo que se busca, el tipo de planta a cultivar y la fase de su desarrollo, lo que está directamente relacionado con el tamaño y tipo de recipiente a ser usado. Finalmente, antes de usar cada nuevo componente, o nuevo producto, se deben conocer sus propiedades físicas y químicas, así como su comportamiento biológico a través de ensayos o test (Kämpf, 2000, citado por Kämpf et al., 2000).

La elección y uso de un material particular viene determinada usualmente por :

- 1) Su suministro y homogeneidad
- 2) Su costo
- 3) Sus propiedades
- 4) La experiencia local en su utilización.

Los criterios particulares del vivero con respecto a las características de los sustratos y que definirán el “sustrato ideal particular” a utilizar se citan a continuación:

a) **Duración del cultivo.** Las propiedades a tener en cuenta son:

- Degradación física de los materiales
- Degradación de la materia orgánica (humificación y mineralización)
- Compactación.

Estos tres aspectos son primordiales, puesto que marcarán una clara diferencia entre los sustratos para plantas de ciclo corto y plantas de ciclo largo. Así, una planta de ciclo largo que deba pasar más de un año en un contenedor necesitara un sustrato que no se degrade química o físicamente en el tiempo, con el fin de mantener unas características estables (Burés, 1999b).

b) **Cultivo protegido o exterior.** Las principales características son:

- Capacidad de retención de agua: la evapotranspiración es muy distinta en el cultivo al exterior y bajo invernadero. Por ello, se debe ajustar la capacidad de retención de agua de modo que esta sea mayor cuando la evapotranspiración sea mayor.
- Densidad: por ejemplo, los cultivos de exterior que están sometidos a la acción del viento deberán utilizar sustratos más pesados que eviten que los contenedores se vuelquen. En los cultivos protegidos este aspecto no tiene importancia y prima el aspecto de reducir el peso del contenedor para facilitar el manejo y el transplante (Abad, 1995).

- c) **Tipo de abono y sistema de abonado.** Las propiedades determinantes son:
- Salinidad y contenido de nutrientes: el contenido inicial de sales en el sustrato será limitante en cuanto al abonado de fondo y cobertura a aplicar y viceversa.
 - CIC: cuando la fertilización se realiza en forma espaciada es necesario utilizar un sustrato con elevada CIC que mantenga una reserva suficiente de nutrientes.
- d) **Calidad del agua de riego y tipo de riego.** Las propiedades a tener en cuenta son:
- Salinidad: si el agua de riego tiene un alto contenido en sales, es preferible no utilizar sustrato de conductividad eléctrica elevada. Si las aguas que se utilizan para el riego son salinas, el sustrato deberá mantenerse a tensiones bajas de columna de agua para facilitar la absorción de agua por las raíces, por lo que interesaran sustratos con una elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, así como elevada aireación.
 - Capacidad de retención de agua: cuando el riego se realiza en forma espaciada en el tiempo será necesario que el sustrato tenga una elevada capacidad de retención de agua.
 - Capacidad de aireación: si el riego es muy frecuente, será necesario que el sustrato tenga una capacidad de aireación elevada con el fin de disponer de suficiente oxígeno para las raíces, por mantenerse de un modo continuo el sustrato a capacidad de contenedor.
 - Conductividad hidráulica: Cuando se riega con riegos abundantes es necesario tener en cuenta que el sustrato debe ser capaz de absorber el agua aplicada en el riego en poco tiempo y que por lo tanto deberá tener una permeabilidad elevada.
- e) **Contenedor** (volumen y altura).
- Curva de liberación de agua: La capacidad de contenedor depende de la altura del contenedor y el contenido total de agua depende del volumen de sustrato; por lo tanto, se deberá utilizar un sustrato que tenga una curva de liberación de agua tal, que permita que a capacidad de contenedor exista suficiente agua disponible para las plantas (Ansorena Miner, 1994).
- f) **Especie vegetal.** Algunas de las características a tener en cuenta son:
- pH: todas las plantas se desarrollan mejor en unos márgenes de pH determinados, por lo que el pH del sustrato se ajustará a las necesidades de las plantas.
 - Conductividad eléctrica (o presión osmótica): las plantas toleran mayor o menor presión osmótica en función de su sensibilidad de especie o cultivar.
 - Contenido de agua y nutrientes: a mayor tamaño de planta, mayores serán las necesidades de agua y nutrientes.

- Capacidad de aireación: cuando se cultivan plantas sensibles a la asfixia, el sustrato deberá tener una mayor capacidad de aireación (Burés, 1999b).

2.6 - MATERIALES QUE SE UTILIZAN COMO SUSTRATOS

El número de materiales que pueden ser utilizados como sustratos es muy amplio. Muchos residuos o subproductos derivados de explotaciones agrícolas o industriales están actualmente sustituyendo a los materiales más tradicionales. La mayor parte de los materiales procedentes de residuos requieren un proceso de adecuación que permita obtener características estables (Bures, 1999b).

Los materiales se han clasificado tradicionalmente de modo muy diverso. Una de las clasificaciones más frecuentes es en orgánicos e inorgánicos.

a) *Materiales orgánicos:* existen los materiales orgánicos de origen natural y los de síntesis. Los materiales orgánicos de origen natural están sujetos a descomposición biológica y en general, pueden ser utilizados como sustratos después de sufrir una serie de procesos biológicos de transformación artificial, por ejemplo, mediante el compostaje, o bien natural, como el caso de las turbas. Los materiales orgánicos de síntesis son polímeros orgánicos no biodegradables que suelen obtenerse mediante procesos químicos, como el poliestireno o las espumas de poliuretano, que por sus características muchas veces se clasifican erróneamente como inorgánicos.

b) *Materiales inorgánicos:* son los materiales no orgánicos no sujetos a descomposición biológica. Se obtienen a partir de rocas o minerales de distintos orígenes (ígneo, metamórfico o sedimentario) e incluyen a los suelos naturales. Estos materiales pueden modificarse ligeramente, sin alterar la estructura interna del material, mediante tamizado o fragmentación o bien pueden transformarse mediante procesos físicos (generalmente térmicos) o químicos que transforman las propiedades intrínsecas del material original (Bures, 1999b).

2.6.1- Ejemplos de materiales orgánicos.

- Cáscara de arroz carbonizada

Después de los procesos de carbonización la cáscara de arroz tiene un pH cercano a la neutralidad (7.5 en agua), con baja densidad aparente (alrededor de 220 g/l), mayor a un 50% de materia seca, alta porosidad total, con una relación aire/agua cercana a 3:1 a capacidad de contenedor y un bajo volumen de agua dentro de los microporos (9% de agua a 100 cm de tensión de agua).

Más del 77% de las partículas de cáscara de arroz carbonizada están en un tamaño entre 0.5 y 2.0 mm, lo que puede ser útil para modificar el drenaje de un sustrato. La alta permeabilidad de agua de este material fue también señalado por Namioka (1977), citado por Kampf et al.(1991). La información presentada por los

investigadores indica que la cáscara de arroz carbonizada es una buena enmienda para mejorar la capacidad de aire de los sustratos hortícolas tales como turbas o suelos minerales (Kampf et al., 1991).

Propiedades de la cáscara de arroz carbonizada:

pH (H ₂ O).....	6.6 - 7.7
Salinidad (TTSS).....	0.3 - 0.7 g/l (como KCl)
CTC.....	25 – 55 meq/l
Densidad.....	200 g/l
Materia seca.....	50 %
Porosidad total.....	70 %
Espacio de aire.....	40 – 50 %
Agua disponible.....	20 %
Agua de reserva.....	10 %

Otras características:

- estabilidad estructural
- ausencia de propágulos de hierbas malas
- después de la carbonización, ausencia de patógenos típicos de suelo (Kampf, 1995).

Analizando algunas propiedades físicas y químicas se encontró que la adición de cáscara de arroz carbonizada en:

- *suelo mineral*: bajó la densidad, aumentó el espacio de aireación y elevó el valor del pH.
- *turba* : mejoró el drenaje, redujo en forma importante el valor de retención de agua y elevó el valor del pH.
- *compost de residuos urbanos*: disminuyó el tenor total de sales solubles, bajó la densidad y mejoró el drenaje (Kampf, 1995).

- Turba

Está formada por restos de vegetación acuática de pantanos, que han sido conservados debajo del agua en estado de descomposición parcial. La falta de oxígeno en el pantano hace más lenta la descomposición bacteriana y química del material vegetal. La turba de musgo es el menos descompuesto de los tipos de turba y se deriva de musgos de Sphagnum, Hypnum y otros. Tiene una alta capacidad para retener humedad (15 veces su peso seco), una acidez elevada (pH 3.2 a 4.5) y contiene una pequeña cantidad de nitrógeno (alrededor del 1%), pero poco o nada de fósforo y potasio (Hartman et al., 1988).

Según Röber (2000), citado por Kämpf et al.(2000), el tenor de magnesio muchas veces puede ser alto, lo cual se debe tener en cuenta en el cálculo para la fertilización.

En la preparación de sustratos se prefiere usar turbas menos descompuestas, ya que éstas son más estables en la estructura y, por otro lado de alta capacidad de retención de agua y alta fracción de macroporos para drenaje. Con incrementos en el grado de descomposición de la turba, se elevan los valores de densidad. Tales características no son muy deseables, a pesar de estar relacionadas a aumentos de la CIC y a la capacidad de tamponamiento.

Las propiedades físicas de la turba están influenciadas por la composición botánica, grado de descomposición, tenor en agua, y métodos de recolección y secado de la turba. Las turbas oligotróficas presentan alta relación C/N, aunque no tiene efecto restrictivo, pues este tipo de turbas se degradan muy lentamente (Röber, 2000, citado por Kämpf et al., 2000).

Las características de las turbas se definieron de acuerdo con la normas DIN 11540 (Anónimo, 1989, citado por Röber, 2000), las cuales se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2.12: Valores referencias de turbas de *Sphagnum*.

Propiedades	Unidad	Turbas de <i>Sphagnum</i> y de transición, sin materiales adicionales.		
		Poco descompuestas	Medianamente descompuestas	Muy descompuestas
Densidad seca	grs./l	40 - 80	70 - 150	120 - 250
Porosidad	% vol.	95 - 98	91 - 96	85 - 93
Cap. de retención de agua	% vol.	40 - 82	40 - 85	60 - 87
Porosidad de aire	% vol.	16 - 58	11 - 56	6 - 33
M.O (M.S.)	%	94 - 99	*(>90) 94 - 99	*(> 85) 94 - 99
Cenizas	%	1 - 6	1 - 6 (hasta 10)*	1-6 (hasta 15)*
pH (H ₂ O).		3 - 4	3 - 4 (hasta 5)*	3 - 4 (hasta 6)*
Sales disueltas totales	grs/l	< 0.370	< 0.370	< 0.370

FUENTE: Anónimo(1989), citado por Röber (2000).

* valores entre paréntesis se refieren a turbas de transición.

En el uso de turbas, especialmente las oligotróficas o de *Sphagnum*, es importante evitar la desecación de la capa superficial, puesto que si sucede se presenta un fenómeno de hidrorrepulsión casi irreversible. Se estima que es difícil la rehidratación cuando el contenido en agua es inferior al 30%, peso neto, no conviniendo que disminuya del 40 – 50% (Ballester, 1992).

- Compost

Los materiales orgánicos presentan la característica de ser biodegradables y, consecuentemente, sus residuos pueden ser reciclados, mediante el compostaje y/o la incorporación en los suelos, como enmienda orgánica. De este modo, durante estos últimos años se están poniendo en práctica, sistemas de cultivo sin suelo, de hortalizas como el tomate, que utilizan diversos materiales orgánicos residuales, frescos o compostados, en forma pura o en mezcla, tales como: paja de cereales, estiércoles, cortezas de árboles, aserrín, etc.. Cuando están frescos, algunos materiales pueden contener componentes tóxicos para las plantas como fenoles, resinas, terpenos y taninos; de tal manera que necesitan ser compostados, de 8 – 10 semanas antes de usarlos (Abad, 1995).

2.6.2- Ejemplos de materiales inorgánicos.

- Arena

Es un material de naturaleza silíceo ($\text{SiO}_2 > 50\%$) y de composición variable, que depende de los constituyentes del material de la roca silicatada original. Las arenas incluyen típicamente la fracción granulométrica comprendida entre 0.02 y 2 mm. Desde el punto de vista hortícola, se prefieren aquellas con tamaño de partícula medio a grueso (0.6 a 2 mm).

La densidad aparente de las arenas es superior a 1.5 grs/cm^3 , siendo el espacio poroso total inferior al 50% del volumen. Las arenas finas con tamaño inferior a 0.5 mm presentan una buena capacidad de retención de agua, pero baja capacidad de aire, especialmente cuando la altura del contenedor es pequeña. Las arenas gruesas retienen menos agua fácilmente disponible y están mejor aireadas. Su pH puede variar entre 4 y 8. Su capacidad de intercambio catiónico es muy baja o nula (inferior a 0.5 meq/100grs.) (Abad, 1995).

- Vermiculita

Es un mineral micáceo que se expande mucho al calentarlo. Químicamente es un silicato hidratado de Mg, Fe, Al. Una vez expandida la vermiculita, es muy liviana, de reacción neutra, con buenas propiedades de amortiguamiento químico, e insoluble en agua. Puede absorber grandes cantidades de agua. La vermiculita tiene una capacidad relativamente alta de intercambio catiónico y así puede mantener nutrientes en reserva. El tamaño de partícula que se utiliza en sustratos hortícolas es de 2 – 3 mm (Hartman et al., 1988).

- Perlita

Es un mineral silíceo. El diámetro de partícula utilizado para uso hortícola es de 1.6 a 3.0 mm. La perlita absorbe de tres a cuatro veces su peso en agua. El pH de este material oscila entre 6 y 8. A diferencia con la vermiculita, no tiene capacidad de intercambio catiónico y no contiene nutrientes minerales. Es muy útil para aumentar la aireación de las mezclas (Hartman et al., 1988).

2.7- APLICACION DEL COMPOSTAJE A LA OBTENCION DE PRODUCTOS ALTERNATIVOS A LOS SUSTRATOS TRADICIONALES.

El compostaje es una técnica de estabilización de materiales orgánicos que tiene interés en el aprovechamiento de residuos y subproductos de distintas actividades como sustratos y hoy por hoy presenta un interés especial por diferentes razones:

- fuerte demanda de sustratos
- problemática derivada de la importación de materiales como la turba
- necesidad de proteger ciertos recursos
- elevada producción de residuos y subproductos (Soliva, 1999).

En este marco los objetivos del compostaje pueden ser:

- obtención de abono orgánico (compost) que permita el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, la producción de cultivos de calidad y la conservación del entorno.
- facilitar la gestión de los residuos orgánicos procedentes de distintas actividades, reduciendo su peso y volumen, a la vez que los estabiliza y genera un producto útil.
- producir sustratos alternativos a los sustratos no renovables como la turba, utilizados en horticultura y jardinería (Soliva, 1999).

Raviv (1998), también planteó algunos efectos puntuales de la aplicación de compost, al sistema suelo- planta. Los efectos que el autor presenta son:

- 1- Mejora de la textura del suelo, a través del efecto de agregación sobre las partículas de arcilla
- 2- Aporte considerable de nutrientes, que pueden suplementar la nutrición de la planta
- 3- Supresión de patógenos de plantas, principalmente a través del incremento de la actividad de los microorganismos antagónicos
- 4- Inducir a las raíces de las plantas a la producción de hormonas, y así promover su crecimiento

Aunque los materiales alternativos se pueden clasificar en orgánicos e inorgánicos, los que tienen relación directa con el compostaje son los primeros. Los residuos orgánicos difícilmente se pueden aplicar directamente como sustratos. En la mayoría de los casos necesitan ser tratados para estabilizar su materia orgánica, higienizarlos y/o eliminar problemas de fitotoxicidad. Uno de los tratamientos que siempre se ha aplicado para estabilizar la materia orgánica es el compostaje (Soliva, 1999).

Pinamonti et al.(1997), evaluaron un compost derivado de corteza de álamo y lodos de depuración de aguas residuales, como posible sustituto de turba, para la

preparación de medios de crecimiento, en cultivos sin suelo. En este trabajo, los investigadores evaluaron la respuesta vegetal de cuatro especies, melón (*Cucumis sativus*), tomate (*Lycopersicon esculentum*), frutilla (*Fragaria Vesca*) y gerbera (*Gerbera Jamesonii*), en cuatro medios de crecimiento diferentes. Los medios de crecimiento que utilizaron fueron:

- lana de roca
- turba blanca
- 40% turba: 35% cascara de arroz: 25% compost
- 50% turba : 50% compost.

Se observó, que los medios de crecimiento constituidos con alguna proporción de compost, ofrecieron claras ventajas para todas las especies evaluadas, entre las cuales se destacan: mejor nutrición de la planta, mejor crecimiento vegetativo e incrementos en las características cualitativas y cuantitativas de producción. El uso de compost no solo mejoró los niveles de producción obtenidos en relación a la turba, sino que también eliminó la necesidad de ajuste de pH, con carbonato de calcio (Pinamonti et al., 1997).

Los resultados de Pinamonti et al.(1997) son coincidentes con los de Abou Hadid et al.(1998), en los beneficios del uso de compost como componente de medios de cultivo de plantines de melón. El objetivo del trabajo de éstos investigadores fue evaluar el efecto de la adición de compost sobre las propiedades de un sustrato mezcla. Los sustratos evaluados fueron:

- turba : vermiculita (1:1 v/v) = T:V
- turba : vermiculita : CaCO₃ (1:1:1 v/v) = T:V:CaCO₃
- turba : compost de restos de cultivo (1:1 v/v) = T:C

El efecto de la adición de compost en el sustrato mezcla se estimó a través del análisis de crecimiento de plantines de melón. Los resultados del cuadro 2.11 muestran que las plantas que crecieron en los medios que contenían compost alcanzaron mayor altura, mayor peso seco y fresco total y, mayor contenido de nutrientes en el tejido foliar que aquellos plantines que crecieron sin compost.

Cuadro N° 2.13: Efecto de diferentes sustratos mezcla sobre altura, peso fresco y seco total y concentración de macronutrientes en plantines de melón.

Sustrato mezcla	Altura (cm)			PFT (grs)	PST (grs)	Relación PF/PS	Concentración (%)		
	12	16	19				N	P	K
T : V	11.2	14.1	25.8	6.13	0.33	18.41	3.05	0.88	2.92
T:V:CaCO ₃	9.2	13.9	25	5.27	0.27	19.52	2.24	0.69	3.31
T : V : C	15.1	17.3	29	6.27	0.34	18.72	3.87	0.96	5.21

FUENTE: Abou Hadid et al. (1998)

Los efectos de la adición de compost como ingrediente de medios de crecimiento basados en turba, pueden ser similares a los efectos que se producen con la adición de materiales como vermiculita o perlita, según Verdonk (1998). Tales efectos, sobre las propiedades físicas resultantes en la formulación mezcla, se observan en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2.14: Influencia de la adición de compost sobre las propiedades físicas en sustratos basados en turba.

Sustratos	D.ap.(grs./cm ³)	Porosidad total (%)	Vol. Aire (%)	Agua disponible vol (%)
Turba	0.185	90.2	7	26
Turba + 10% compost	0.225	88.5	16	24
Turba + 20% compost	0.260	84.2	22	20

FUENTE: Verdonk (1998).

Los resultados del cuadro anterior, muestran que la adición de compost, como componente de medio de cultivo mejora las propiedades físicas, especialmente el contenido en aire. El mayor valor de contenido en aire se alcanzó cuando la mezcla se formuló, con un 20 % de compost (Verdonk, 1998).

2.7.1-Fases del proceso de compostaje

El proceso de compostaje se desarrolla en dos fases, la de descomposición y la de maduración.

La fase de descomposición depende totalmente del tipo de material a tratar y de las características del sistema a aplicar. Puede dividirse en tres etapas: una inicial mesofílica durante la cual diversos grupos de microorganismos inician la descomposición de los compuestos fácilmente degradables, provocando un incremento de la temperatura y en la que el pH desciende debido a la formación de ácidos orgánicos. La etapa inicial termofílica es aquella en la que van apareciendo los microorganismos termofílicos y en la que la temperatura supera los 40° C. Si se alcanza los 60° C los hongos se inactivan y la descomposición es llevada a cabo por actinomicetos y bacterias formadoras de esporas. Las sustancias fácilmente degradables como azúcares, grasas, almidón y proteínas, son rápidamente consumidas y la mayoría de los patógenos son destruidos; el pH se va acidificando al liberar amoníaco las proteínas; a su vez la celulosa y las ligninas son parcialmente alteradas. La tasa de degradación decrece al ir quedando los materiales más resistentes. En la tercer etapa, la temperatura empieza a disminuir, hongos no termofílicos invaden el material a compostar y la celulosa y hemicelulosa siguen sufriendo cierta

transformación. Estas tres etapas duran de unas pocas semanas a varios meses dependiendo del material a compostar y de las condiciones de trabajo. La fase de descomposición es la más exigente del proceso y el no realizarlo en forma adecuada condiciona la continuación del proceso, la aparición de problemas de lixiviados y malos olores, además de influir en la calidad del producto final (Soliva, 1999).

La fase de maduración depende del tipo de material que se ha tratado, pero su duración y las condiciones en que se debe llevar a cabo dependerán mucho del destino final del producto y como se han desarrollado las etapas anteriores. Requiere de pocas semanas a varios meses; en ella se genera mucho menos calor y el pH se mantiene ligeramente alcalino. En esta fase los microorganismos mesófilos, al igual que diversos tipos de microfauna colonizan el compost medio maduro. Se genera una intensa competición por los alimentos, formación de antibióticos y aparición de antagonismos; obteniéndose al final un producto, mas o menos estable, según la duración de la última fase (Soliva, 1999).

Dalzell et al.(1991), presentaron una lista de los principales organismos implicados en la producción de compost, la cual se observa en el cuadro siguiente

Cuadro N° 2.15: *Organismos implicados en la producción de compost.*

Tipo de organismos		N° por gramo de compost húmedo
Microflora (plantas muy pequeñas)	Bacterias	$10^8 - 10^9$
	Actinomicetos	$10^5 - 10^8$
	Hongos, mohos y levaduras	$10^4 - 10^6$
Microfauna (animales muy pequeños)	Protozoos	$10^4 - 10^5$
Macroflora(plantas más grandes)	Hongos(champiñones y setas)	.....
Macrofauna (pequeños animales del suelo).	Acaros	.....
	Hormigas y termitas	.....
	Miriópodos y ciempiés	.....
	Arañas y escarabajos	.....
	Gusanos	.....

FUENTE: Dalzell et al. (1991).

2.7.2- Factores condicionantes del proceso de compostaje

El compostaje es un sistema productivo como cualquier otro, en el que se deben controlar los materiales de entrada, la evolución del proceso y las características del producto final. De hecho las condicionantes del mismo proceso se refieren a aquellos que afectan a “los actores principales” (microorganismos: bacterias, hongos y actinomicetos) a los que, se les tiene que facilitar las condiciones óptimas de trabajo.

Poincelot (1975) citado por Willson et al.(1983), Dalzell et al.(1991) y Soliva (1999), discutieron los principales parámetros, para el proceso de compostaje. Los parámetros discutidos fueron:

- Humedad.

El agua es esencial para favorecer la migración y colonización microbiana apropiada, para cada fase del proceso, así como para la difusión de los residuos metabólicos. Los contenidos aconsejables para poder alcanzar y mantener un buen equilibrio con el contenido en aire varían según los materiales a tratar y sus características físicas (Soliva, 1999). El contenido óptimo de humedad de la biomasa para un rápido compostaje, va desde 40 a 60%. Por debajo de 40% la descomposición será aeróbica pero lenta. Por encima del 60% habrá poco espacio aireado para mantener una descomposición aeróbica y por lo tanto prevalecerán las condiciones anaeróbicas (Willson et al., 1983).

- Aireación.

Al ser aeróbico el tipo de metabolismo dominante, el aporte de oxígeno tiene una gran importancia. Debido a que la actividad microbiana consume oxígeno, este debe reponerse. Volteando el material se consigue en parte; pero, para asegurar una buena aireación, es necesario forzar la entrada de aire en la matriz o asegurar unas adecuadas características físicas de las mismas. Aunque se consiga una mezcla inicial autoaireante o se disponga de un sistema de aireación forzado, el volteo no debe eliminarse ya que tiene otros efectos beneficiosos como reducir el tamaño de las partículas, homogeneizar el material y redistribuir los microorganismos, la humedad y los nutrientes, a la vez que expone nuevas superficies al ataque microbiano. La aireación, a su vez, esta muy relacionada con la temperatura: produce enfriamiento del material por favorecer la renovación del aire y la evaporación; incrementa la actividad de los microorganismos y por tanto el desprendimiento de energía, pero también puede provocar una excesiva pérdida de humedad y frenar el proceso provocando una disminución de la temperatura (Soliva, 1999).

- Temperatura.

Los residuos orgánicos, prácticamente en todos los casos, están colonizados por diversos microorganismos indígenas que al disponer de las condiciones adecuadas se reproducen, favorecen la aparición de una sucesiva diversidad microbiana (mesófila y termófila) con multiplicidad de funciones y actividades energéticas. El incremento de la actividad biológica, genera calor que, al considerarse los residuos una masa autoaislante, es retenido provocando un incremento de temperatura (Dalzell et al., 1991). La fase termogénica ha de optimizarse para maximizar la higienización que ha de alcanzar tres objetivos: prevenir el crecimiento y diseminación de patógenos durante el compostaje, destruir los inicialmente presentes y producir un producto final no recolonizable por patógenos (Soliva, 1999).

Óptimas temperaturas para el compostaje se dan en el rango de 60 a 70°C, según Willson et al.(1983), mientras que Dalzell et al.(1991), recomienda temperaturas ubicadas, entre 55 °C y 60 °C, mantenidas por al menos 3 días, para matar prácticamente todas las malas hierbas y organismos causantes de enfermedades.

- pH.

La variación del pH a lo largo del proceso debe seguirse, ya que informa del tipo de cambios que tienen lugar. Al inicio, aunque las condiciones sean aeróbicas, disminuye debido a la formación de ácidos grasos de cadena corta por descomposición de los hidratos de carbono; este descenso de pH se manifiesta en un espacio de tiempo muy corto, ya que, si las condiciones de aireación son las correctas, estos ácidos han de ser rápidamente transformados en CO₂ y agua e iniciarse la elevación del pH debido al amoníaco desprendido en la descomposición de las proteínas. Si las condiciones de aireación no son las correctas se acumularán los ácidos grasos volátiles que generarán malos olores, aunque el pH puede no verse disminuido claramente, debido a la presencia a la vez de ácidos y bases (amoníaco) (Soliva, 1999).

El pH óptimo para un compostaje aeróbico/ termófilo rápido se encuentra entre 6 y 7.5 (Willson et al., 1991).

- Tamaño de partícula.

El picado de ciertos materiales orgánicos puede acelerar la tasa de descomposición durante el compostaje ya que incrementa la superficie de contacto para el ataque microbiano. El picado excesivo, sin embargo, puede llevar a la compactación y a condiciones de anaerobiosis. Si el tamaño de partícula es muy grande, el área superficial para el ataque se reduce mucho; la reacción entonces puede

proceder más lentamente o puede detenerse totalmente según Willson et al.(1983) y Dalzell et al.(1991).

- Relación C/N y contenido de nutrientes.

El equilibrio de nutrientes y biopolímeros en la mezcla inicial debe cuidarse para ajustar la nutrición de los microorganismos y dar las condiciones físicas y fisicoquímicas necesarias en la matriz. La relación C/N es uno de los parámetros más utilizados para valorar este equilibrio. Las proporciones de C/N y biopolímeros influyen de una manera muy destacable en la velocidad del proceso, en la generación de malos olores y lixiviados, en la pérdida de nitrógeno y en las características del producto final (Soliva, 1999).

Se obtiene un rápido compostaje con desechos que tienen una relación C/N entre 25:1 y 35:1. Relaciones menores pueden resultar en la pérdida de nitrógeno como amonio, mientras que mayores pueden prolongar mucho el proceso de compostaje (Willson et al., 1991).

Con la finalidad de minimizar las pérdidas de nitrógeno durante el compostaje, se recomienda el uso de fosfato de calcio o de sulfato de calcio. Hoitnik y Poole (1980) y Poincelot (1975) citados por Nogueira et al.(2000), observaron que el fosfato de calcio, proporcionó un aumento en la velocidad de descomposición del material orgánico y mayor conservación del nitrógeno, por la obtención de fosfato de amonio, que es más estable. El uso de sulfato de calcio (yeso), tiene también por finalidad reducir las pérdidas de nitrógeno, aunque dada la baja solubilidad del yeso en el agua, los resultados no fueron tan satisfactorios, según Miyasaka et al.(1983); Kiehl (1985) citados por Nogueira et al.(2000).

A lo largo del compostaje hay una serie de factores controlables y a su vez la mezcla que se trata sufre una serie de transformaciones:

- Se reduce la humedad y el contenido en materia orgánica
- Varían los contenidos en las diferentes formas de nitrógeno
- Aumenta la estabilidad de la materia orgánica y se incrementan relativamente todos los componentes minerales que no pueden ser perdidos por lixiviación o volatilización
- Algunos fitonutrientes se vuelven más difícilmente asimilables
- Aumentan el pH, la conductividad eléctrica y las densidades aparente y real
- Variación de las características físicas (capacidad de aire y contenido en las distintas fracciones de agua), dependiendo además del tipo de materiales y de la duración del proceso (Soliva, 1999).

2.8-EL CULTIVO DE TOMATE.

2.8.1 - Generalidades

El tomate, *Lycopersicon esculentum*, es una especie perteneciente a la familia de las solanáceas, originaria de América del Sur.(Perú, Bolivia y Ecuador) (Imparatta, 1992).

Se lo considera según sus requerimientos térmicos como sensible a heladas, siendo su cero fisiológico de 10°C y el límite superior de crecimiento de 44°C. El rango óptimo se encuentra entre 26 y 32 °C durante el día, mientras que el rango de temperaturas nocturnas óptimas es de 18 a 20°C. La mayoría de las variedades de tomate, pierden sus flores si la temperatura permanece por encima de 40°C por tan solo 4 hs.

El daño de heladas en este cultivo, comienza cuando la temperatura desciende a - 2°C; el daño es ruptura de células, causado por los cristales de hielo formados en el tejido de la planta (Genta, 1991)

2.8.2- Fisiología de crecimiento durante la etapa de almácigo.

2.8.2.1- Germinación y emergencia

La germinación es el proceso mediante el cual, a partir de una semilla comienza el desarrollo de una nueva planta. En la germinación pueden distinguirse tres etapas. La primera que dura unas 12 horas, se produce una rápida absorción de agua por la semilla. Le sigue un período de reposo de unas 40 horas, durante el cual no se observa ningún cambio en la anatomía ni en la actividad metabólica de la semilla. Posteriormente, la semilla comienza a absorber agua de nuevo, iniciándose la etapa de crecimiento asociado con la emergencia de la radícula. La germinación depende de la variedad, de las condiciones de almacenamiento de las semillas y de las condiciones ambientales. La germinación esta, al menos en parte, bajo control genético y es más rápida en las semillas pequeñas (Chamarro Lapuerta, 1995).

A continuación se discuten los factores más importantes que influyen sobre la germinación y emergencia, según Imparatta (1992), Chamarro Lapuerta (1995), Aldabe (2000) entre otros.

- Temperatura

En el cuadro 2.14 se muestra que la acción de la temperatura del suelo en la germinación, expresado en número de días necesarios para la germinación, aumenta con la temperatura hasta un valor óptimo de 25 °C.

Cuadro N° 2.16: Días necesarios para emerger y % de germinación según la temperatura del suelo.

Temperatura (°C)	Días	% Germinación
10	43	83
13	25	95
14	16	97
15	15	98
16	14	98
20	10	98
25	7	98

FUENTE: Chamarro Lapuerta (1995).

La temperatura óptima para la germinación se encuentra entre los 20 y los 25 °C. La capacidad de germinación a temperaturas muy bajas (entre 8.5 y 12°C) y muy elevadas (35 a 37°C), depende mucho de la variedad (Imparatta, 1992).

Bolón y otros (1958) citados por Folquer (1976), investigaron los efectos de la vernalización en semilla de tomate. Colocaron semillas húmedas a 4 °C durante un mes, luego las sembraron y obtuvieron plantas con flores a las tres semanas. La vernalización provocó la formación de flores en nudos más bajos de lo normal.

Aldabe (2000) señala que la temperatura determina la velocidad de emergencia y el crecimiento de la planta, así como la precocidad, volumen y calidad de la cosecha, por cuanto en este momento se realiza la inducción del primer racimo floral, y la temperatura determina la ramificación del racimo y el número de flores.

- Iluminación

La germinación se produce mejor en la oscuridad, y en algunos cultivares resulta inhibida por la luz. Estas respuestas son dependientes de la acción del fitocromo. La habilidad para germinar en la oscuridad, de algunos cultivares sensibles a la luz, se atribuyó a los altos valores de Pfr presentes en la semilla. Moncinelli et al.(1966), citados por Picken et al.(1986) propusieron que el contenido de Pfr, debería ser por lo menos un 20% del total de fitocromo, para lograr un 50% de germinación.

- Humedad y aireación

La disponibilidad de agua es necesaria para obtener una buena germinación, y las condiciones de estrés hídrico, una vez iniciada la misma puede dañar el proceso. Este efecto del agua sobre la germinación, se observa en los siguientes resultados de % de germinación, según el % de humedad del suelo:

Cuadro N° 2.17: Efecto del agua sobre la germinación.

Factores	Relación								
Agua en el suelo (%)	7	8	9	10	11	12	14	16	18
Germinacion(%)	0	31	79	88	95	93	95	91	93

FUENTE: Donnen et al.(1943) citados por Minami (1989)

OBSERVACIÓN:- Poder germinativo:97%
 - Capacidad de campo: 15.7%
 - Punto de marchitez permanente: 8.6%

La germinación de la semilla del tomate tiene necesidades de oxígeno relativamente elevadas y, a diferencia de otras especies que pueden funcionar como anaerobias facultativas, la germinación del tomate se reduce drásticamente cuando la oxigenación es deficiente, como puede ocurrir en suelos anegados (Chamarro Lapuerta, 1995).

La existencia de un suelo con adecuada humedad y aireación, es de suma importancia, no solo en el almácigo sino a lo largo de todo el ciclo, habiéndose demostrado en varios estudios el efecto negativo que tiene la falta de aireación sobre el crecimiento y por lo tanto sobre el rendimiento final del cultivo (Imparatta, 1992)

Según Jackson et al.(1978) citado por Minami (1989), la falta de aire, debido a anegamiento, afecta indirectamente a otras funciones, como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2.18: Efecto del anegamiento de las raíces de tomate, durante 5 horas.

Tratamiento	Conductancia estomática (cm⁻¹)	Potencial hídrico foliar (Mpa)	Transpiración (ml/ hora)	Oxígeno del suelo (%)
Testigo	1.65	-0.548	27.36	>20
Anegado	0.53	-0.318	15.04	0.62

FUENTE: Jackson et al. (1978), citados por Minami (1989).

- Profundidad de siembra

La profundidad de siembra es específica para cada especie y, adecuada, cuando es propicia para la germinación y emergencia de las plántulas. Profundidades de siembra excesivas pueden impedir que la plántula, aún frágil, emerja a la superficie del suelo. Por otro lado, si la profundidad de siembra es reducida, predisponen a las semillas a cualquier variación ambiental, como exceso o déficit hídrico, o térmico, las cuales pueden dar origen a plántulas pequeñas y/o débiles.

En muchos países, como Rusia, Bulgaria, Rumania, Estados Unidos, Italia, España y otros, fueron realizadas investigaciones sobre profundidad de siembra de semillas de tomate, las cuales concluyeron en recomendaciones de profundidades de siembra muy variadas, para esta especie, que oscilaron entre 1.3 y 7 cm.

Estudiando el efecto de la profundidad de siembra de semillas de tomate, variedad Tropic, Tillman et al.(1994), encontraron que las profundidades de siembra de 1.5 cm posibilitaron mayores velocidades de emergencia y población final, difiriendo estadísticamente de las demás evaluadas. También se observó una tendencia a la reducción en velocidad de emergencia y población final de plántulas, al aumentar la profundidad de siembra a partir de 1.5 cm, como se muestra en el cuadro N° 2.19.

Cuadro N° 2.19: Velocidad de emergencia y población final de plántulas de tomate, obtenidas a diferentes profundidades de siembra.

Profundidad (cm)	Vel. de emergencia	Población final
0.5	7.2 b	44 b
1.5	9.2 a	58 a
2.5	6.9 bc	46 b
3.5	5.3 c	38 b
4.5	6.2 bc	42 b
5.5	5.9 bc	35 b
C.V.(%)	12.9	11.1

FUENTE: Tillman et al.(1994).

El índice de velocidad de emergencia, fue calculado a través de la sumatoria del número de plántulas emergidas cada día, dividido, el número de días desde siembra a emergencia. La población final de plántulas, se evaluó al duodécimo día, a través del número de plantulas normales establecidas, tomando como referencia un tamaño mínimo de 3.5 cm (Tillman et al., 1994).

- Salinidad

Aunque el tomate es una planta moderadamente tolerante a la salinidad, los suelos salinos pueden afectar negativamente a la germinación.

Las plantas de tomate cultivadas en suelo salino o con aguas salinas (mas de 3 g/litro de sales) sufren alteraciones en todo su metabolismo y lo reflejan macroscópicamente, cuando se comparan con plantas cultivadas sin estrés salino, al producir un sistema radicular menor, hojas adultas abarquilladas y crasas, hojas jóvenes más pequeñas, de color verde mas intenso y enrolladas sobre si mismas, racimos con menor número de flores, y frutos más pequeños. La germinación de la semilla de tomate se reduce con pequeñas concentraciones de NaCl en el medio. Desde 4.7 g/l de NaCl se advierte una reducción en la germinación, mientras que con 10.9 g/l el porcentaje de germinación se reduce drásticamente. Se estimó que con 4.7 g/l de NaCl en el medio, las semillas de tomate necesitan un 50 % mas de días para germinar y tres veces mas con 10.9 g/l que en un medio sin NaCl (Chamarro Lapuerta, 1995).

Según Chamarro Lapuerta (1995), la etapa más sensible a la salinidad en tomate parece ser la comprendida entre la germinación y el desarrollo de las primeras hojas verdaderas. La salinidad también disminuye la velocidad de emergencia al disminuir la disponibilidad de fósforo, como consecuencia de la menor disponibilidad de agua (Minami, 1995).

En el cultivo sin suelo del tomate, el nivel óptimo de la salinidad, determinado en la disolución del sustrato, oscila entre 3 y 5 ds/m (Abad, 1995).

Elola et al.(1997), observaron que los niveles de salinidad que presentan los ingredientes de los medios de cultivo, influyeron sobre la germinación y emergencia de semillas de tomate. Ellos constataron, que los sustratos elaborados con 25 % de abono orgánico y 75 % suelo (0.26 mmhos/cm), tuvieron mayor porcentaje de emergencia y mejor crecimiento y desarrollo del plantín, que los sustratos compuestos con 50 % de abono orgánico y 50 % de suelo (0.9 mmhos/cm). Este fenómeno estaría asociado a los altos niveles de salinidad encontrados en los sustratos formulados con 50 % de abono orgánico.

- Hormonas

Gray (1957), citado por Picken et al.(1986), observó que el revestimiento de las semillas con un 5 % de giberelinas, incrementó la emergencia de las semillas. Srivastova (1960), citado por Picken et al.(1986), reportó incrementos de sobre un 23% en la germinación, al remojar las semillas durante 12 hs. en giberelinas; y en varias auxinas (NAA, IPA, NOA).

2.8.2.2- Crecimiento y desarrollo

- *Sistema radical.*

El sistema radical tiene como funciones la absorción y el transporte de nutrientes, así como el anclaje de la planta al suelo. El mismo está constituido por la raíz principal, las raíces secundarias y las raíces adventicias.

El aparato radical es notablemente modificado por las prácticas de cultivo; cuando deriva de siembras de asiento es pivotante y puede alcanzar rápidamente hasta una profundidad de 60 cm. Cuando corresponde a plantas transplantadas, debido a las lesiones sufridas, se presenta formado por un denso sistema de raíces adventicias, extendidas lateralmente (Anderlini, 1976).

Las temperaturas inferiores a 11°C perjudican el sistema radicular, pudiendo ocasionar la muerte de las plantas. Temperaturas muy elevadas, también pueden provocar reducción en el desarrollo del sistema radicular.

Cooper (1973), citado por Minami (1989) encontró, que el efecto adverso de las temperaturas, está en el hecho de que afectan principalmente la absorción de fósforo, reduciéndola, siendo menor el efecto sobre nitrógeno y potasio.

El aumento de temperaturas del suelo de 12 a 22 °C, llevó a un incremento en el tenor de NO₃⁻, P, K, Mg, Ca, Fe, y Mn, en las hojas. Este efecto de la temperatura sobre la absorción de nutrientes se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2.20: Efecto de la temperatura(del suelo) del sistema radicular del tomate sobre la absorción de iones, luego de 21 días de la siembra.

Nutrientes(meq/ planta)	12 °C	22 °C
NO ₃	31	70.4
PO ₄ H ₂	2	6.4
K	15.5	36.7
Ca	16	30.9
Mg	5.9	13.4
NH ₄	4.1	6
Aniones	33.0	76.8
Cationes	41.5	87
Cationes/ aniones	1.26	1.13

FUENTE: Coenillom (1977), citado por Minami (1989).

Por otro lado, las altas temperaturas inducen a la planta, a un crecimiento reducido, debido a una disminución en la eficiencia de utilización de agua (Minami, 1989).

El crecimiento y la materia seca de la planta aumentan con la temperatura de la raíz hasta un óptimo de 30 °C, a menos que la iluminación resulte limitante, y cuando la temperatura de la raíz desciende por debajo de 15°C, el crecimiento del tallo puede disminuir drásticamente. El descenso en el suministro de fotoasimilados a la raíz, como consecuencia del descenso en la actividad fotosintética de la parte aérea, reduce el aumento en materia seca y la división de las células apicales de la raíz, pero afecta poco a la absorción de iones y a la respiración; esto pone de manifiesto que, ante una escasez de nutrientes, tienen prioridad las funciones esenciales para el mantenimiento de la planta (Chamarro Lapuerta, 1995).

- *El sistema vegetativo*

El desarrollo de las plantas depende de numerosos factores, entre los que cabe mencionar la iluminación, la temperatura, la nutrición, el pH, el suministro de agua y la concentración de CO₂, que actúan en un complejo entramado de interacciones (Chamarro Lapuerta, 1995).

Varios investigadores, realizaron un excelente estudio sobre los mecanismos que regulan el desarrollo vegetativo de la planta.

① **Iluminación**

El factor que más afecta el desarrollo vegetativo es la iluminación diaria total, mientras que la calidad de la luz y el fotoperíodo desempeñan un papel secundario. Una alta luminosidad, aumenta la tasa de producción de hojas, sin embargo, disminuye su número y aumenta el número de flores, como se revela en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2.21: *Efecto de la intensidad luminosa y la duración de la luz, sobre el desarrollo del tomate.*

Intensidad de la luz	HOJAS		FLORES	
	8 HORAS	16 HORAS	8 HORAS	16 HORAS
	N° PROMEDIO		N° PROMEDIO	
250 lux	9.4	9.75	9.05	7.95
500 lux	8.15	8.45	8.4	9.35
750 lux	7.45	7.8	12.95	8.2
1000 lux	7.4	7.7	12.5	9.4

FUENTE: Calvert(1959), citado por Minami (1989).

Una disminución de la intensidad luminosa a altas temperaturas, puede provocar mayor crecimiento de la planta. Disminuyendo la intensidad luminosa a la mitad de lo normal, resulta en un aumento de cerca de un 25 % de crecimiento vegetativo, restringiendo en un tercio la producción de frutos, y en un sexto la producción fotosintética total de la planta de tomate (Minami, 1989).

En los invernaderos, cuando la irradiación es elevada la concentración de CO₂ puede disminuir rápidamente hasta concentraciones que limitan la fotosíntesis y el crecimiento, de modo que para mantener la fotosíntesis, es necesario restaurar la concentración de CO₂ mediante enriquecimiento o ventilación (Chamarro Lapuerta, 1995).

② Temperatura

La temperatura también tiene un efecto importante sobre el desarrollo vegetativo de la planta. La temperatura óptima, depende de la iluminación y se encuentra alrededor de los 25°C.

La temperatura mínima a la cual la planta puede sufrir daños de helada no es fácil de precisar por que depende del estado de desarrollo de la planta, de su potencial hídrico, del estado hídrico del suelo y atmósfera a su alrededor, etc.; pero, a un grado centígrado casi siempre se producen síntomas de helada en las hojas. Aunque el problema del cultivo de tomate a baja temperatura, es la sensibilidad de algunas de sus fases de desarrollo a temperaturas, no ya alrededor de 1°C, sino inferiores a 11 °C. Esas fases más sensibles al frío son la germinación – emergencia y el cuajado del fruto (Genta, 1991).

Las altas temperaturas modifican todas las funciones de la planta, pues llegan a impedir la fotosíntesis y a desorganizar los sistemas enzimáticos necesarios para el desarrollo de la vida de la planta. A temperaturas superiores a 25°C son esperables

modificaciones de la actividad fotosintética, la cual puede detenerse por un período y luego reanudarse, deficiencias de cuajado de fruto y disminución en la producción (Chamarro Lapuerta, 1992).

Las temperaturas diurnas para el tomate, como ya se mencionó, están en función de las condiciones de luminosidad, mientras que las nocturnas óptimas en función de las temperaturas diurnas ocurridas. En relación a lo anterior, según estudios realizados, cuando los días son nublados la temperatura diurna oscila alrededor de los 18 °C. En cuanto a la temperatura nocturna, se ha visto que es necesario que se ubique unos 4 a 5 °C por debajo de la diurna (Imparatta, 1992).

③ Agua

Un período de falta de agua afecta mucho la absorción de nutrientes. Gates (1968), citado por Minami (1989) observó que durante la seca, las raíces paralizan su crecimiento, los nutrientes así se acumulan y la absorción es reducida. Sin embargo esta reducción, puede ser debida también a la propia ausencia de agua, o reducida cantidad de agua en la zona radicular, pues, el agua es necesaria para la absorción de K, N, P, y Ca.

④ pH

La planta de tomate puede sobrevivir en un amplio intervalo de pH del sustrato, sin sufrir desórdenes fisiológicos aparentes, siempre y cuando todos los nutrientes se suministren en forma asimilable. El nivel óptimo de pH, en el cultivo sin suelo oscila entre 5.5 y 6.8 (Abad, 1995).

Un pH bajo perjudica bastante el desarrollo de las raíces, afecta sensiblemente la absorción de agua y nutrientes, influyendo indirectamente en la producción y en la calidad del tomate.

Además de los efectos directos del pH, existen los indirectos, siendo uno de los principales el ejercido, sobre la disponibilidad de elementos para la planta. Así, a medida que aumenta el pH, el Fe, Mn, Cu, y Zn se tornan menos solubles, pero Ca, Mg y P, se tornan más disponibles, y por consiguiente, los niveles de los elementos minerales en la planta, varían también con el pH del suelo, o de la solución (Minami, 1989).

⑤ **Nutrición mineral**

- Nitrógeno

El vigor de la planta generalmente incrementa con el suplemento de nitrógeno. Así, Whit (1938), citado por Adams (1986) encontró que la altura de la planta, área foliar y el número de flores producidas incrementaron en respuesta a la adición de nitrógeno. Winsor et al. (1987), comentó que el status de nitrógeno del cultivo, se refleja muy claramente en el crecimiento y color de las plantas. Las deficiencias de nitrógeno se evidencian a través de un crecimiento limitado de la planta, cuyas hojas son pequeñas, duras y de color verde-amarillo pálido.

La respuesta de la planta al nitrógeno, varía de acuerdo a la naturaleza y cantidad de este elemento en el sustrato, a la forma y cantidad de nitrógeno aplicado, a las técnicas de cultivo utilizadas, a las condiciones ambientales, así como, a la interacción entre los factores mencionados (Winsor et al., 1987).

El contenido de nitrógeno de las hojas jóvenes maduras son ampliamente utilizadas para evaluar el estado del cultivo. Diferentes investigadores citados por Winsor et al. (1987), estimaron valores de contenido de nitrógeno de las hojas, que correspondieron a máximos rendimientos, los cuales variaron considerablemente entre sí. Por ejemplo, Kloes et al. (1961) y Roorda van Eysinga (1971), citados por Winsor et al. (1987), sugirieron 3.5 y 3.7 % de N, respectivamente, mientras Ward (1963), recomendó 5.25 % de N. El mismo autor citó otros valores asociados con incrementos en crecimiento: 4.3 - 6.6 %N (Mac Lean et al., 1968), 4.8 % N (Winsor, 1973), y 4.0 - 5.6 % N (Winsor et al., 1978), mientras que se consideraron como valores deficientes en nitrógeno contenidos alrededor de 1.7 %.

- Fósforo

Tanto el crecimiento como el desarrollo del cultivo, pueden ser restringidos por inadecuados niveles de fósforo.

Plantas de tomate con deficiencias de fósforo, fueron descritas por Fisher (1935), citado por Winsor et al. (1987) como plantas de color verde - azul oscuro o púrpura. Los tallos eran delgados y débiles, raíces de color marrón y ramificación lateral escasa. Hewitt (1944) citado por Winsor et al. (1987), notó que las hojas maduras eran pequeñas, y curvadas hacia abajo, tenían el tinte púrpura y áreas escorchadas lo que las llevó a la muerte prematuramente.

Los factores que modifican la disponibilidad de fósforo para el cultivo de tomate puede ser: el pH, contenido de humedad, grado de compactación y la temperatura del

sustrato (Winsor et al., 1987). La disponibilidad de fósforo declina, cuando el pH del sustrato incrementa. Massey et al.(1969) citados por Adams (1986), observaron, que el peso fresco de las plantas jóvenes, incrementó con el nivel de fósforo aplicado, particularmente a altos pH. La difusión de fósforo en el suelo se realiza muy lentamente, por lo tanto el contenido de humedad en el mismo, es de fundamental importancia. La extracción suficiente de fósforo para un normal crecimiento, es dependiente de una extensión radicular continua, la cual es determinada particularmente por el grado de compactación del suelo. Martín et al (1963), citados por Winsor et al.(1987), encontró que el contenido de fósforo en las hojas incrementó, cuando la temperatura del suelo se elevó de 13.5 a 15.5 °C.

Estimaciones de fósforo en hojas de varios autores citados por Winsor et al. (1987), como valores satisfactorios u óptimos fueron: 0.39 % P (Wallace, 1951), 0.80 % P (Ward, 1963), 0.43 - 0.6 % P (Smilde et al., 1968) y 0.5 % P (Winsor, 1973). Connell et al (1960) citado por Winsor et al., (1987), encontraron que las plantas jóvenes de tomate respondieron a niveles crecientes de P en el suelo, tanto para la acumulación de materia seca como para el nivel de fósforo contenido en las hojas.

- Potasio

Los incrementos en los niveles de potasio, mejoraron el aspecto de los frutos, por reducción de la incidencia de frutos ahuecados y disminución de desórdenes en la maduración de los mismos, logrando mejor forma y firmeza, e incrementos en la acidez total del jugo en el fruto (Adams, 1986).

Valores de contenido de K en las hojas asociados con deficiencias, durante la etapa del cultivo en la que solo hay crecimiento vegetativo, fueron estimados por varios investigadores, citados por Winsor et al. (1987). Por ejemplo, Wallace (1951) citó 1 % de K, mientras que Besford et al. (1975) sugirieron contenidos de K entre 1.2 y 1.5 % y Bergmann (1976) encontró deficiencias de K a valores de solamente 0.54 %. En cambio, los síntomas de deficiencias durante la etapa de fructificación, se encontraron cuando el contenido de K en las hojas fue alrededor de 2.4 %, según Adams et al. (1978), citados por Winsor et al. (1987). Contenido de K superiores a 4 % en las hojas, se reportaron en plantas sin deficiencias en este nutriente.

Winsor et al. (1967), citados por Winsor et al. (1987), encontraron que el contenido de K en las hojas de tomate se redujo, cuando los niveles de aplicación de nitrógeno fueron altos.

- Calcio y Magnesio

La ausencia de calcio en la solución nutritiva, redujo la altura de la planta y el número de hojas formadas (Adams, 1986).

El contenido de Ca en las hojas jóvenes es relativamente bajo (1 -2 %), mientras que en las hojas maduras se encontraron valores entre 6 y 7 % según Ward (1964), citado por Winsor et al. (1987).

Algunos investigadores encontraron que existe influencia de los niveles de Mg sobre el contenido de Ca en las hojas y frutos lo cual se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2.22: Influencia del nivel de Mg, sobre el contenido de Ca en hojas y frutos de tomate.

Contenido de Mg del sustrato(mg l ⁻¹ Mg)	Contenido Ca (% en base a materia seca)	
	Hojas	Frutos
120	4.9	0.43
360	4.3	0.3
640	3.1	0.25

FUENTE: Borkowski et al.(1979); citados por Winsor et al. (1987).

Un inadecuado suministro de magnesio, puede deprimir tanto el crecimiento como el rendimiento de los frutos. Aplicaciones de magnesio al suelo, redujeron la proporción de frutos deformados, y en algunos casos redujeron la incidencia de desórdenes en la madurez y ahuecado de los frutos (Adams, 1986).

Los niveles de Mg en hojas, que se consideraron como óptimos comprenden valores superiores a 0.4 %, dónde Wallace (1951); Ward (1964) y Winsor (1973), citados por Winsor et al. (1987), sugirieron valores de 0.48, 0.4 - 0.66 y 0.5 % de Mg, respectivamente.

- Micronutrientes

Generalmente, la respuesta a los micronutrientes, ocurre en un rango muy bajo de concentraciones.

Messing (1957) citado por Adams (1986), encontró alguna respuesta al boro, en plantas creciendo en arena, como se muestra a continuación:

Cuadro N° 2.23: N° y peso de frutos de tomate, producidos por plantas en un medio de cultivo de arena.

Contenido de Boro en la solución (mg/ litro)	N° frutos/ planta	Peso de frutos/ planta (grs)
0.008	20	1786
0.015	28	1991
0.030	36	2674
0.060	50	2704
0.200	58	3589

FUENTE: Messing (1957), citado por Adams(1986).

Los efectos de deficiencias de otros micronutrientes, sobre crecimiento y rendimiento de plantas creciendo en arena, se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2.24: Efectos de la omisión individual de micronutrientes de una solución nutritiva completa, sobre la altura y contenido de materia seca de las plantas de tomate, y rendimiento de los frutos.

	Altura (cm)	Peso seco (grs)	N° frutos/ planta	Rend. Frutos/ planta
COMPLETA	307	339	36	1747
Cu	163	28	2	72
Fe	172	78	10	401
Mn	179	99	8	447
Zn	230	179	12	760

FUENTE: Lyon et al. (1943), citados por Adams(1986).

Davies (1957) citado por Adams (1986), encontró que excesivos niveles de Mn, deprimen el crecimiento de la planta en suelos ácidos, y altos niveles de Boro tienden a reducir el rendimiento en frutos en un 7 %.

Según Adams (1986), deficiencias de Zn redujeron el rendimiento de tomates a campo en más de un 50 % y deficiencias de Mo, redujeron el peso de plantas jóvenes, desde 27 a 18 grs.

⑥ Reguladores de crecimiento

Las auxinas están implicadas en la dominancia apical. La eliminación del extremo del tallo, estimula el crecimiento de las yemas axilares y la aplicación de ácido indolacético (IAA) inhibe este crecimiento. Las giberelinas (GAS) se producen en las raíces y desempeñan un papel importante en la elongación del tallo. La

aplicación de GAS exógenas, provoca la elongación de los entrenudos, produciendo plantas más altas con tallos más delgados y con mayor peso seco. Los retardadores del crecimiento, se han utilizado con frecuencia para mejorar el aspecto de la cosecha. (Chamarro Lapuerta; 1995).

- ***Iniciación y desarrollo de las hojas***

De acuerdo a Chamarro Lapuerta (1995), la iniciación de las hojas se produce a intervalos de 2 – 3 días, en función de las condiciones ambientales. El mismo autor señala que generalmente la producción de hojas y de primordios foliares aumenta con la irradiación diaria y con la temperatura, siendo constantes cuando las condiciones ambientales lo son. La velocidad de iniciación de las hojas no resulta afectada por la irradiación diaria durante el verano, pero lo está en el invierno. Las hojas jóvenes, los primordios foliares y los meristemos apicales compiten por los fotoasimilados disponibles. El aumento de fotoasimilados producido por una mayor iluminación promueve tanto la producción de primordios apicales como foliares, pero las temperaturas más elevadas favorecen preferentemente a estos últimos.

El espesor de la hoja es mayor cuando crece con una elevada iluminación diaria durante la fase de la iniciación y al principio de su expansión. Cuando los frutos comienzan a competir con las hojas jóvenes por los fotoasimilados, la velocidad de crecimiento de la hoja disminuye (Chamarro Lapuerta, 1995).

- ***Iniciación de la inflorescencia y duración de la fase vegetativa.***

La diferenciación floral suele iniciarse dentro de las tres semanas siguientes a la expansión de los cotiledones. Tanto el momento de iniciación de la primer inflorescencia, como el estadio de crecimiento al cual se produce la primer iniciación, pueden ser afectados por los tratamientos ambientales dados a la planta poco tiempo después de la emergencia. La fase sensible dura normalmente nueve días desde la expansión de los cotiledones. Durante esta fase hay una interacción entre la temperatura y la iluminación, tal que a temperaturas bajas se favorece la formación de flores en plantas cultivadas a 25°C, al mismo tiempo que el número de hojas producido antes de la primer inflorescencia se reduce de 14 a casi la mitad (Calvert, 1959).

3- MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el campo experimental de Facultad de Agronomía, Centro Regional Sur; en la localidad de Joanicó, departamento de Canelones, a 36 km de la ciudad de Montevideo (35° de latitud sur y 56° de longitud).

3.1- ANALISIS ESTADÍSTICO

El diseño estadístico que se empleó para el ensayo de crecimiento, fue el de bloque completos al azar, con doce tratamientos y cuatro repeticiones. Para el ensayo de emergencia se utilizó el mismo diseño, con seis tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental fue, una bandeja de espumaplast, de 104 celdas. El análisis estadístico se realizó con el procedimiento GLM del SAS.

Se realizaron Análisis de varianza con sustrato y nivel de fertilización y la interacción entre ambas como fuentes de variación, y cuando estas fueron significativas se realizaron pruebas de comparación de medias mediante el Test de Tukey. Para la interacción se hicieron pruebas en donde se compara las medias de los tratamientos, todas contra todas por pares, utilizando PDIFF del SAS. En los casos que hubo efecto significativo de sustrato sobre determinada variable, los promedios de la misma según sustrato, correspondieron al promedio entre los niveles de fertilización y cuando fue significativo el factor fertilización, las medias de la variable fueron calculadas como el promedio entre los sustratos evaluados. El análisis de varianza para porcentaje de emergencia consideró el factor sustrato como fuente de variación. De igual forma se realizó el ANAVA para la primera fecha de medición de altura, debido a que el ensayo de crecimiento aún no estaba bajo la condición de los distintos niveles de fertilización.

Se hicieron análisis de correlación para relacionar: *altura-peso fresco aéreo, peso fresco aéreo-peso fresco radicular, peso seco aéreo-peso seco radicular, peso fresco aéreo- peso fresco total, peso fresco radicular-peso fresco total, peso aéreo-peso seco total, peso seco radicular-peso seco total, porcentaje de emergencia-temperatura de sustrato, temperatura de sustrato-temperatura ambiente.*

3.2- SUSTRATOS EVALUADOS

Los materiales utilizados para la elaboración de los sustratos fueron:

- *Compost*, provisto por la Intendencia de Montevideo. El mismo se elaboró en base a residuos orgánicos municipales (del mercado Modelo, barrido de parques y poda de la ciudad). Se lo pasó por tamiz de 2 mm de luz.
- *Cáscara de arroz carbonizada*, suministrada por la empresa Arrosur de Treinta y Tres. Este material tenía apariencia de ceniza.
- *Sustrato comercial*: canadiense: (FAFARD 1) constituido por un 90 % de turba y 10 % de vermiculita.

Se formularon cinco sustratos en base a volumen, con las siguientes proporciones de compost y CAC (cáscara de arroz carbonizada); los cuales constituyeron los tratamientos:

- 1- 100% Compost
- 2- 75% Comp.: 25% CAC
- 3- 50% Comp.: 50% CAC
- 4- 25% Comp.: 75% CAC
- 5- 100% CAC

El sexto material que se utilizó como medio de crecimiento fue el sustrato comercial FAFARD 1, considerado en el experimento como el tratamiento testigo. Se eligió el mismo debido a que es el sustrato más utilizado a nivel de los productores, en la producción de plantines de tomate.

Además de los distintos sustratos evaluados, se introdujo el factor fertilización en dos niveles, con y sin fertilización, para poder separar los efectos físicos de los químicos en cada uno de los sustratos.

En el cuadro 3.1 se presentan los doce tratamientos que se consideraron en el análisis de crecimiento, conformados por la combinación de los seis sustratos y los dos niveles de fertilización.

Cuadro 3.1: *Tratamientos del ensayo de crecimiento*

	Con fertilización	Sin fertilización
Sustratos	1 – C100%	7 – C100%
	2 - C75% : CAC25%	8 - C75% : CAC25%
	3 - C50% : CAC50%	9 - C50% : CAC50%
	4 - C25% : CAC75%	10 - C25% : CAC75%
	5 – CAC100%	11 - CAC100%
	6 – Comercial	12 - Comercial

Los tratamientos para el análisis de emergencia de las plántulas fueron los seis sustratos sin fertilización.

3.3- ANALISIS DE SUSTRATOS

3.3.1- Caracterización física de los sustratos

► *Análisis de la dinámica agua : aire de los sustratos*

El estudio de las características físicas de los sustratos se llevó a cabo en el laboratorio de análisis de suelos, de la Estación experimental INIA, "Las Brujas". Las etapas a seguir en dicho análisis fueron:

- 1- Se llenaron cilindros de 90 cm³, de volumen, con los diferentes sustratos a estudiar. En la base de los mismos se colocó un papel filtro, ajustado con una goma elástica.
- 2- Luego, se colocaron los cilindros en una olla con arena (tierra de diatomeas), ubicados en el espacio superior de la misma (siendo, el espacio libre superior de la olla, de 10 cm de altura aprox.) y cubiertos con una tapa.
- 3- Se saturaron las muestras, añadiendo agua durante 6 días (tiempo requerido para la saturación de las muestras analizadas).
- 4- Una vez saturadas las muestras se pesaron, en una balanza de precisión de 0.01 grs.
- 5- Se colocaron los cilindros nuevamente en la olla, y se sometieron las muestras a succiones de 10, 20, 25 y 37 cm de columna de agua, durante 48 hs. Las muestras se pesaron en cada punto de succión aplicado.
- 6- Por último, se colocaron los cilindros en ollas de presión negativa y se aplicaron tensiones de 0.3, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 5, 10 y 15 bar (0.1 bar = 100 cm de columna de agua). Luego, se pesaron las muestras, para cada punto de succión.
- 7- Finalmente, las muestras se secaron en estufa a 105°C y se pesaron.
- 8- Con los datos recabados se construyeron las curvas de liberación de agua para cada sustrato, se calcularon los valores de densidad aparente (g/cm³), humedad gravimétrica y volumétrica, porosidad total (%), capacidad de agua disponible entre 0.01 y 0.1 bar y porosidad de aire.

Todas las muestras se procesaron por triplicado y luego se promediaron los valores para el cálculo de los distintos parámetros físicos. El procedimiento de cálculo de éstos parámetros se realizó de la siguiente manera:

- **Densidad aparente** (g/cm³)

$$D.ap = \frac{(ps\ 105\ ^\circ C - pc)}{vol.c}$$

p.s 105 °C = peso sustrato a 105 °C

p.c = peso cilindro

vol.c = volumen del cilindro

- **Humedad gravimétrica** (grs)

H.G= (peso sustrato saturado – peso papel + gomita) – (peso sustrato a 105°C)

- **Humedad volumétrica:**

El volumen de agua (% en volumen) a 10 cm de succión, se calculó en base a las fórmulas citadas por Ansorena Miner (1994).

$$\%HPH = D10 = \frac{B10 - C10}{B10 - A10} * 100$$

$$\%HPS = \frac{100 * D10}{100 - D10}$$

$$VA10cm = H10 = \frac{100 * D10}{100 - D10} * D.ap$$

% H.P.H.= % de humedad en base a peso húmedo

% H.P.S.= % de humedad en base a peso seco

VA10cm = % de volumen de agua a 10 cm

A10 = peso cilindro vacío

B10 = peso cilindro vacío + sustrato en equilibrio a una succión de 10 cm

C10 = peso del cilindro vacío + peso sustrato a 105 °C

Para el cálculo de volumen de agua a 37 y 300 cm de succión se procedió de la misma manera. Utilizando los valores de H10, H37 Y H300, obtenemos las curvas de humedad volumétrica.

- Curvas de liberación de agua:

Para la construcción de las curvas de liberación de agua se calculó la diferencia hasta 100 del valor de H_s en cada succión aplicada.

- Porosidad total (%)

$$PT = 100 * \left(1 - \frac{D.ap}{D.real} \right)$$

La densidad real se calculó mediante la siguiente fórmula, citada por Burés (1999 a).

$$D.r. = \frac{100}{(\%M.O/1.65) + [(100 - \%M.O)/2.65]}$$

- Capacidad de agua disponible (% en volumen)

$$A.D. = \text{Humedad volumétrica}_{10 \text{ cm de succión}} - \text{Humedad volumétrica}_{100 \text{ cm de succión}}$$

El comportamiento de las curvas de liberación de agua se estudió en el rango de 0 – 100 cm, debido a que la succión media con que el agua es retenida es muy inferior a la de los suelos. Según Ansorena Miner (1994) la capacidad de contenedor (capacidad de campo) en macetas de unos 20 cm de altura, se ubicaría en el orden de los 10 cm de agua.

- Porosidad de aire (P.a) (% en volumen)

$$P.a = \text{Porosidad total (\%)} - \text{Humedad volumétrica}_{10 \text{ cm de succión}}$$

➤ Estudio granulométrico

El estudio granulométrico de los distintos sustratos, se realizó en el laboratorio ubicado en el área de UNCIEP, de la Facultad de Ciencias.

Los tamices seleccionados para el análisis granulométrico, estuvieron comprendidos entre 0.1 y 2 mm. Se utilizaron 500 cm³ de muestra, de cada uno de los sustratos a estudiar. Se colocaron los tamices ordenados por tamaños sobre la tamizadora, que se hizo funcionar durante 30 minutos. Al cabo de este tiempo, se valoró volumetricamente el contenido de cada tamiz en un recipiente de vidrio, en el cual se puede identificar la escala de capacidad. Los resultados se expresaron en base

a volumen, dado que la densidad aparente de cada uno de los materiales fué marcadamente diferente entre los sustratos.

3.3.2- Caracterización química de los sustratos.

El análisis químico se llevó a cabo en el laboratorio de suelos y aguas del MGAP. Las técnicas y metodologías empleadas para la determinación de las características químicas de los sustratos fueron las siguientes:

- **pH en agua:** se midió en una suspensión, cuya relación muestra: agua fue de 1:2.5
- **N total:** se determinó por el método Kjeldhal, modificado mediante el uso de ácido salicílico.
- **Materia orgánica:** se determinó por calcinación
- **Carbono Orgánico:** 1) se realizó un ataque con dicromato de potasio, en ácido sulfúrico.
2) retención en potasa (el CO₂)
3) valoración acidimétrica.
- **P total:** se libera el elemento por calcinación y se determina por colorimetría de azul de molibdeno.
- **K total:** se determinó por calcinación y espectrofotometría de emisión de llama.
- **Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn:** se determinó por calcinación y espectrofotometría de absorción atómica.
- **Conductividad:** se leyó con conductímetro en una mezcla sustrato: agua, cuya relación fue 1:5
- **Na intercambiable:** se determinó por extracción en acetato de amonio, a pH 7; y se leyó por espectrofotómetro de emisión de llama.

3.4- ANALISIS DE AGUA.

El análisis de agua se efectuó en el laboratorio de suelos y aguas del MGAP. Las técnicas empleadas fueron las siguientes:

- **Conductividad:** se midió con conductivímetro, a 25°C.
- **pH:** se midió con peachimetro (escala 0-14)
- **Cationes:** determinados por espectrofotometría de absorción (Ca y Mg) y emisión atómica (K y Na).
- **Alcalinidad y cloruro:** se leyó a través de un titulador digital Mettler DL70 ES

3.5 - MANEJO DEL ALMÁCIGO

La variedad de tomate que se utilizó, fue el híbrido "Luxor", de tipo semideterminado, y susceptible al virus de la peste negra (TSWV).

El experimento se llevó a cabo en un invernáculo, cuyas dimensiones eran de 9.5 metros de ancho y 24 metros de largo. La siembra se realizó el 13/09/00, y el ensayo concluyó el 30/10/00, cuando al menos en uno de los tratamientos los plantines alcanzaron el tamaño de trasplante. Se utilizaron almacigueras de espumaplast, constituidas por 104 celdas (50 cm³ cada celda), y se colocaron 3 semillas en cada una de las celdas, a una profundidad de 6 mm.

A la par, e independiente del ensayo de crecimiento, se realizó el ensayo de emergencia, dónde se empleó el mismo tipo de almacigueras, con la diferencia de que se ubicó una semilla por celda. La siembra de dicho ensayo se realizó el 12/09/00 y finalizó el 14/10/00, cuando cada tratamiento presentó como mínimo, en promedio, un 50% de plantas emergidas.

Los riegos se realizaron, en general, casi todos los días, con regadera; dependiendo de las condiciones de evapotranspiración a las que estuvieron sometidas las plantas, y del estado sanitario de las mismas (la disminución de la frecuencia de riego, se aplicó como forma de control cultural contra Dumping off).

El 19/09/00 se colocó una malla blanca, en forma de carpa, sobre las almacigueras, con el propósito de impedir la llegada de los pájaros a las plantitas recién emergidas. Transcurrido el período crítico de ataque de los pájaros se retira dicha protección. También se colocó un sombrite o malla negra sobre la pared sur del invernáculo, con el fin de amortiguar los vientos desde este punto cardinal.

A casi un mes de la siembra, el 6/10/00, se realizó un tratamiento químico contra Dumping off, dónde se empleó Captan, un fungicida de contacto, a una concentración de 40 grs. de producto comercial en 8 litros de agua. También se aplicaron medidas de control cultural contra Dumping off, tales como: disminución de la frecuencia de riego, y aporcado de los plantines.

La primera fertilización de los tratamientos, a los que previamente se les había asignado dicho carácter, se realizó el 11/10/00, con Aminon Solo (ver anexo N° 1) a una concentración de 16 cm³ de producto comercial cada 8 litros de agua. Las posteriores aplicaciones se efectuaron el 19/10 y el 25/10 a concentraciones de 80 cm³ en 8 litros de agua. La fertilización foliar se realizó con las regaderas que se utilizaron para regar los plantines.

A los 37 días de la fecha siembra, se extendió un sombrite sobre el ensayo, a una altura de metro y medio aproximadamente desde las almacigueras, con el fin de evitar los excesivos incrementos de temperatura en las horas de máxima radiación solar. La ventilación del invernadero se realizó casi diariamente, dependiendo de las condiciones ambientales, a través de la apertura de las cortinas, desde las 8:00hs.AM a las 16:00 PM, o más, si la temperatura luego de este horario era aún elevada.

3.6- OBSERVACIONES, REGISTROS Y ANALISIS

3.6.1- Análisis de semilla

El análisis de germinación de las semillas del híbrido de tomate, variedad “Luxor”, se realizó en el Instituto Nacional de Semillas (INASE).

La técnica utilizada para la prueba de germinación, fue la establecida por las reglas ISTA para esta especie.

3.6.2.- Ensayo de emergencia

Se comenzaron a observar las primeras plantas emergidas el 22/09/00. A partir de ésta fecha se inicio el registro diario hasta el 13/10/00, momento en dónde cada tratamiento presentaba como mínimo, en promedio, un 50% de plantas emergidas.

En el ensayo de emergencia se evaluaron las variables porcentaje de emergencia y tasa de emergencia. Estas variables se calcularon de la siguiente manera:

$$\%Emergencia = \frac{n^{\circ} p.n * 100}{n^{\circ} s.t}$$

n° p.n.= número de plantas normales

n° s.t.= número de semillas totales

$$T.E = [\text{Tiempo (días) a 50 \% de emergencia}]^{-1}$$

T.E = Tasa de Emergencia

3.6.3- Ensayo de crecimiento

Para evaluar el crecimiento del plantín, se realizaron repiques a dos cotiledones hasta completar todas las almacigueras, con una planta por celda.

Se realizaron mediciones de *altura* de plantín a los 27, 35, 41, y 48 días desde la siembra. Las mismas, se determinaron desde el cuello hasta el ápice de la planta, con regla milimetrada. Los datos se obtuvieron de las doce plantas centrales de cada almaciguera.

El registro de *peso fresco foliar y radicular* de los plantines se realizó a los 36, 42, y 48 días desde la siembra. La determinación de dichas variables se llevó a cabo a través de la extracción de cuatro plantines, por tratamiento, por repetición. Para la

valoración del peso fresco radicular, se tuvieron que lavar las raíces, para separarlas del pan de tierra.

Los plantines extraídos, luego de la determinación del peso fresco, se colocaron en estufa a 60 °C, durante 24 hs, para cuantificar el *peso seco de parte aérea y radicular*.

En base a las variables anteriormente mencionadas, se determinaron los valores de *PFT*(peso fresco total) y *PST*(peso seco total), la relación *PA/PR* (parte aérea/parte radicular), en fresco y en seco y la relación *PST/PFT*.

El estado sanitario de los plantines se relevó durante el período de ejecución del experimento.

3.6.4 - Análisis foliar

El análisis foliar se realizó en la Estación Experimental INIA “Las Brujas”, en el laboratorio de análisis de tejidos vegetales.

Para la realización de dicho análisis se utilizaron los plantines de tomate que se extrajeron el 30/10/00, momento en el cual se finalizó el experimento.

Las técnicas que se emplearon en la determinación de los nutrientes en los tejidos vegetales, se mencionan a continuación.

- NITRÓGENO

DIGESTIÓN: - 0.2 grs. muestra seca (a 380°C).
- 30 ml H₂SO₄ puro (comercial)
- 1.1 grs. de catalizador : - 1 gr. K₂SO₄
- 0.1 gr. CuSO₄

DESTILACIÓN: - 20 ml de H₂
- 30 ml. NaOH (comercial 50%)
- recoger en 10 ml. de ácido bórico.

REACTIVOS: -Bórico. 160grs. a 5 lts. de agua caliente
- 5 ml/l de solución colorante: - 0.5 grs. de verde bromocresol
- 0.1 grs. de rojo metilo
- 100 ml de etanol 95%.
- Sulfúrico de titulación
- Titulación: - 0.05 Na₂CO₃
- 46 ml. aprox. de agua
- 1 gota de metil orange.

$$\%N = \frac{Gasto - Pb(Normalidad * ft * 1.4007)}{Pmg}$$

P.b. = prueba en blanco

f.t = factor titulador

P.m.g. = peso muestra en gramos

- MACRO Y MICRO ELEMENTOS.

- 1 gr. Muestra seca.
- Calcinación a 500 °C durante 5 hs. en mufla.
- Dilución con 5 ml. de HCl al 20%.
- Llevar a 50 ml. con agua destilada. Agitar.
- Filtrar
- Directamente de la dilución se miden en espectrofotómetro de absorción atómica: **Fe, Zn, Mn y Cu.**

- **K, Ca y Mg:** - 1 ml. de dilución
 - 2.5 ml de SrCl₂ (20000 ppm de Sr). Llevar a 100 ml.
- **FÓSFORO:** - 5 ml de dilución
 - 7 ml. de solución de vanadato
 - llevar a 50 ml.
 - lectura en espectrofotometro (estable por 3 hs.)

REACTIVOS: - Cloruro de Estroncio: 20 grs. SrCl₂ para llevar a 1000 ml.
- Solución de Vanadato

- BORO

1- Método de ajuste de reactivos : Se colocan 0.5 grs. de reactivo granular en un recipiente de níquel de 50 ml. y se calcina a 500°C por 20 minutos. Luego de que enfria, se agrega mientras se va mezclando, 20 ml de agua destilada y 5 ml. de 1/10 N HCl.

2- Reactivos.: -CURCUMINA. Se mezclan 0.04 grs. de curcumina, 5 grs. de ácido oxálico con 100 ml de alcohol al 95%

- ALCOHOL AL 95%. Se agregan 5 ml. de agua destilada a 95 ml. de etanol.
- 1/10 N HCl. A aproximadamente 9 ml de HCl se agrega agua destilada, hasta obtener 1 litro.

- BORO ESTANDAR. Se disuelve ácido bórico en agua destilada hasta obtener 1 litro. En 1 ml. de ésta solución estará contenido 0.5 mg. de boro (500 ppm). Se diluye en 1 litro, 20 ml de ésta solución, por lo que en un ml. contendrá 0.01 mg (10 ppm). Se coloca en un elermeyer de 100 ml, volumen de 0, 5, 4, 6, 8, 10 ml. Se obtendrán pues soluciones de 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, y 1.0 ppm respectivamente.

3- Procedimiento : Luego de haber mezclado la ceniza que ha sido disuelta en el recipiente de níquel, se toma un ml. de la parte superior de la solución una vez que decanto, y se la introduce en un "beaker"(vaso de vidrio). Después de agregar 4 ml. de curcumina, se evapora y se seca a baño Maria de 55+- 3°C. Se precisan

normalmente mas de 2 horas. Después de enfriado se agregan 20 ml. de alcohol al 95%. Se filtran con papel Toyo N° 6. Se lleva a cabo una comparación de colores con el espectrofotometro a 540 mm. Una vez llevado a cabo la evaporación y el secado, es disuelto en alcohol, en menos de 2 horas se podrá llevar a cabo la comparación de colores.

4- Método de cálculo :REACTIVO:0.5 grs.: en el caso de 20 ml. de solución: ppm de boro dentro del reactivo * 40= boro dentro de la hoja .

3.7 – REGISTRO DE TEMPERATURAS

3.7.1- Temperatura ambiente

Se llevó un registro de temperaturas dentro del invernáculo con un minicomputador HOBO H8. Se archivó la temperatura cada una hora, durante las 24 hs. del día en el período comprendido entre el 12/09/00 y 30/10/00.

3.7.2 - Temperatura del sustrato

Por otro lado, con termómetro de mercurio (escala 0- 100), se registró diariamente la temperatura de los sustratos, en el ensayo de emergencia. Dicho registro comenzó el 13/09/00 y concluyó el 14/10/00, cuando cada tratamiento presentó como mínimo en promedio, un 50 % de plantas emergidas.

4- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1- CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS SUSTRATOS.

4.1.1- Características físicas

► *Análisis de la dinámica agua : aire de los sustratos*

• **Densidad aparente**

El gráfico 4.1 y cuadro 4.1, muestra los valores de densidad aparente para cada uno de los sustratos evaluados .

Los resultados revelan que a medida que la proporción de cáscara de arroz carbonizada (CAC) aumenta, en relación al compost, los valores de densidad aparente disminuyen en el sustrato mezcla, comportamiento que también fue visto por Kampf (1995). También se puede ver, que los sustratos que se encuentran dentro de los valores del sustrato "ideal", son 100 % CAC y el comercial.

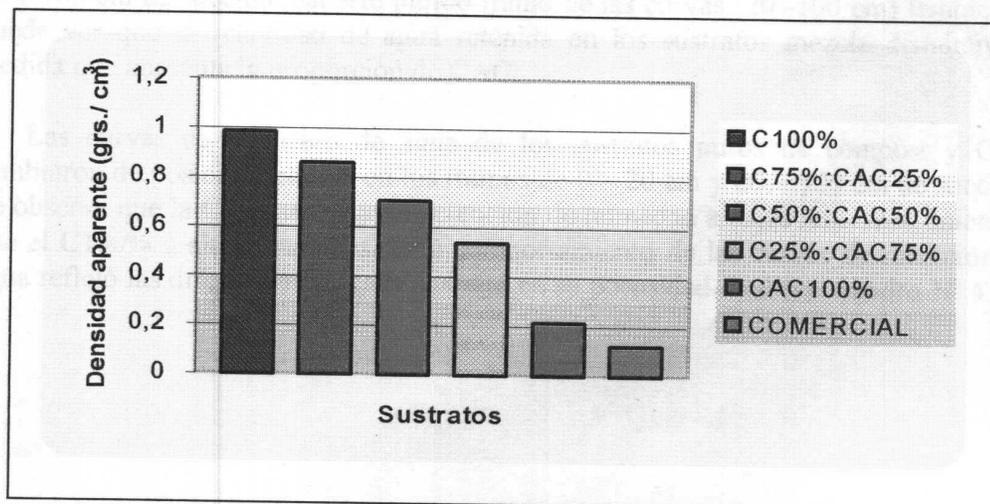


Gráfico 4.1: *Densidad aparente de los sustratos .*

Cuadro N°4.1: *Densidad aparente de los sustratos.*

SUSTRATOS	D. Ap. (grs./cm³)
Compost	0.98
Comp 75%:CAC 25%	0.86
Comp 50%: CAC 50%	0.71
Comp 25%: CAC 75%	0.54
100% CAC	0.21
Comercial	0.12
Valor óptimo (*)	< 0.4

(*): valor óptimo según Abad et al. (1992), citados por Ansorena Miner (1994).

• **Humedad gravimétrica**

El gráfico N° 4.2 muestra las curvas de retención de agua (humedad gravimétrica) de cada sustrato investigado. El procedimiento llevado a cabo para calcular los valores de humedad gravimétrica fue explicado en el punto 3.3.1.

En el gráfico se observa que las diferencias en capacidad de retención de agua entre los sustratos son más marcadas en el rango de 0 y 20 cm de succión que entre 20 y 100 cm de succión. En este último tramo de las curvas (20 -100 cm) también se puede ver que la cantidad de agua retenida en los sustratos mezcla disminuye a medida que aumenta la proporción de CAC.

Las curvas de retención de agua de los sustratos puros de compost y CAC cambiaron de posición relativa en los tramos de 0 – 20 cm y 20 – 100 cm de succión. Se observa que la CAC tuvo mayor retención de humedad a bajas tensiones, mientras que el C100% a altas tensiones. Este comportamiento de las curvas de retención de agua reflejó las diferencias de cada sustrato en su porosidad total (ver cuadro N° 4.2).

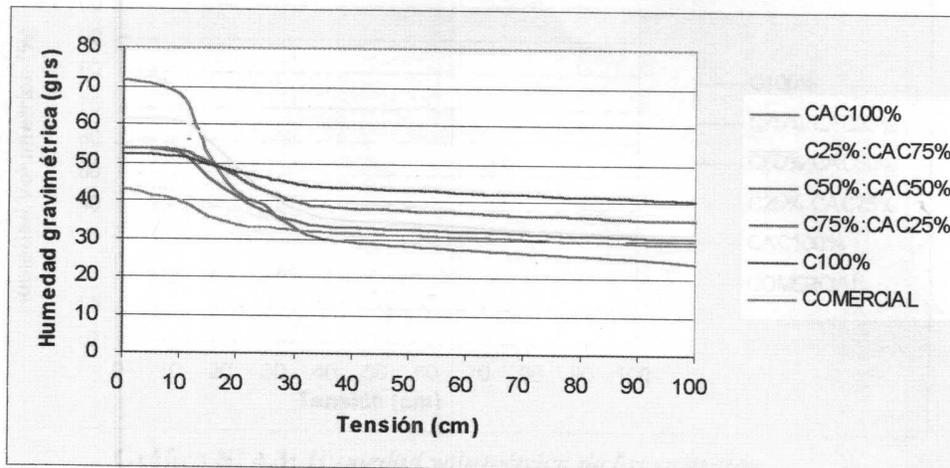


Gráfico N° 4.2: Humedad gravimétrica de los sustratos

El comportamiento que mostró la curva del sustrato comercial no reflejó la capacidad de retención de agua que usualmente caracteriza a estos materiales. Este hecho, conllevó a una crítica del procedimiento llevado a cabo para la preparación de las muestras. En relación a esto, Ballester (1992) y Ansorena Miner (1994), recomiendan no secar las muestras previo a la saturación de las mismas, dado que algunos materiales orgánicos, como turbas y cortezas de pino, son difíciles de humedecer una vez que han sido secadas. Se observó, que las muestras de la turba comercial no lograron la saturación completa, permaneciendo seca la parte superior de las mismas luego de 6 días de espera para la saturación de éstas. Por lo tanto, si no se hubieran secado las muestras del sustrato comercial, los valores de contenido de agua, para el punto de saturación, serían superiores.

- **Humedad volumétrica**

El comportamiento de las curvas en el gráfico N° 4.3, es similar a las del gráfico N° 4.2. El procedimiento tenido en cuenta para crear dicho gráfico, se menciona en el punto 3.3.1.

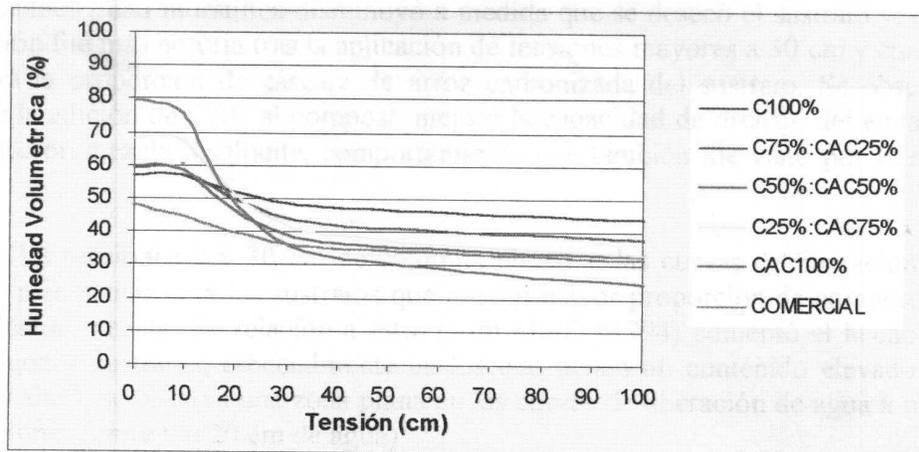


Gráfico N° 4.3: Humedad volumétrica de los sustratos.

• Curvas de liberación de agua

De Bood et al. (1972), citados por Ansorena Miner (1994), propusieron el empleo de la curva de liberación de agua, aplicando tensiones de 10, 50, y 100 cm de succión al sustrato para calcular la distribución de agua y aire. Midiendo el contenido en agua del sustrato tras la aplicación de diferentes succiones, se trazó la curva de liberación de agua, que representa la cantidad de agua contenida en el medio para cada tensión aplicada.

El gráfico N° 4.4, representa una aproximación a la propuesta de De Bood et al., ya que las tensiones empleadas para la creación del mismo fueron 10, 37, y 300 cm de columna de agua. La curva de liberación de agua corta el eje de ordenadas en el valor correspondiente al % de material sólido (diferencia hasta 100 del valor de porosidad total, o contenido de humedad a succión cero).

En el gráfico, se puede ver que a medida que la cantidad de compost aumenta en el sustrato mezcla, la cantidad de agua que libera el sustrato es cada vez menor. Se observó que en los sustratos constituidos con mayor proporción de compost, los valores de humedad, después de las 48 hs de drenado, no fueron modificados sustancialmente, indicando condiciones de máxima retención de agua. Por consiguiente, el agua disponible para las plantas era mantenida por más tiempo, aunque a menores niveles de disponibilidad que el sustrato 100 % CAC, pues éste sustrato fue el que presentó, los mayores valores de humedad después de las 48 hs de drenado. Por lo tanto, el sustrato 100 % CAC, se destacó por presentar el mayor volumen de agua disponible, así como la mayor capacidad para transmitir el agua, es decir mayor conductividad hidráulica, gracias al alto porcentaje de porosidad total que mostró dicho sustrato.

La conductividad hidráulica disminuyó a medida que se desecó el sustrato y, ésta disminución fue más notoria tras la aplicación de tensiones mayores a 30 cm y cuanto menor era la proporción de cáscara de arroz carbonizada del sustrato. Se observó pues, que la adición de CAC al compost, mejoró la capacidad de drenaje del agua en la formulación mezcla resultante, comportamiento que también fue visto por Kämpf (1995).

Entre las tensiones 0 y 30 cm de columna de agua, las curvas de liberación de agua son más planas para los sustratos que poseen mayor proporción de compost en la formulación mezcla. En relación a esto, Oriol Marfá (1994) comentó el hecho de que en algunos sustratos, especialmente en los que tienen un contenido elevado en fracciones finas, se observa una zona plana en las curvas de liberación de agua a muy bajas tensiones (entre 0 y 20 cm de agua).

El punto de corte de la curva del sustrato comercial en el eje de ordenadas, no definió el porcentaje de porosidad total calculado mediante la fórmula referida en el punto 3.3.1. El comportamiento de la curva de liberación de agua del sustrato comercial (turba de Sphagnum) se debió a que la muestra inicial que se empleó para su caracterización física contenía muy bajo nivel de humedad, hecho que dificultó la rehúmedación de este material.

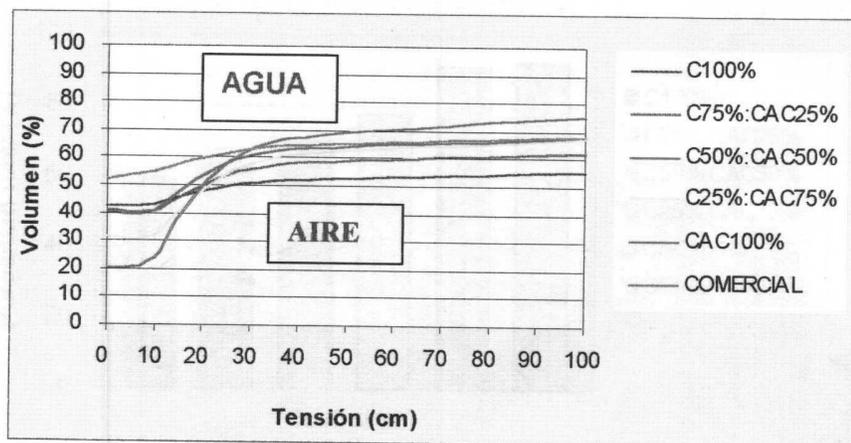


Gráfico N° 4.4: Curvas de liberación de agua de los sustratos.

• Porosidad total

En el siguiente cuadro se pueden ver los valores de porosidad total (%), que presentaron cada uno de los sustratos investigados.

Cuadro N° 4.2: Porcentaje de porosidad total de los sustratos.

Sustratos	Porosidad Total (%)
Comercial	92.33
CAC 100%	91.25
75% CAC: 25% Comp.	77.7
50% CAC: 50% Comp.	70.3
25% CAC: 75% Comp.	64.06
100% Compost	59.16
Valor óptimo (*)	> 85

(*): valor óptimo según Abad et al. (1992), citados por Ansorena Miner (1994).

La información del cuadro N° 4.2 y el gráfico N° 4.5, muestra claramente que a medida que la proporción de CAC fue mayor al compost en los sustratos mezcla, aumentó el porcentaje de porosidad total de los sustratos así formulados. Los sustratos 100 % CAC y la turba comercial fueron los únicos medios de crecimiento que tuvieron valores de espacio poroso total dentro del nivel óptimo, propuesto por Abad et al.(1992), citados por Ansorena Miner (1994).

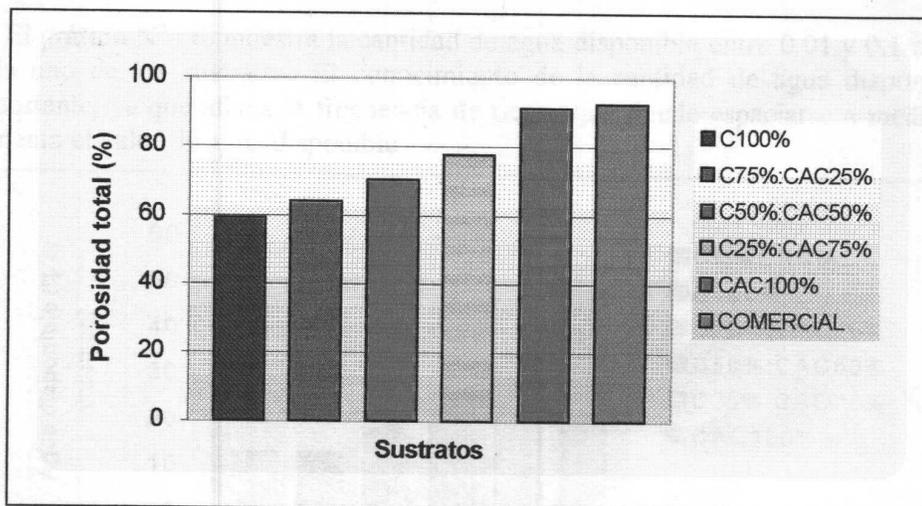


Gráfico N° 4.5: Porosidad total de los sustratos.

En relación al estudio del espacio poroso total, se analizará a continuación el espacio poroso ocupado por aire y por agua.

•Capacidad de agua disponible

En el cuadro N° 4.3, se muestran los valores de porcentaje de humedad en base a

volumen de agua retenida a 10 y 100 cm de succión, y la cantidad de agua disponible de cada uno de los sustratos.

Cuadro N° 4.3: Contenido de agua retenida a 10 y 100 cm de succión y capacidad de agua disponible, de los sustratos.

Sustrato	Humedad a 10 cm (% en volumen)	Humedad a 100 cm (% en volumen)	Agua disponible (% en volumen)
100% Compost	57	44	13
75% Comp: 25% CAC	59	37	22
50% Comp: 50% CAC	59	33	26
25% Comp: 75% CAC	67	33	34
100% CAC	76	22	54
Comercial	45	32	13
Valor óptimo(*)	55 - 70	25 - 31	24 - 40

(*): valor óptimo según Abad et al. (1992), citados por Ansorena Miner (1994).

El cuadro N° 4.3 muestra que los sustratos formulados con un 25 y 50 % de compost presentaron valores de agua disponible óptimos, según Abad et al.(1992), citados por Ansorena Miner (1994).

El gráfico N°4.6, muestra la cantidad de agua disponible entre 0.01 y 0.1 bar para cada uno de los sustratos. El conocimiento de la cantidad de agua disponible es importante, ya que afecta la frecuencia de riego, que puede espaciarse a medida que aumenta el valor de agua disponible.

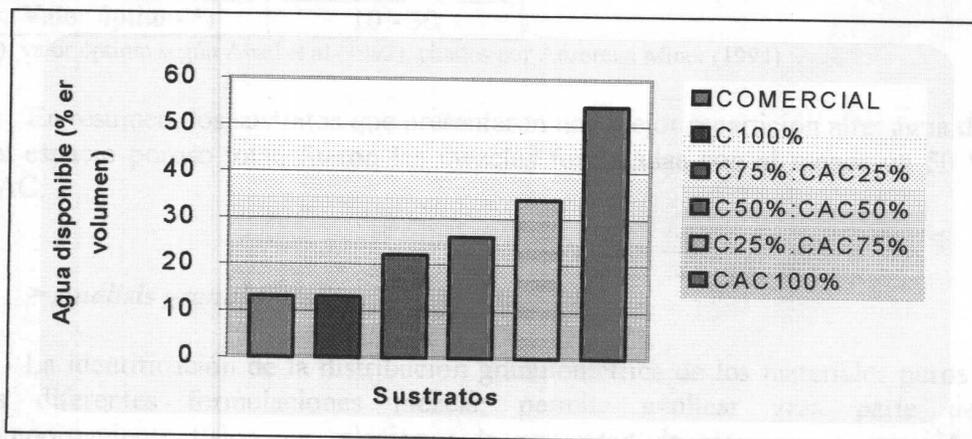


Gráfico 4.6: Agua disponible entre 0.01 y 0.1 bar de los sustratos.

El medio de cultivo que presentó el mayor valor de agua disponible entre 0.01 y 0.1 bar fue el 100 % CAC, y el de menor valor de agua disponible lo mostró el compost puro. Esta diferencia de capacidad de agua disponible, entre los medios de crecimiento se debe a la gran diferencia de porcentaje de porosidad total en éstos

sustratos, 92 % y 59 % para el 100 % CAC y 100% compost, respectivamente (ver cuadro N° 4.2). Sin embargo, el sustrato comercial a pesar de presentar alta porosidad total, similar a la del sustrato 100 % CAC, presentó, en relación a este medio, un contenido de agua disponible muy inferior. Este hecho, se debió a que la turba comercial no logró una saturación completa de las muestras que se utilizaron para el análisis físico de dicho sustrato, por falta de ajuste de la técnica de laboratorio.

•Capacidad de aire

El contenido de aire que presentaron los sustratos 100 % CAC y los formulados con 25 % Compost: 75 % CAC y 50 % Compost: 50 % CAC, presentaron valores óptimos, según Abad et al. (1992), citados por Ansorena Miner (1994) (ver cuadro N° 4.4).

Cuadro N° 4.4: *Porosidad con aire de los sustratos.*

Sustrato	Porosidad con aire (% en volumen)
100% Compost	2.4
75% Comp: 25% CAC	5
50% Comp: 50% CAC	11
25% Comp: 75% CAC	10
100% CAC	16
Comercial	48
Valor óptimo(*)	10 - 30

(*): valor óptimo según Abad et al.(1992), citados por Ansorena Miner (1994).

En resumen, los sustratos que presentaron una mejor repartición aire: agua dentro del espacio poroso total, fueron las mezclas formuladas con al menos un 50 % de CAC.

➤ *Análisis granulométrico*

La identificación de la distribución granulométrica de los materiales puros y de las diferentes formulaciones mezcla, permite explicar gran parte de su comportamiento físico, en relación a la porosidad de aire y a la capacidad de retención de agua.

En el siguiente cuadro se puede ver el tamaño de partícula (%) en base al volumen de cada uno de los sustratos evaluados.

Cuadro N° 4.5: Análisis granulométrico (% de partícula según tamaño, en base a volumen).

Tam. (mm)	Sustratos					
	Comp.100%	Comp.75%	Comp.50%	Comp.25%	CAC100%	Comercial
≥2	20	14.8	17	7.2	—	36
1	26	22	24	17	8	19
0,5	22	22	20	26	21	17
0,25	16	20	18	22	33	14
0,125	8	15	15	19	23.6	9
0,038	7.4	6.2	6	8	11.2	5

Los resultados del análisis granulométrico de los sustratos mezcla, presentados en el cuadro N° 4.5, no muestran una tendencia clara en la distribución de sus tamaños de partículas, al variar la proporción compost:CAC.

La adición de CAC al compost, permitió una reducción de la predominancia de partículas de tamaño grande, y sumado a esto, la baja densidad de aquel material, garantizó en la mezcla resultante un aumento del porcentaje de porosidad total y reducción de la densidad aparente, lo que determinó variaciones en la capacidad de aire y en la capacidad de retención de agua.

El análisis reflejó que la distribución del tamaño de las partículas para los medios 100 % CAC y turba comercial fue inversa, a pesar de su similitud en los valores de porosidad total y densidad aparente; con predominancia porcentual de los tamaños entre 0.5 - 0.125 mm y ≥ 0.5 mm, respectivamente. Este caso, según Ansorena Miner (1994), se explica por el hecho de que en algunos materiales la correlación entre la distribución granulométrica de las partículas y las características físicas, depende de la mayor o menor influencia de determinado tamaño de partícula y la proporción en que se encuentra dicho tamaño de partícula en el medio, o depende de otros factores, tales como, la naturaleza de dichos materiales.

Para los sustratos con mayor proporción de compost, no se vió una relación clara entre las características de comportamiento de dinámica del agua y la distribución de tamaño de partícula. Esto se debió a que las muestras de compost tenían algunos agregados ≥ a 2 mm (terrones), los cuales en la práctica, al entrar en contacto con agua se desintegran en partículas bastante más pequeñas a 2 mm.

4.1.2 - Características químicas

El análisis químico de los sustratos presentado en el cuadro N° 4.6 reveló diferencias importantes entre los sustratos constituidos con alguna proporción de compost, la CAC y el comercial.

De acuerdo Kämpf (2000), citado por Kämpf et al.(2000), el valor de pH correspondiente al sustrato comercial se ubicaría en un rango extremadamente bajo, mientras que el pH de los restantes medios de crecimiento se clasificarían, como extremadamente altos.

Esta diferencia de pH, se reflejó a través de una absorción diferencial de nutrientes por parte de los plantines, especialmente Zn, Fe y Mn y se constató a través del análisis foliar (ver cuadro 4.32).

Cuadro N°4.6 - Análisis químico.

Sustrato	pH	M.O %	C.org %	N.Tot %	C/N	P.Tot %	K.tot %
C100%	7.8	13	8	0.79	10	0.24	0.46
C75%:CAC25%	7.7	14	7	0.74	9	0.21	0.43
C50%:CAC50%	7.7	15	7	0.75	9	0.22	0.42
C25%:CAC75%	7.7	13	7	0.59	12	0.18	0.38
CAC100%	7.2	11	9	0.13	70	0.089	0.14
Comercial	4.4	84	43	0.76	57	0.051	0.21
Sustrato	Ca Tot %	Mg Tot %	Fe Tot. ppm	Mn Tot. ppm	Cu Tot. ppm	Zn Tot ppm	Na meq/100g en acet. Amo
C100%	1.1	0.14	5704	237	12	123	2.58
C75%:CAC25%	1.0	0.13	5179	228	11	109	2.73
C50%:CAC50%	1.0	0.13	4679	223	21	117	2.61
C25%:CAC75%	0.8	0.1	3657	208	7	82	2.04
CAC100%	0.1	0.04	206	184	3	7	0.51
Comercial	1.0	0.58	560	40	8	12	1.08

FUENTE: Laboratorio de suelos y aguas, MGAP.

También se encontró una gran diferencia en el porcentaje de materia orgánica, carbono orgánico y rel. C/N, entre el testigo y los demás sustratos, excepto para el 100 % CAC que presentó alta rel. C/N, junto con la turba comercial, 70 y 57 respectivamente, como se puede ver en los gráficos N° 4.7 y N° 4.8. Las diferencias en porcentaje de materia orgánica pueden ser explicadas por el distinto grado de mineralización del material original, y reflejadas en los diferentes valores de la relación C/N.

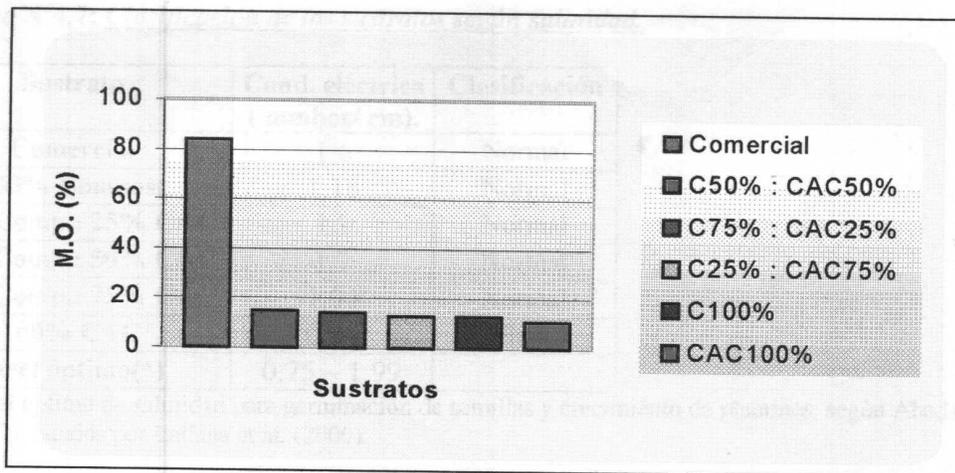


Gráfico N°4.7: Porcentaje de materia orgánica de los sustratos.

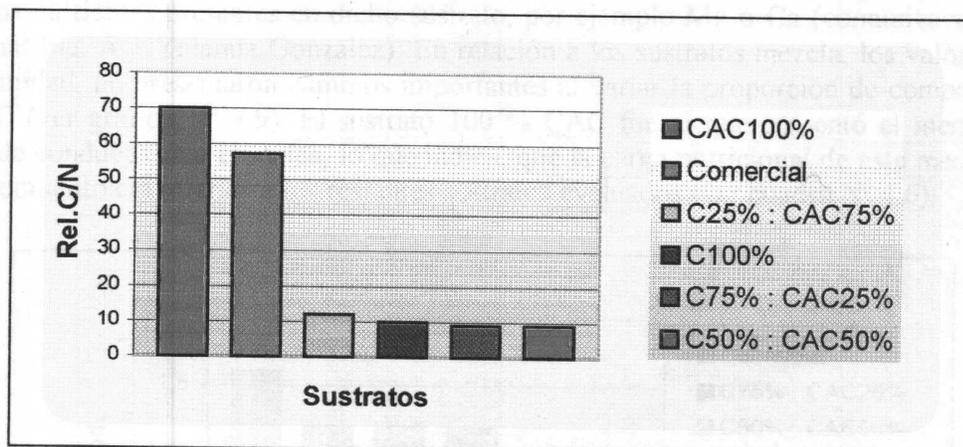


Gráfico N° 4.8: Relación C/N de los sustratos.

El contenido de nutrientes (N, P, K, Fe, Mn, Zn y Na) en los medios con compost fue superior en comparación a los medios comercial y 100% CAC. Cabe señalar el alto contenido de Mg en el sustrato comercial debido a la presencia de vermiculita, (10 % en base a volumen) en la composición del mismo (ver anexos N° 3 al 13).

En relación a la conductividad eléctrica, de acuerdo a Kämpf (2000), citado por Kämpf et al.(2000), los sustratos se clasificaron de la siguiente manera:

Cuadro N°4.7: *Clasificación de los sustratos según salinidad.*

Sustrato	Cond. eléctrica (mmhos/cm).	Clasificación
Comercial	1.6	Normal
100% Compost	1.18	Normal
75% Comp.: 25% CAC	1.2	Normal
50% Comp.: 50% CAC	1.2	Normal
25% Comp.: 75% CAC	1.04	Normal
100% CAC	0.34	Baja
Nivel óptimo(*)	0.75 – 1.99	

(*): nivel óptimo de salinidad para germinación de semillas y crecimiento de plantines, según Abad et al. (1997), citados por Lallana et al. (2000).

El mayor valor de conductividad eléctrica lo presentó el sustrato comercial, valor de salinidad que puede ser debido a la formación de sales por parte de algún o algunos nutrientes presentes en dicho sustrato, por ejemplo Mg o Ca (comunicación personal Ing. Agr. Yolanda Gonzalez). En relación a los sustratos mezcla, los valores de salinidad, no presentaron cambios importantes al variar la proporción de compost y CAC (ver gráfico N° 4.9). El sustrato 100 % CAC fue el que presentó el menor valor de conductividad eléctrica, lo que indica, que la carga nutricional de este medio de crecimiento era inferior a los restantes sustratos evaluados (ver cuadro N° 4.6).

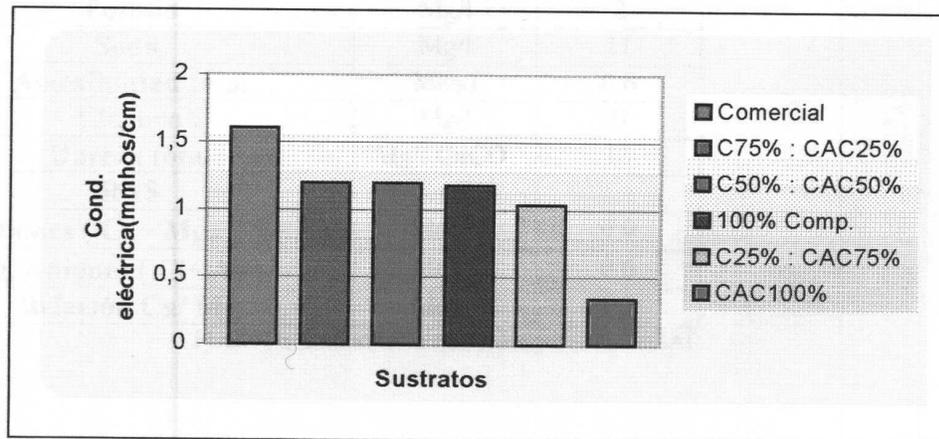


Gráfico N° 4.9: *Valores de cond. eléctrica para los sustratos.*

Para todos los medios de crecimiento, los valores de salinidad se ubicaron dentro del rango óptimo propuesto por Abad et al. (1997), citados por Lallana et al. (2000), excepto el sustrato 100 % CAC, que estuvo por debajo de dicho rango.

4.2 – RESULTADOS DEL ANALISIS DE AGUA

El análisis de agua se interpretó en base a una guía de clasificación de aguas superficiales (ver anexo N° 14). Según esta guía de clasificación, el tipo de agua que se utilizó en el experimento se ubicó dentro de la clase 1, agua con la cual generalmente, no se observan efectos perjudiciales.

Al observar el valor de conductividad eléctrica en el cuadro N° 4.8, se puede afirmar que el agua de riego no presentó problemas de salinidad. A esto se suma que el tomate es un cultivo tolerante a la salinidad, según Ansorena Miner (1994).

Los demás parámetros que se incluyeron en el análisis de agua (pH, alcalinidad, Na, etc.), no implicaron restricciones para su uso, en el riego.

Cuadro N° 4.8: *Resultados del análisis de agua.*

PARAMETRO	UNIDAD	REPORTE
Conductividad eléctrica a 25 °c.	Ms/cm	0.085
Sólidos totales a 105 °c.	Mg/l	284
Reacción (pH)	0 - 14	6
Calcio	Mg/l	4
Magnesio	Mg/l	2
Potasio	Mg/l	2
Sodio	Mg/l	11
Alcalinidad total	Meq/l	0.6
Cloruro	Mg/l	0
Dureza total	Mg/l CaCO ₃	18
RAS	(Meq/l) ^{1/2}	1.1
Σ Cationes (Ca+ Mg+ Na+ K)	Meq/l	0.9
Σ Aniones (Cl+ Alc)	Meq/l	0.6
Relación Ca/ Mg	Meq/l	1.2

FUENTE: Laboratorio de suelos y aguas, MGAP.

4.3 – RESULTADOS DEL ANALISIS DE SEMILLA

El porcentaje de germinación de las semillas de tomate, variedad "Luxor" según la compañía semillerista Petossed fue de 95 %. Este resultado, fue similar al suministrado por el Instituto Nacional de Semillas (INASE), que determinó un 94% de germinación.

4.4- ANALISIS DE LA EMERGENCIA

En este punto se discuten los resultados del porcentaje de emergencia y de la tasa de emergencia ocurridos en los sustratos estudiados.

El análisis de varianza del *porcentaje de emergencia* se realizó día a día, a partir del 29/9/00, 17 DDS (días desde la siembra), hasta el 13/10/00 (31 DDS), momento en el cual, todos los tratamientos presentaron alguna planta emergida (ver anexo N° 15). En el ANAVA se observa que las diferencias estadísticas entre las medias de los sustratos, van cambiando el ranking de las mismas hasta los 24 DDS, momento a partir del cual el ordenamiento permanece incambiado, no existiendo diferencias significativas entre las medias, salvo con el compost puro. Sin embargo, a pesar de no existir diferencias significativas a los 25 y 31 DDS entre los sustratos constituídos con al menos 25 % de CAC y el comercial, las diferencias fueron importantes desde el punto de vista biológico. Se observa que los sustratos comercial y CAC100% presentaron alrededor de un 20 % más de plántulas emergidas en comparación a las formulaciones mezcla, debido a las mejores condiciones físicas que tuvieron aquellos, particularmente en porosidad total (ver cuadro N° 4.9).

En el gráfico N° 4.10 se observa que hasta los 20 DDS la emergencia de las plántulas en los sustratos con compost presentó un marcado retraso, especialmente en los formulados con más de 25 por ciento. Sin embargo, a partir de los 24 DDS, el porcentaje de emergencia de los sustratos compuestos con hasta 75 % de compost fue similar y muy distinto al compost puro.

Cuadro N° 4.9: *Porcentaje de emergencia según sustrato, por día después de la siembra.*

DDS	Sustrato	Promedio emergencia (%)
17	CAC 100%	82,93 A
	Comercial	53,36 B
	C25% : CAC75%	25 C
	C50% : CAC50%	6,0 D
	C75% : CAC 25%	2,88 D
	C100%	0,96 D
20	CAC 100%	85,577 A
	Comercial	72,6 A
	C25% : CAC75%	36,05 B
	C75% : CAC 25%	22,36 CB
	C50% : CAC50%	13,46 C
	C100%	6,73 C
24	CAC 100%	90,86 A
	Comercial	88,9 A
	C75% : CAC 25%	70,19 BA
	C25% : CAC75%	66,1 BA
	C50% : CAC50%	61,54 BC
	C100%	36,1 C
25	Comercial	91,34 A
	CAC 100%	89,4 A
	C75% : CAC 25%	71,11 A
	C25% : CAC75%	68 A
	C50% : CAC50%	66,83 A
	C100%	38,7 B
31	Comercial	94,47 A
	CAC 100%	91,1 A
	C75% : CAC 25%	79,33 A
	C25% : CAC75%	77,64 A
	C50% : CAC50%	75,48 A
	C100%	52,16 B

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

En el cálculo de la *tasa de emergencia* que mostró cada sustrato, se consideró el número de días necesarios para alcanzar un 50 % de plantas emergidas. La tasa de emergencia que presentaron los diferentes medios investigados, se puede ver en el cuadro N° 4.10.

Cuadro N° 4.10: Tasa de emergencia según sustrato.

Sustrato	N° DDS con 50 % pl. emerg. (N)	Tasa de emergencia (N ⁻¹)
CAC100%	12	0.083
Comercial	17	0.06
C25%:CAC75%	22	0.045
C75%:CAC25%	23	0.043
C50%:CAC50%	24	0.041
C100%	29	0.034

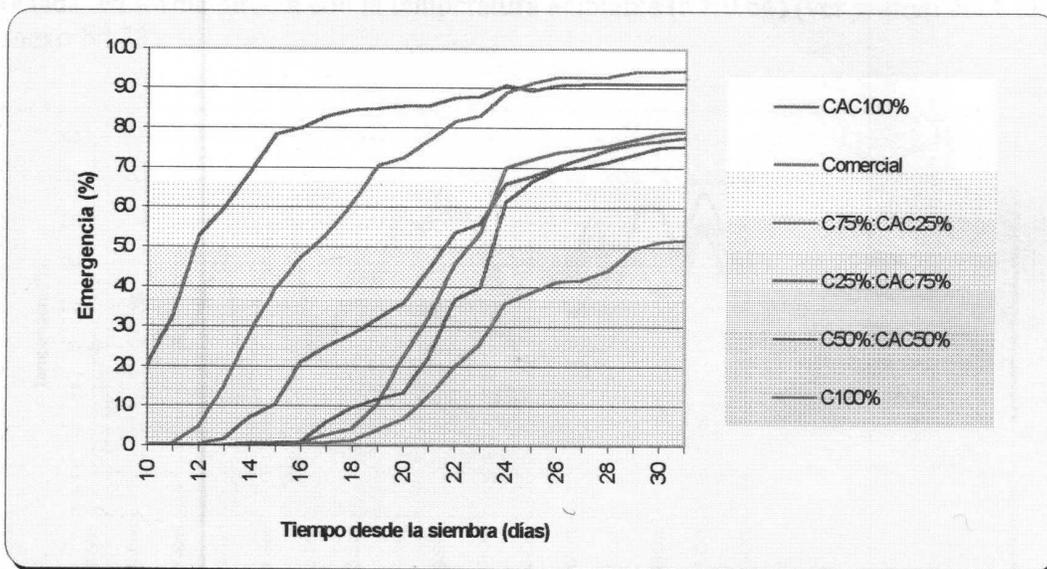


Gráfico N° 4.10: Porcentaje de emergencia según sustrato.

A continuación se discuten los principales factores involucrados durante la etapa de emergencia (temperatura, disponibilidad de agua y oxígeno).

El sustrato constituido con 100 % de CAC, fue el medio que presentó la mayor tasa de emergencia, dada su mayor capacidad de retener agua a capacidad de contenedor (ver cuadro N° 4.2). La capacidad de retención de agua que presentaron los distintos medios fue uno de los factores que determinó una respuesta diferencial tanto en el número de plantas emergidas, como en la tasa o velocidad de emergencia.

Otro factor que también pudo afectar diferencialmente la germinación de las semillas, fue la temperatura, especialmente, la temperatura del sustrato. En relación a éste factor, se constató a través del ANAVA que existieron diferencias significativas entre las temperaturas promedio que alcanzaron los distintos medios de cultivo, a las 12:00 PM (ver anexo N° 27). Pero, a pesar de existir diferencias estadísticas, la

correlación entre la temperatura de los sustratos y el número de plantas emergidas en cada sustrato, no fue significativa (ver anexo N° 32). Las diferencias entre las temperaturas de los sustratos, pudieron influir sobre la velocidad de los procesos metabólicos y por tanto, sobre la tasa de emergencia de los plantines de tomate (ver gráfico N° 4.10).

El análisis de varianza de las temperaturas de sustrato, mostró que las temperaturas menores (30.5 °C) se registraron en los medios comercial y 100 % de CAC y las superiores (32.5 °C), en los medios compuestos con 25, 50, 75 y 100 % de compost (ver anexo N° 27). Se constató que la temperatura del sustrato estuvo asociada en forma directa con la temperatura ambiente ($r > 0.64$) (ver gráfico N° 4.11 y anexo N° 33).

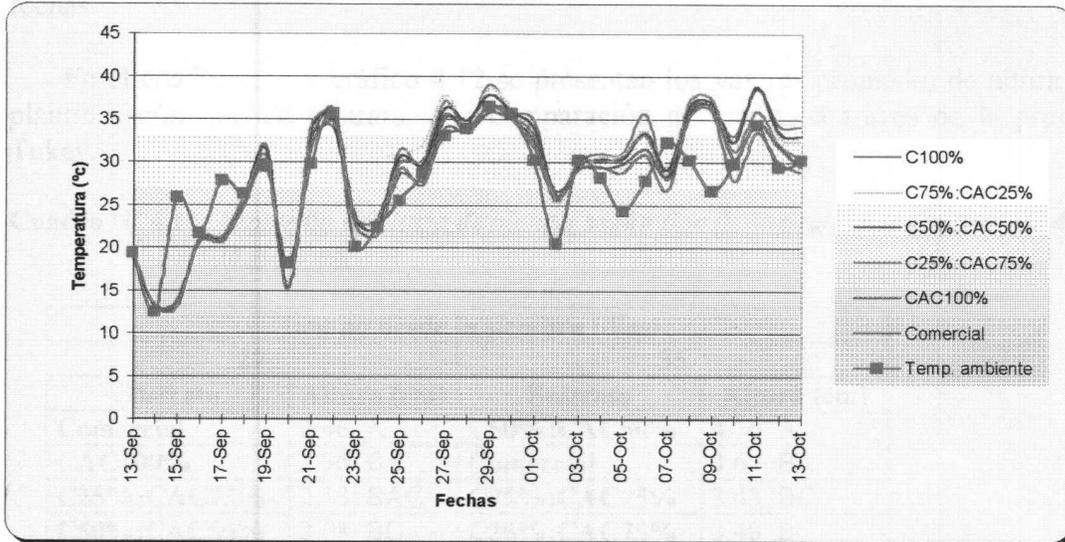


Gráfico N° 4.11: Evolución diaria de la temperatura en cada sustrato y de la temperatura ambiente.

El último factor, también esencial para la germinación, es el oxígeno, especialmente para la germinación de semillas de tomate, según Chamarro Lapuerta (1995). Según este investigador, la carencia de oxígeno afecta gravemente el porcentaje de germinación. Esta observación es coincidente con los resultados del ensayo, ya que el medio con menor porosidad de aire (ver cuadro N° 4.3) fue el sustrato puro de compost, que se caracterizó por presentar el menor porcentaje de germinación.

4.5- ENSAYO DE CRECIMIENTO.

4.5.1- Variables de crecimiento

- *Altura*

Los anexos 16 y 17 presentan el análisis estadístico realizado para la variable altura. En los ANAVA se observa que existió efecto de "sustrato" y este influyó de manera importante durante todo el periodo del experimento, debido a que presentó alto nivel de significancia en las cuatro fechas en que se midió la característica altura de plantín. Asimismo, del ANAVA realizado para las fechas de medición posteriores a los 35 DDS (ver anexo N° 17) se vio que no hubo efecto significativo de la interacción, mientras que el nivel de fertilización fue significativo en las dos últimas fechas.

En el cuadro 4.11 y gráfico 4.12 se presentan los valores promedio de altura de plantín según tipo de sustrato, con comparación de medias a través de la prueba Tukey.

Cuadro N° 4.11: Promedio de altura de plantín según tipo de sustrato, por día después de la siembra.

Tiempo desde la siembra (días)			
27		35	
Sustrato	Altura (cm)	Sustrato	Altura (cm)
Comercial	2.46 A	C50%:CAC50%	4.16 A
CAC100%	2.36 BA	Comercial	3.6 BA
C25%:CAC75%	2.13 BAC	C75%:CAC25%	3.48 BC
C50%:CAC50%	2.08 BC	C25%:CAC75%	3.48 BC
C75%:CAC25%	1.89 C	C100%	3.02 BC
C100%	1.88 C	CAC100%	2.96 C
Tiempo desde la siembra (días)			
41		48	
Sustrato	Altura (cm)	Sustrato	Altura (cm)
C50%:CAC50%	11.03 A	C50%:CAC50%	17.48 A
C25%:CAC75%	9.44 BA	C25%:CAC75%	16.09 A
C75%:CAC25%	7.96 B	C75%:CAC25%	12.28 B
C100%	5.42 C	C100%	8.22 C
Comercial	5.16 C	Comercial	7.73 C
CAC100%	4.19 C	CAC100%	5.93 C

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

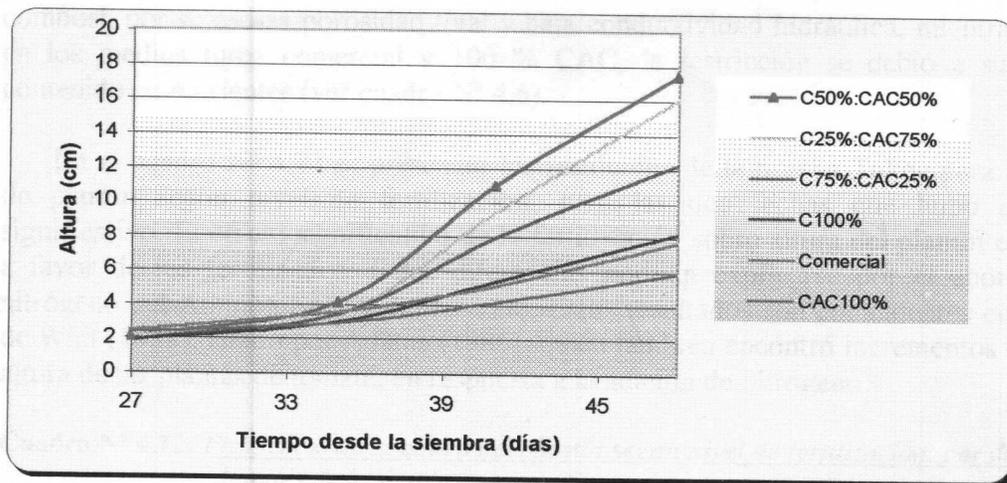


Gráfico N° 4.12: Evolución de la altura promedio del plantín según sustrato.

En la primer fecha de medición de altura de plantín, la mejor respuesta vegetal se reflejó en los medios de crecimiento turba comercial, 100 % CAC y 25%C:75%CAC. Los medios con peor comportamiento fueron los constituídos con 75%C:25%CAC y 100 % C.

A partir de los 35 días de la siembra, se constataron cambios importantes en el orden de ubicación de los sustratos. El sustrato puro de CAC pasó de estar en segundo lugar en la primer fecha, a último lugar. En tanto, la formulación mezcla 50%C:50%CAC ascendió tres lugares, desde su ubicación previa (ver gráfico N° 4.12). El incremento importante de altura registrado a los 35 días de la siembra podría explicarse, por un lado, a que en dicho momento se comenzaron a registrar aumentos significativos en la temperatura ambiente (ver Anexo N° 2) y por otro lado, pudo deberse a la colocación de un sombrite sobre el ensayo, a los 37 días de la fecha de siembra. Este fenómeno también fue visto por Minami (1989) al observar que una disminución de la intensidad luminosa a la mitad de lo normal, a altas temperaturas, provocó un aumento de cerca de un 25 % de crecimiento vegetativo. Otra razón que podría explicar este incremento de altura a partir de los 35 DDS, fue la aplicación más concentrada de Aminon Solo a los 37 DDS.

Entre las dos últimas fechas de registro, no se constataron cambios de comportamiento entre los sustratos. Se observó que los valores superiores lo presentaron los medios de crecimiento 50%C:50%CAC y 25%C:75%CAC. La mezcla fomulada con un 75 % de compost tuvo un comportamiento intermedio, mientras que los sustratos 100 % C, 100 % CAC y la turba comercial fueron los medios que proporcionaron plantines de alturas inferiores a los demás sustratos. El crecimiento de la altura de los plantines se vio limitado en el caso del sustrato puro de

compost, por su escasa porosidad total y baja conductividad hidráulica, mientras que en los medios turba comercial y 100 % CAC, la restricción se debió a su bajo contenido en nutrientes (ver cuadro N° 4.6).

En el cuadro N° 4.12 se presentan los resultados de la prueba Tukey para altura de plantín según nivel de fertilización, para las dos fechas que hubo efecto significativo. El efecto significativo de la fertilización sobre altura del plantín estuvo a favor de los fertilizados. Estas diferencias podrían explicarse por el aporte de nitrógeno del Aminon Solo y del sustrato. Estos resultados son coincidentes con los de Whit (1938), citado por Adams (1986), quién también encontró incrementos en la altura de las plantas de tomate, en respuesta a la adición de nitrógeno.

Cuadro N° 4.12: Promedios de la altura del plantín según nivel de fertilización, por día después de la siembra.

Tiempo desde la siembra (días).			
41		48	
Nivel de fertilización	Altura (cm)	Nivel de fertilización	Altura (cm)
Con fertilización	7.70 A	Con fertilización	12.86 A
Sin fertilización	6.70 B	Sin fertilización	9.72 B

Medias con distinta letra, presentan diferencias significativas ($P < 0.05$).

A pesar de que no hubo efecto significativo de la interacción se consideró de interés analizar las medias de cada sustrato con y sin fertilización. Las mismas se presentan en el cuadro N° 4.13 y corresponden al último registro de la variable en cuestión.

Cuadro N° 4.13: Altura del plantín según sustrato y nivel de fertilización, a los 48 DDS.

Sustrato	Altura (cm)	
	Con fertilización	Sin fertilización
CAC100%	7.37	4.48
Comercial	9.729	5.739
C100%	9.427	7.015
C75% : CAC25%	13.927	10.637
C25% : CAC75%	18.364	13.833
C50% : CAC50%	18.354	16.625

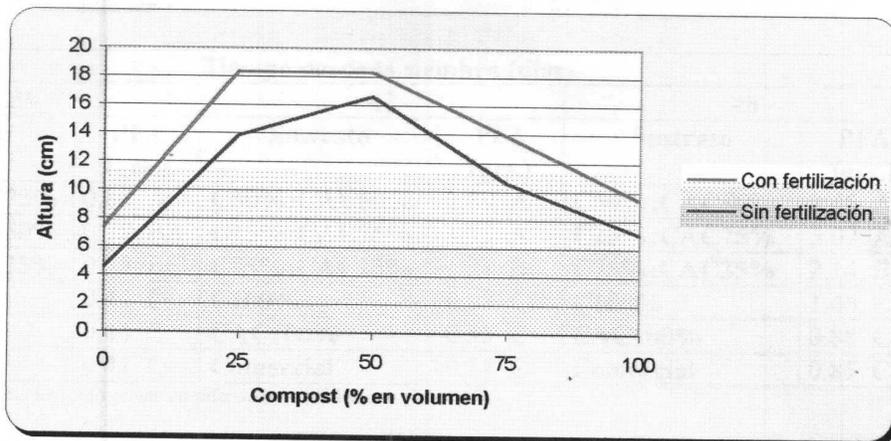


Gráfico N° 4.13: *Altura del plantín (con y sin fertilización), a los 48 DDS, según porcentaje de compost en la formulación mezcla (compost : CAC).*

En el gráfico N° 4.13 se visualizan claramente las diferencias en altura según porcentaje de compost en la formulación mezcla y entre niveles de fertilización (con y sin fertilización). También se observa que las alturas mayores se lograron en los medios compuestos con un 25 y 50 % de compost, los cuales presentaron tanto características físicas y químicas más adecuadas en forma conjunta, no siendo así al respecto, en los demás sustratos. Las alturas menores se registraron en los medios compuestos con más de 75 % de compost y en el 100% CAC. El crecimiento del plantín se encontró limitado en los sustratos con más de 75 % de compost debido a su escasa porosidad total y conductividad hidráulica, mientras que en el 100% CAC las restricciones se presentaron a causa de su pobre carga nutricional y por tanto, baja CIC, propiedad que se reflejó en una respuesta muy escasa a la fertilización (ver gráfico N° 4.13).

• ***Peso fresco aéreo.***

En el análisis de varianza se observó que existieron efectos muy significativos de "tipo de sustrato" y "nivel de fertilización" sobre el PFA (peso fresco aéreo) del plantín, en los tres momentos evaluados. No se constató efecto de la interacción "sustrato*fertilización", lo que indica que ambas fuentes de variación actuaron de manera independiente (ver anexo N° 18).

En el cuadro 4.14 se presentan los resultados del test de Tukey para PFA, en función de los sustratos evaluados.

Cuadro N° 4.14: Promedios de PFA del plantín, según sustrato, por día después de la

siembra.

Tiempo desde la siembra (días)					
36		42		48	
Sustrato	PFA (grs.)	Sustrato	PFA (grs.)	Sustrato	PFA (grs.)
C25%:CAC75%	0.89 A	C50%:CAC50%	1.89 A	C50%:CAC50%	3.45 A
C50%:CAC50%	0.75 BA	C25%:CAC75%	1.73 A	C25%:CAC75%	3.02 A
C75%:CAC25%	0.55 BC	C75%:CAC25%	1.21 B	C75%:CAC25%	2.14 B
C100%	0.44 C	C100%	0.93 CB	C100%	1.46 CB
Comercial	0.44 C	CAC100%	0.55 C	CAC100%	0.88 C
CAC100%	0.41 C	Comercial	0.51 C	Comercial	0.85 C

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

Los medios formulados con 50%C:50%CAC y 25%C:75%CAC, fueron los medios dónde los plantines lograron los mayores valores promedio de PFA, mientras que aquellos que crecieron en los medios 75%C:25%CAC y 100 % C presentaron valores intermedios. Los plantines que crecieron en los medios comercial y 100 % CAC registraron los valores inferiores para la variable en cuestión (ver gráfico N° 4.14).

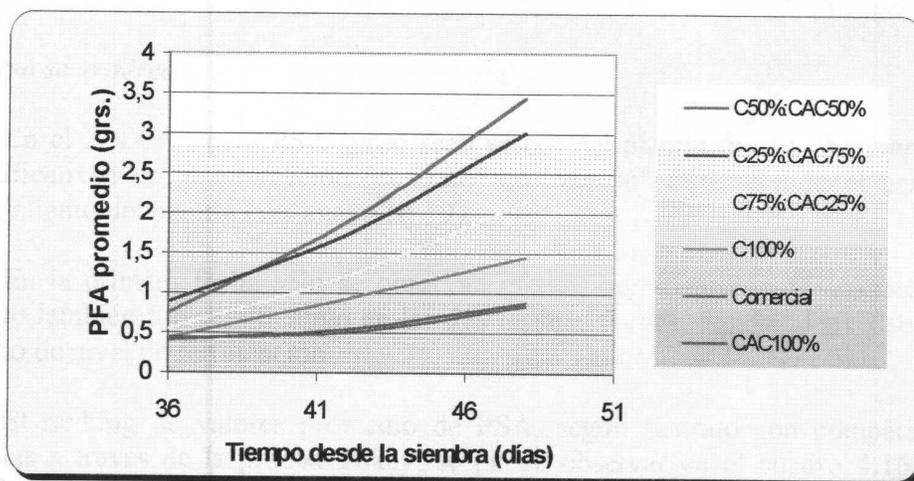


Gráfico N° 4.14: Evolución del peso fresco aéreo del plantín según sustrato.

Los resultados reflejaron que, tanto las propiedades físicas como las químicas de los medios de cultivo, determinaron durante todo el período del experimento, los valores de PFA de plantín. Los mayores valores de PFA se lograron en medios dónde la propiedades físicas estuvieron dentro de los niveles aceptables, citados por Ansorena Miner (1994) y cuyo contenido de nutrientes fue mayor a los demás medios de cultivo.

El ranking de los sustratos a partir de los 48 días de la siembra fueron muy similares en los estimadores de crecimiento altura y PFA, así como las diferencias estadísticas entre los valores promedio de cada variable. Esto se reflejó en una correlación alta y positiva entre ambas variables ($r = 0.91$) (ver anexo N° 31).

El ranking de valores promedio de PFA de plantín, según nivel de fertilización se puede observar en el cuadro N° 4.15. Este ranking fue idéntico al que se dio para la variable altura del plantín.

Cuadro N° 4.15: Promedios de PFA del plantín según nivel de fertilización, por día después de la siembra.

Tiempo desde la siembra (días).					
36		42		48	
Nivel de fertilización	PFA (grs.)	Nivel de fertilización	PFA (grs.)	Nivel de fertilización	PFA (grs.)
Con fertilización	0.63 A	Con fertilización	1.35 A	Con fertilización	2.5 A
Sin fertilización	0.52 B	Sin fertilización	0.92 B	Sin fertilización	1.4 B

Medias con distinta letra, presentan diferencias significativas ($P < 0.05$).

• **Peso seco aéreo**

En el ANAVA para PSA (peso seco aéreo) del plantín, no se observan efectos significativos de la interacción "sustrato*fertilización" durante todo el periodo de crecimiento del plantín (ver anexo N° 19).

En la primera fecha sólo se observan efectos significativos de sustrato. Dicho efecto también fue significativo en las dos últimas fechas, donde además se observa efecto de nivel de fertilización.

El ranking de valores promedio de PSA, según sustrato con comparación de medias a través de la prueba Tukey, se puede observar en el cuadro 4.16 y en el gráfico N° 4.15:

Cuadro N° 4.16: Promedios de PSA del plantín según sustrato, por día después de la siembra.

Tiempo desde la siembra (en días)					
36		42		48	
Sustrato	PSA (grs.)	Sustrato	PSA (grs.)	Sustrato	PSA (grs.)
C25%:CAC75%	0.067 A	C50%:CAC50%	0.15 A	C50%:CAC50%	0.32 A
C50%:CAC50%	0.052 BA	C25%:CAC75%	0.15 A	C25%:CAC75%	0.27 AB
Comercial	0.042 BA	C75%:CAC25%	0.10 B	C75%:CAC25%	0.23 B
CAC100%	0.037 B	C100%	0.08 CB	C100%	0.14 C
C75%:CAC25%	0.03 B	CAC100%	0.053 C	Comercial	0.09 C
C100%	0.025 B	Comercial	0.051 C	CAC100%	0.087 C

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

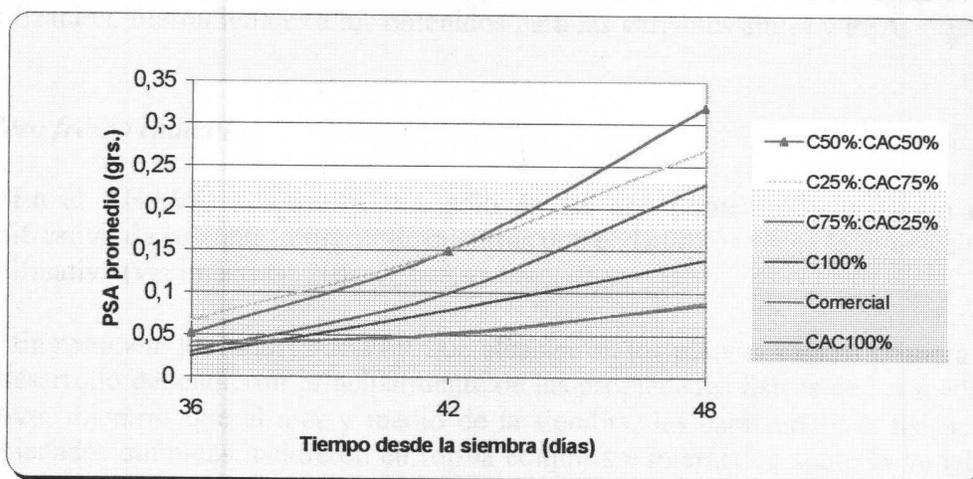


Gráfico N° 4.15: Evolución del peso seco aéreo del plantín según sustrato.

Al observar en los cuadros N° 4.14 y N° 4.16 el orden en que se ubicó cada sustrato según los correspondientes valores promedio de PFA y PSA, se puede ver que fueron muy similares.

Se encontró una correlación alta y positiva entre las variables altura y PSA, a los 48 días de la siembra ($r = 0.92$) (ver anexo N° 31). Entre tanto, Rothman et al. (2000) encontró una correlación igual a 0.72 entre éstas variables, aunque la misma se determinó a los 29 días después de la siembra.

El efecto de fertilización sobre la característica PSA del plantín se constató a partir de los 42 días de la siembra, y se mantuvo hasta que finalizó el experimento.

En el cuadro 4.17 se presentan las medias de PSA para ambos niveles de fertilización (con y sin fertilización).

Cuadro N° 4.17: Promedios de PSA del plantín según nivel de fertilización, por día después de la siembra.

Tiempo desde la siembra (días)			
42		48	
Nivel de fertilización	PSA (grs.)	Nivel de fertilización	PSA (grs.)
Con fertilización	0.11 A	Con fertilización	0.23 A
Sin fertilización	0.08 B	Sin fertilización	0.15 B

Medias con distinta letra, presentan diferencias significativas ($P < 0.05$).

Los resultados de la prueba de comparación de medias de PSA, según nivel de fertilización, fueron iguales a los obtenidos para las variables altura y PFA.

• ***Peso fresco radicular.***

En el ANAVA se observa que sólo en las dos primeras fechas hubo efecto significativo de sustrato, sobre PFR, mientras que en la última fecha la interacción fue significativa (ver anexo N° 20).

En resumen, los valores de PFR que alcanzaron los plantines en su primera etapa de desarrollo dependieron principalmente de las propiedades físicas de los medios de cultivo, mientras que al mes y medio de la siembra, las características físicas y las propiedades químicas incidieron en forma conjunta e interactiva sobre la variable en cuestión.

La prueba de comparación de medias de PFR, según tipo de sustrato, para los momentos en que dicho efecto fue significativo, se puede ver en el cuadro N° 4.18.

Cuadro N° 4.18: Promedios de PFR del plantín según sustrato, por día después de la siembra.

Tiempo desde la siembra (días)			
36		42	
Sustrato	PFR (grs.)	Sustrato	PFR (grs.)
CAC100%	0.541 A	C25%:CAC75%	0.67 A
Comercial	0.539 A	CAC100%	0.48 BA
C25%:CAC75%	0.49 BA	Comercial	0.42 BA
C50%:CAC50%	0.36 BC	C75%:CAC25%	0.416 BA
C75%:CAC25%	0.22 D	C50%:CAC50%	0.413 BA
C100%	0.16 D	C100%	0.279 B
C.V.(%)	28.37	C.V.(%)	42.16

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

La prueba de comparación de medias de PFR presentada en el cuadro N° 4.18 muestra claramente la fuerte influencia de las propiedades físicas de los sustratos sobre la variable en cuestión. En relación a esto, se vió que en los medios con mayor porcentaje de porosidad total, los plantines alcanzaron mayores valores de PFR, en comparación a los plantines que crecieron en medios con escasa porosidad total (ver cuadro N° 4.1). Luego, a partir de los 42 días de la siembra, las medias de PFR según tipo de sustrato, no fueron significativamente diferentes entre sí, excepto entre los medios C25%:CAC75% y C100%. Esta menor diferenciación entre los sustratos, comienza a reflejar la importancia de las propiedades químicas de los mismos, ya que un buen crecimiento radicular también depende del crecimiento aéreo, de la acumulación de materia seca foliar, la cual es dependiente del nivel de nutrientes del medio de cultivo. Todo esto queda en evidencia en el ANAVA de la última fecha, momento en el cual aparece efecto de interacción "sustrato*fertilización".

En el cuadro N° 4.19 se presenta la prueba de comparación de medias para cada combinación sustrato – nivel de fertilización (ver anexo N° 28).

Cuadro N° 4.19: PFR del plantín según sustrato y nivel de fertilización a los 48 días de la siembra.

Sustrato	PFR (grs.)	
	Con fertilización	Sin fertilización
C100%	0.61 CDE	0.53 DE
C75% : CAC 25%	0.833 C	0.81 CD
C50% : CAC 50%	0.863 BC	1.145 AB
C25% . CAC 75%	0.68 CDE	1.28 A
CAC100%	0.63 CDE	0.496 E
Comercial	0.6 CDE	0.468 E

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

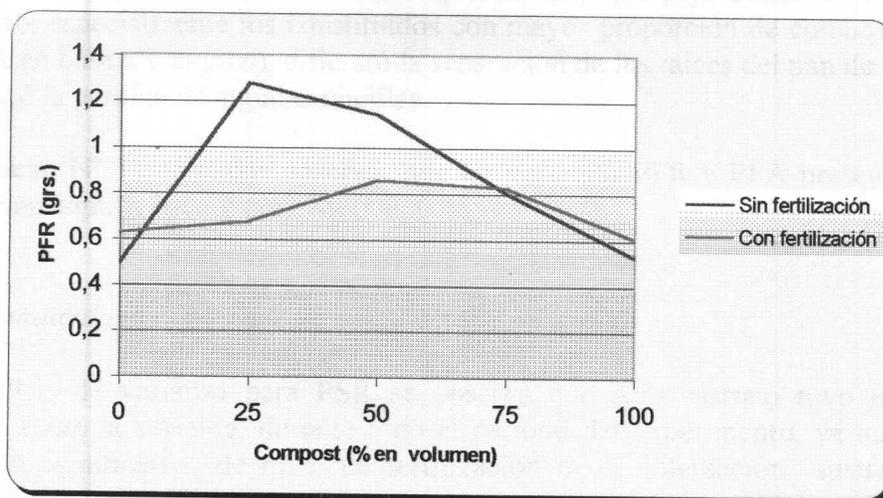


Gráfico N° 4.16: PFR del plantín (con y sin fertilización), a los 48 días de la siembra, según % de compost en la formulación mezcla (compost : CAC).

En el gráfico 4.16 se observa el efecto del nivel de fertilización junto con el tipo de sustrato (desde 0 % de compost hasta 100 % de compost), sobre los valores de PFR del plantín. Los valores de PFR con fertilización, a los 48 días de la siembra, no difirieron estadísticamente entre sí, mientras que los no fertilizados presentaron diferencias estadísticas significativas, resultando superiores en los sustratos constituidos entre un 25 y 50 % de CAC. También se constató que no existieron diferencias significativas entre los valores de PFR que lograron los plantines fertilizados y no fertilizados para un determinado medio de cultivo, con excepción de la mezcla formulada con 25 % de compost y 75 % de CAC. En este medio de cultivo los valores de PFR de plantines no fertilizados fueron mayores y significativamente diferentes a los valores de dicho parámetro de crecimiento, de plantines fertilizados.

Es importante destacar el alto coeficiente de variación (42.16 %) que se obtuvo para PFR lo que pudo ser debido a determinadas condiciones de manejo bajo las cuales se llevó a cabo el experimento (ver cuadro N° 4.17). Entre éstas condiciones cabe mencionar:

- El repique a dos cotiledones, el cual se realizó solamente ante la detección de no emergencia de las semillas, o muerte de las plantitas recién emergidas. Por tanto, aquellas plantas que emergieron sin ningún problema, no fueron repicadas. La práctica de repicar, puede romper la dominancia apical de la raíz, y estimular así, el crecimiento de las raíces laterales (Imparatta, 1992). La presencia de plantas repicadas y no repicadas, dentro de un tratamiento en particular, pudo determinar en parte el alto coeficiente de variación de los datos de PFR del plantín.

- En segundo lugar, el hecho de haber empleado sustratos cuyo material fue muy compacto, especialmente los constituidos con mayor proporción de compost (75 y 100 % en base a volumen), dificultó la separación de las raíces del pan de tierra y provocó la pérdida de algunas raicillas.

En el anexo N° 31 se puede observar que las variables PFR y PFA presentaron una correlación significativa y positiva ($r = 0.485$).

• **Peso seco radicular**

Del análisis de varianza para PSR se observa que sólo sustrato tuvo efecto significativo sobre la variable, durante todo el período del experimento, ya que no existió efecto significativo de nivel de fertilización ni de interacción “sustrato * fertilización” (ver anexo N° 21).

En el cuadro N° 4.20 y en el gráfico N° 4.17 se presentan los resultados de la prueba Tukey para PSR, en función del sustrato empleado.

Cuadro N° 4.20: Promedios de PSR del plantín según sustrato, por día después de la siembra.

Tiempo desde la siembra (días)					
36		42		48	
Sustrato	PSR (grs.)	Sustrato	PSR (grs.)	Sustrato	PSR (grs.)
C25%:CAC75%	0.035 A	C25%:CAC75%	0.041 A	C25%:CAC75%	0.07 A
CAC100%	0.021 B	C50%:CAC50%	0.03 BA	C50%:CAC50%	0.06 BA
C50%:CAC50%	0.020 B	C75%:CAC25%	0.021 B	C75%:CAC25%	0.04 BC
Comercial	0.017 B	CAC100%	0.02 B	C100%	0.028 DC
C75%:CAC25%	0.011 B	Comercial	0.016 B	CAC100%	0.0193 D
C100%	0.010 B	C100%	0.015 B	Comercial	0.019 D
C.V (%)	46.57	C.V (%)	45.55	C.V (%)	38.37

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

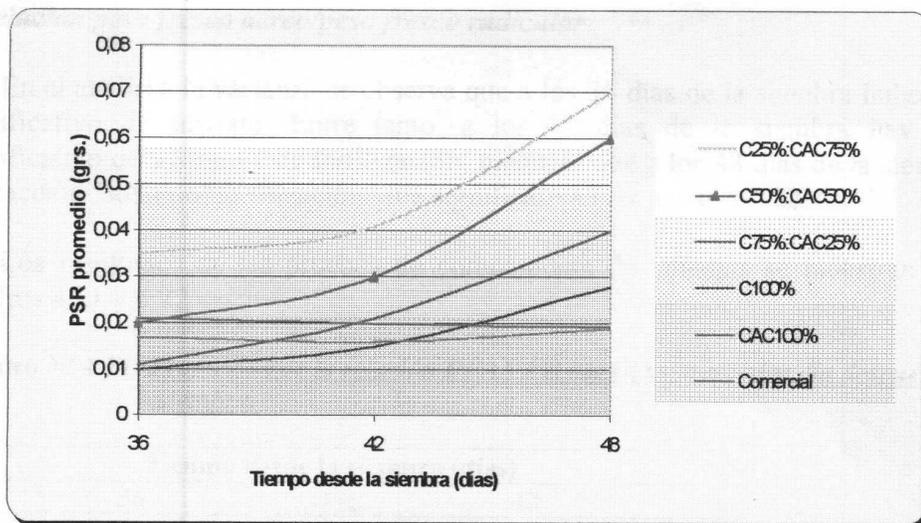


Gráfico N° 4.17: Evolución del PSR del plantín según sustrato.

En el cuadro N° 4.20, se puede ver que a los 36 días de la siembra, los valores promedio de PSR de los plantines que crecieron en los medios constituídos con 25 % de compost y 75 % de CAC, en base a volumen, difirieron estadísticamente con los valores promedio de PSR que lograron los plantines en los demás sustratos, siendo las diferencias de las medias en estos últimos, no significativas entre sí. A los 42 y 48 días de la siembra, el orden que tomaron los sustratos, según valor promedio de PSR, fue similar. Asimismo, en la última fecha queda claro que a medida que aumenta la proporción de compost, disminuye en forma gradual el PSR.

Al igual que en la variable PFR se obtuvieron altos coeficientes de variación para los PSR. Otra causa que también puede explicar el alto coeficiente de variación fue la imposibilidad de detectar el peso de raíces muy pequeñas, debido a que se trabajó con una balanza de precisión de 0.01 grs.

En cuanto a la correlación entre las variables PSA y PSR, ésta fue alta y positiva ($r = 0.82$). Las variables PA y PR presentaron mayor correlación cuando se analizaron en seco que en fresco (ver anexo N° 31). Parte de la explicación a este hecho, se podría deber a la existencia de mayores fuentes de variación en el ingreso de agua a la planta, que cuando se elimina ésta.

• **Relación peso fresco aéreo/peso fresco radicular**

En el análisis de varianza se observa que a los 36 días de la siembra hubo efecto significativo de sustrato. Entre tanto, a los 42 días de la siembra hay efecto significativo de sustrato y de fertilización, mientras que a los 48 días de la siembra la interacción "sustrato*fertilización" fue significativa (ver anexo N° 22).

Los resultados de las pruebas de comparación de medias se muestran en los cuadros 4.21 y 4.22.

Cuadro N° 4.21: Promedios de la relación PFA/PFR según sustrato, por día después de la siembra.

Tiempo desde la siembra (días)			
36		42	
Sustrato	Relación PFA/PFR	Sustrato	Relación PFA/PFR
C100%	3.46 A	C50% : CAC50%	5.18 A
C75% : CAC25%	2.59 BA	C100%	3.59 BA
C50% : CAC50%	2.37 BA	C75% : CAC25%	3.18 B
C25% : CAC75%	1.88 BC	C25% : CAC75%	2.88 BC
Comercial	0.85 C	Comercial	1.23 C
CAC100%	0.77 C	CAC100%	1.21 C

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

Cuadro N° 4.22: Promedios de la relación PFA/PFR según nivel de fertilización a los 42 días de la siembra.

Nivel de fertilización	Relación PFA/PFR
Con fertilización	3.34 A
Sin fertilización	2.42 B

Medias con distinta letra, presentan diferencias significativas ($P < 0.05$).

En el cuadro N° 4.21 se puede ver que a partir de los 36 DDS, los plantines que crecieron en medios con mayor porosidad total (100% CAC y turba comercial), presentaron una menor relación PFA/PFR, debido al mayor crecimiento radicular que se obtuvo, en dichos sustratos (ver cuadro N° 4.17). A partir de los 42 DDS, la diferencia entre los valores de PFA/PFR no solo se debió a las diferencias físicas entre sustratos, sino que además, se puede explicar por el contenido diferencial de nutrientes disponibles para la planta (ver cuadro 4.22) A partir de los 48 días desde la siembra, los efectos sustrato y nivel de fertilización determinaron de forma interactiva los valores de la relación PFA/PFR del plantín (ver anexo N° 29).

Cuadro N° 4.23: Relación PFA/PFR según sustrato y nivel de fertilización, a los 48 días de la siembra.

Sustrato	Relación PFA/PFR	
	Con fertilización	Sin fertilización
C100%	2.97 BC	2.10 C
C75% : CAC 25%	3.47 B	1.93 CD
C50% : CAC 50%	5.13 A	2.52 BC
C25% . CAC 75%	5.87 A	1.73 CD
CAC100%	2.16 C	0.86 D
Comercial	2.24 C	0.94 CD

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

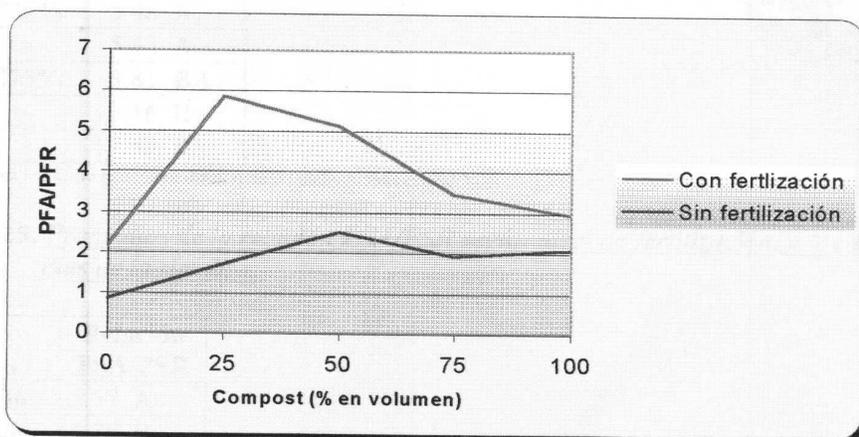


Gráfico N° 4.18: Relación PFA/PFR (con y sin fertilización), a los 48 días de la siembra, según % de compost en la formulación mezcla (compost : CAC).

Del cuadro N° 4.23 se concluye que existieron mayores diferencias significativas entre los valores de PFA/PFR de plantines fertilizados que entre los no fertilizados. También se puede observar que los mayores valores de PFA/PFR fueron alcanzados por los plantines que provinieron de medios constituidos con alguna proporción de compost y fueron fertilizados (ver gráfico N° 4.18). En éste sentido se vió que la respuesta a la fertilización fue mayor en los plantines que provinieron de los medios constituidos con 25 y 50 % de compost.

• **Relación peso seco aéreo/peso seco radicular**

Del ANAVA se observa que a los 36 DDS, no hay efecto significativo de ninguno de los factores considerados sobre la relación PSA/PSR (peso seco aéreo/peso seco radicular) del plantín. Entre tanto, a los 42 días después de la siembra

hay efecto significativo de sustrato, mientras que a los 48 días de la siembra el factor fertilización fue significativo (ver anexo N° 23).

En los cuadros 4.24 y 4.25 se presentan los resultados de la prueba de comparación de medias de PSA/PSR a los 42 días de la siembra, según sustrato, y a los 48 días de la siembra según fertilización.

Cuadro N° 4.24: Promedios de la relación PSA/PSR según sustrato, a los 42 días de la siembra.

Sustrato	Relación PSA/PSR
C50% : CAC50%	5.51 A
C75% : CAC25%	5.46 A
C100%	5.43 A
C25% : CAC75%	3.81 BA
Comercial	3.16 B
CAC100%	2.53 B

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

Cuadro N° 4.25: Promedios de la relación PSA/PSR según nivel de fertilización, a los 48 días de la siembra.

Nivel de fertilización	Relación PSA/PSR
Con fertilización	5.57 A
Sin fertilización	4.25 B

Medias con distinta letra, presentan diferencias significativas ($P < 0.05$).

A los 42 DDS, el orden del comportamiento de los sustratos, según los valores de la relación PA/PR en fresco y en seco, fue muy similar. Sin embargo, las diferencias estadísticas fueron menos marcadas al comparar los valores de esta relación como peso seco.

En cuanto al nivel de fertilización se observa que los plantines con mayor valor de PSA/PSR, fueron los fertilizados, debido al menor desarrollo radicular en estos tratamientos (ver cuadro N° 4.25).

• **Peso fresco total**

Del análisis estadístico de PFT (peso fresco total) se concluye que no existió efecto de interacción “sustrato*fertilización”, mientras que sí fueron significativos los efectos principales. Los diferentes sustratos fueron una fuente de variación que influyó durante todo el período del experimento sobre el PFT del plantín, mientras

que el nivel de fertilización presentó diferencias significativas sólo en las dos últimas fechas (ver anexo N° 24).

En los cuadros 4.26 y 4.27 se presentan las pruebas de comparación de medias de PFT, según Tukey.

Cuadro N° 4.26: *Promedios de PFT del plantín según sustrato, por día después de la siembra.*

Tiempo desde la siembra (días)					
36		42		48	
Sustrato	PFT (grs.)	Sustrato	PFT (grs.)	Sustrato	PFT (grs.)
C25% : CAC75%	1.39 A	C25% : CAC75%	2.4 A	C50% : CAC50%	4.45 A
C50% : CAC50%	1.12 BA	C50% : CAC50%	2.3 BA	C25% : CAC75%	4.0 A
Comercial	0.98 BC	C75% : CAC25	1.63 BC	C75% : CAC25	2.96 B
CAC100%	0.95 BC	C100%	1.22 C	C100%	2.03 C
C75% : CAC25%	0.77 BC	CAC100%	1.03 C	CAC100%	1.45 C
C100%	0.61 C	Comercial	0.94 C	Comercial	1.39 C

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

Cuadro N° 4.27: *Promedios de PFT del plantín según nivel de fertilización, por día después de la siembra.*

Tiempo desde la siembra (días)			
42		48	
Nivel de fertilización	PFT (grs.)	Nivel de fertilización	PFT (grs.)
Con fertilización	1.82 A	Con fertilización	3.24 A
Sin fertilización	1.355 B	Sin fertilización	2.19 B

Medias con distinta letra, presentan diferencias significativas ($P < 0.05$).

Durante la etapa inicial del almácigo, el PFT que alcanzaron los plantines fue determinado principalmente por las características físicas que presentaron los medios de cultivo. En el cuadro N° 4.26, se puede ver que, a los 36 días de la siembra, los mayores valores de PFT fueron alcanzados por los plantines que crecieron en medios cuyas propiedades físicas fueron mejores en la distribución de aire y agua dentro del espacio poroso total (ver cuadros N° 4.1, 4.2 y 4.3). Los resultados del presente trabajo mostraron que, a igual tamaño de contenedor, se logró mayor PFT cuánto mayor porosidad total presentó el medio de cultivo. Por otro lado, Chiesa et al.(1994) encontró con distintos tamaños de contenedor, que el mayor PFT se alcanzaba en los recipientes de mayor volumen. Los resultados de PFT obtenidos por el investigador y por el presente trabajo serían equiparables, ya que en ambos se logró la mayor respuesta cuando la relación aire : agua del medio fue más adecuada.

A partir de la segunda fecha se observa que a medida que aumenta el porcentaje de compost en el sustrato, disminuye en forma gradual el PFT, mientras que el 100% CAC y comercial son los que presentaron los menores PFT, aunque no presentaron diferencias estadísticas con los medios con más de 75 % de compost (ver cuadro N° 4.6). Esta respuesta diferencial de la planta, en función del contenido de nutrientes del medio de cultivo y su disponibilidad, también fue vista por Massey et al.(1969). Este investigador observó que el peso fresco de plantas jóvenes de tomate incrementó con el nivel de fósforo aplicado, particularmente a altos pH. La influencia del nivel de nutrientes sobre el PFT del plantín, se confirma también con el efecto significativo de la fertilización (ver cuadro N° 4.27).

En el anexo N° 31 se observa que el PFT está positivamente correlacionado con PFA ($r = 0.98$), así como con PFR ($r = 0.64$).

• **Peso seco total**

Del ANAVA se observa que no existió efecto significativo de la interacción "sustrato*fertilización" sobre el PST (peso seco total) de plantín, aunque si existió una respuesta diferencial cuando se consideraron dichas fuentes de variación, en forma independiente. El efecto sustrato o medio de cultivo sobre el PST, mostró ser significativo durante todo el periodo del experimento, en cambio el nivel de fertilización fue significativo a partir de los 42 días de la siembra hasta el fin del experimento (ver anexo N° 25).

En los cuadros 4.28 y 4.29 se muestran los resultados que arrojó la prueba de comparación de medias de PST, según Tukey, en función de los sustratos y de los niveles de fertilización evaluados.

Cuadro N° 4.28: Promedios de PST del plantín según sustrato, por día después de la siembra.

Tiempo desde la siembra (días)					
36		42		48	
Sustrato	PST (grs.)	Sustrato	PST (grs.)	Sustrato	PST (grs.)
C25% : CAC75%	0.103 A	C25% : CAC75%	0.19 A	C50% : CAC50%	0.38 A
C50% : CAC50%	0.073BA	C50% : CAC50%	0.18 BA	C25% : CAC75%	0.34 BA
Comercial	0.06 B	C75% : CAC25%	0.13 BC	C75% : CAC25%	0.27 B
CAC100%	0.059 B	C100%	0.092 C	C100%	0.17 C
C75% : CAC25%	0.042 B	Comercial	0.074 C	Comercial	0.11 C
C100%	0.036 B	CAC100%	0.068 C	CAC100%	0.107 C

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

Cuadro N° 4.29: *Promedios de PST del plantín según nivel de fertilización, por día después de la siembra.*

Tiempo desde la siembra (días).			
42		48	
Nivel de fertilización	PST (grs.)	Nivel de fertilización	PST (grs.)
Con fertilización	0.14 A	Con fertilización	0.27 A
Sin fertilización	0.104 B	Sin fertilización	0.19 B

Medias con distinta letra, presentan diferencias significativas ($P < 0.05$).

El orden de los sustratos según los valores de PST fue similar al obtenido en el análisis del PFT.

Los resultados presentados en los cuadros N° 4.28 y 4.29 revelan que cuánto mayor fue la disponibilidad de nutrientes de los medios de cultivo, los valores de PST fueron mayores. En relación a esto Knavel (1977), citado por Chiesa et al.(1994), también encontró que el PST del plantín de pimiento fue mayor cuando se incrementó la suplementación de N. Cabe destacar también que no solo el contenido de nutrientes determinó los valores de PST del plantín, sino que además las características físicas del medio de cultivo influyeron sobre éste parámetro, lo que se puede notar a través del orden que tomaron los diferentes sustratos.

Se obtuvo una correlación alta y positiva entre PST y PSA, $r = 0.99$ ($P < 0.0001$) y entre PST y PSR, $r = 0.88$ ($P < 0.0001$) (ver anexo N° 31).

• ***Relación peso seco total / peso fresco total.***

Del análisis de varianza se concluye que hubo efecto significativo del sustrato sobre la relación PST/PFT (peso seco total/peso fresco total) en la primer fecha. A los 42 días de la siembra, el análisis de varianza muestra que no hubo efecto significativo de ninguno de los factores, mientras en la última fecha, se verifica efecto significativo de la interacción "sustrato*fertilización", sobre la relación PST/PFT del plantín.(ver anexo N° 26).

Los resultados de la prueba de Tukey para la relación PST/PFT, se visualiza en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 4.30: Promedios de la relación PST/PFT según sustrato a los 36 días de la siembra.

Sustrato	Relación PST/PFT.
C25%:CAC75%	0.072 A
C50%:CAC50%	0.064 BA
CAC100%	0.0614 BA
Comercial	0.061 BA
C100%	0.059 BA
C75%:CAC25%	0.053 B

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

A través de la prueba se comprobó que el sustrato C75% : CAC25% presentó la menor relación PST/PFT, difiriendo estadísticamente de la mezcla C25% : CAC75%, que fue el sustrato con la relación más alta.

A los 48 DDS se analizó la interacción a través de pruebas T (ver anexo N° 30). Los resultados se presentan en el cuadro N° 4.31.

Cuadro N° 4.31: Relación PST/PFT según sustrato y nivel de fertilización a los 48 días de la siembra.

Sustrato	Relación PST/PFT	
	Con fertilización	Sin fertilización
C100%	0.083 B	0.0899 AB
C75% : CAC 25%	0.0904 AB	0.096 A
C50% : CAC 50%	0.082 B	0.0903 AB
C25% . CAC 75%	0.085 AB	0.0868 AB
CAC100%	0.081 B	0.057 C
Comercial	0.084 AB	0.0669 C

Medias con la misma letra, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$).

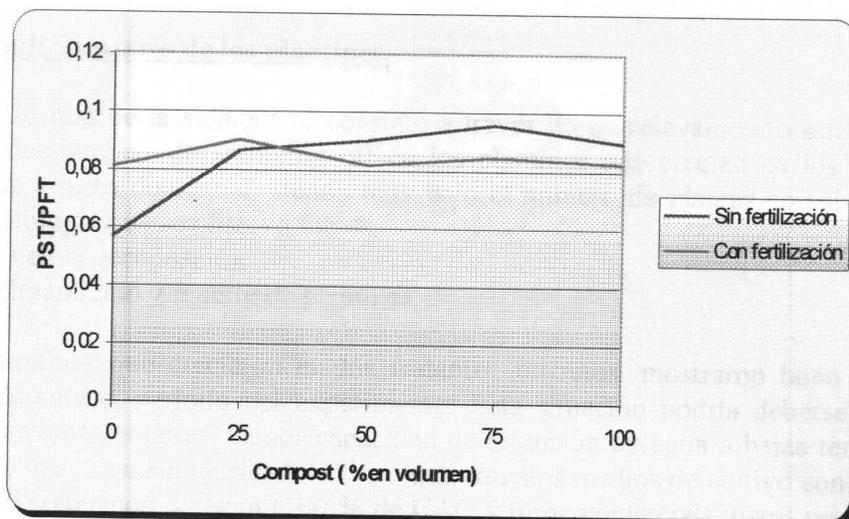


Gráfico N° 4.19: *Relación PST/PFT (con y sin fertilización), a los 48 días de la siembra, según % de compost en la formulación mezcla (compost : CAC).*

Como se puede ver en el cuadro N° 4.31, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de PST/PFT correspondientes a los plantines que fueron fertilizados. También cabe señalar que no existieron diferencias entre los valores de PST/PFT de plantines fertilizados o no fertilizados, provenientes de medios con igual proporción de compost. Este comportamiento se dio únicamente en éstos medios, ya que en el sustrato puro de CAC y en la turba comercial, los valores de PST/PFT de plantines con o sin fertilización fueron significativamente diferentes (ver gráfico N° 4.19). Los resultados aquí expuestos son coincidentes con los de Abou Hadid et al.(1998), quienes también encontraron que el uso de compost como componente de medio de cultivo de plantines de melón permitió, una mayor producción de materia seca de los mismos y por lo tanto una mayor relación PST/PFT.

4.5.2- Estado sanitario de los plantines.

A los 26 días de la siembra se constató a través de un relevamiento sanitario la aparición de síntomas de Dumping off en los plantines que crecían en los medios 100% CAC y turba comercial, siendo muy bajo el número de plantas con síntomas. La sintomatología que se observó fue:

- Fallas en la germinación
- Marchitamiento y muerte de plantines.

Los plantines que crecieron en los restantes sustratos, mostraron buen estado sanitario durante el período del experimento. Esta situación podría deberse a que estos sustratos presentaron menor capacidad de retención de agua a bajas tensiones (0.01 bar) y una misma intensidad de riego que aquellos medios de cultivo con mayor capacidad de retención de agua (100 % de CAC y turba comercial). Estos resultados permiten concluir que las mejores condiciones de manejo a ser aplicadas, estarán en función de las características de los sustratos.

4.5.3- Resultados del análisis foliar

El resultado del análisis foliar mostró el efecto de los diferentes sustratos, en el status nutricional de las plantas.

A través del análisis foliar se comprobó que hubo una respuesta clara a la aplicación de Aminon Solo (ver anexo N°1), en el porcentaje de nitrógeno foliar, para cualquiera de los tratamientos fertilizados (Cuadro N°4.32). Las plantas que crecieron en los medios de turba comercial y 100 % de cáscara de arroz carbonizada (CAC), tuvieron una respuesta más rápida y notoria a dicha fertilización, debido a la alta relación C/N de estos sustratos, 57 y 70 respectivamente.

Con respecto a la extracción de fósforo y potasio, fue mayor en las plantas que crecieron en los medios que contenían alguna proporción de compost, ya sea 25, 50, 75 o 100 % de dicho componente, sin fertilización. Este mayor contenido en P y K, es directamente atribuible a la mayor concentración de estos elementos en el compost que en la cáscara de arroz carbonizada o turba comercial (ver cuadro N° 4.6).

Para los nutrientes calcio y magnesio, la extracción fue superior en las plantas que crecieron en los sustratos comercial, 100 % CAC y la mezcla 25% Compost: 75% CAC, sin fertilización, cuyas plantas mostraron un buen desarrollo radicular, debido a que crecieron en medios con mayor intercambio gaseoso y mejor drenaje, factores que favorecen la absorción de dichos elementos.

En cuanto a los elementos traza, se encontró una alta concentración de Fe, Zn y Mn en el tejido foliar de las plantas que provinieron de la turba comercial, sin fertilización. El mayor contenido de micronutrientes en éstas plantas se pudo deber al pH extremadamente bajo en el cual se desarrollaron, condición que permitiría aumentar la disponibilidad de los mencionados nutrientes (ver cuadro N° 4.6). Cabe destacar también, el alto contenido de Mn en las plantas que crecieron en cáscara de arroz carbonizada, a pesar que la concentración de este elemento en el sustrato no fue de las más altas (ver cuadro 4.6).

El mejor comportamiento en cuanto a crecimiento y desarrollo que se observó en el ensayo, coincide con los contenidos superiores de nutrientes en el tejido foliar (especialmente para los nutrientes nitrógeno y fósforo). A su vez, éstos mayores contenidos en el tejido foliar estarían explicados por el mejor crecimiento y desarrollo radicular que presentaron las plantas en determinados medios de crecimiento. Éstos medios fueron: 25%C:75%CAC y 50%:50%CAC, los cuales mostraron particularmente mejores características físicas y una buena composición química en relación a los demás sustratos (ver punto 4.1.1).

Los síntomas de deficiencias de nitrógeno observados, fueron notorios primeramente en las plantas que crecieron en los medios 100% CAC y turba comercial, sin fertilizar. Los mismos se reflejaron en un crecimiento limitado de las plantas y en una coloración de las hojas verde amarillo pálido. Las plantas que crecieron en los medios con alguna proporción de compost y sin fertilizar, no mostraron un crecimiento restringido, pero sí una coloración verde claro en sus hojas, especialmente aquellas que provinieron de los medios con menor cantidad de compost. Los contenidos de nitrógeno de las plantas que no fueron fertilizadas, estuvieron entre 1.29 y 2.02 % de N. De éstas plantas las que provinieron de medios constituidos por compost, siempre tuvieron contenidos de nitrógeno superiores a 1.7 % de N. Este resultado es coincidente al obtenido por Roorda et al.(1981), citados por Winsor et al.(1987). Estos investigadores observaron en plantas de tomate que, contenidos de nitrógeno en hojas menores a 1.7 %, presentaron síntomas de deficiencias en este nutriente.

En cuanto al contenido de fósforo en hojas, éstos fueron mayores en las plantas que crecieron en medios de crecimiento con alguna proporción de compost, sin fertilización. Los niveles de fósforo que tuvieron éstas plantas fueron óptimos según Winsor (1973), citado por Winsor et al.(1987), dado que el nivel que este investigador mencionó como óptimo fue de 0.5 % de P.

Cuadro N°4.32 - *Análisis foliar*

TRATAM.	N %	P %	K %	Ca %	Mg %
100C C/F	2.95	0.5	5.79	1.10	0.36
100C S/F	1.79	0.51	4.97	0.96	0.3
75C C/F	2.82	0.48	5.5	1.13	0.36
75C S/F	1.76	0.64	4.91	1.10	0.31
50C C/F	2.93	0.56	6.24	1.18	0.35
50C S/F	2.02	0.61	5.44	1.03	0.29
25C C/F	3.46	0.57	5.5	1.38	0.36
25C S/F	1.74	0.73	4.95	1.25	0.33
CAC C/F	4.6	0.68	2.63	0.81	0.32
CAC S/F	1.42	0.34	3.23	1.77	0.65
COMER. C/F	5.09	0.36	3.37	0.80	0.47
COMER. S/F	1.29	0.28	4.02	1.33	0.89
TRATAM.	Fe ppm	Zn ppm	Cu ppm	Mn ppm	B ppm
100C C/F	592	93	17	57	13
100C S/F	751	75	18	56	12
75C C/F	480	63	17	45	10
75C S/F	531	73	23	52	11
50C C/F	324	86	21	42	13
50C S/F	330	64	30	35	11
25C C/F	349	71	23	50	13
25C S/F	356	69	16	46	12
CAC C/F	213	139	21	486	13
CAC S/F	350	80	19	338	
COMER. C/F	317	110	22	153	18
COMER. S/F	471	112	19	180	

FUENTE: Laboratorio de análisis de tejidos vegetales, INIA, "Las Brujas".

REFERENCIAS: - 100C: 100 % COMPOST

- 75C: 75 % COMPOST: 25% Cáscara de arroz carbonizada

- 25 C: 25% COMPOST: 75% Cáscara de arroz carbonizada

- CAC: 100% Cáscara de arroz carbonizada

- COMER: Turba comercial: FAFARD 1:- 90% Turba de musgo
esfagnaceo canadiense
- 10 % vermiculita.

- C/F: CON FERTILIZACIÓN

- S/F: SIN FERTILIZACIÓN

5- CONCLUSIONES

- 1-El empleo de compost puro presentó limitantes físicas para el crecimiento vegetal evidenciado a través de las distintas variables evaluadas.
- 2- La adición de CAC al compost mejoró, su capacidad de aire y drenaje y disminuyó su densidad aparente, llevándolo a condiciones físicas superiores para uso como sustrato hortícola.
- 3- El uso de CAC como enmienda modificó las propiedades físicas del compost, mientras que no afectó directamente las propiedades químicas. Entre tanto se constató que existieron diferencias en el contenido de nutrientes según la proporción de compost y CAC en la mezcla. El contenido de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Na fue levemente inferior cuanto menor fue la cantidad de compost como componente de la mezcla.
- 4- Los plantines de tomate respondieron a la modificación de las propiedades físicas de los sustratos, ya que se constató que las mezclas con alta proporción de CAC (50 % y 75 %), en contenedores de 50 cm³ permitieron un mejor crecimiento radical y una relación PA/PR igual a 5. Estos plantines también fueron más precoces para alcanzar un tamaño de transplante: 48 días después de la siembra.
- 5 - Las plantas provenientes de los medios constituidos con alguna proporción de compost lograron mayor altura, mayor peso fresco y seco y mayor relación PST/PFT (peso seco total/peso fresco total), además de presentar mayor status nutricional (N, P, K) en comparación a los plantines que crecieron en los medios sin compost y sin fertilización.
- 6 – Al inicio de la etapa de almácigo influyó particularmente el tipo de sustrato sobre el desarrollo del plantín, mientras que al mes y medio, los medios de cultivo y los niveles de fertilización, incidieron de manera conjunta e interactiva sobre las variables evaluadas, con excepción del PSR y de la relación PSA/PSR. La ausencia de respuesta a la fertilización al inicio de desarrollo del plantín pudo ser debido a la baja concentración empleada en la primera aplicación.
- 7- No existió correlación entre el número de plantas emergidas y la temperatura de sustrato, a pesar de que sí existieron diferencias estadísticas entre las temperaturas de éstos.
- 8- El sustrato puro de CAC fue el medio que tuvo la mayor tasa de emergencia, mientras que el puro de compost, el menor porcentaje de emergencia.

6-SUGERENCIAS

- 1- Ajuste de la metodología de análisis físico de sustratos, prestando particular atención a lo que acontece en el rango de 0.01 bar a 0.1 bar.
- 2- Calibración y ajuste de análisis químico de sustratos.
- 3- Las muestras a utilizar en análisis físico de sustratos no deben secarse, para evitar problemas de rehumectación del material.
- 4- Realizar repique total de plantines, con el fin de evitar un crecimiento diferencial entre plantas repicadas y no repicadas y, por consiguiente eliminar una fuente de variación que puede aumentar considerablemente el error experimental.
- 5- La concentración del fertilizante debe ser la misma todas las veces que se asigne su aplicación
- 6 - Evaluación de los plantines post - transplante, para poder caracterizar objetivamente la calidad de plantín, en condiciones particulares.

7- RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el uso de residuos orgánicos como componentes de medios de cultivo, para la producción de plantines de tomate y generar así, otra alternativa, a los sustratos comerciales.

Los residuos a investigar fueron:

- el compost que produce la planta de compostaje de la Intendencia de Montevideo, con los residuos del Mercado Modelo. El tamaño de partícula de dicho compost fue de 2 mm.
- la cáscara de arroz carbonizada, residuo de la Industria arrocera Arrosur, de Treinta y Tres.

Se formularon cinco sustratos a través de la combinación de compost y cáscara de arroz carbonizada (CAC), en las siguientes proporciones:

- compost puro
- 75 % de compost y 25 % de cáscara de arroz carbonizada
- 50 % de compost y 50 % de cáscara de arroz carbonizada
- 25 % de compost y 75 % de cáscara de arroz carbonizada
- cáscara de arroz carbonizada pura

El sexto sustrato, considerado como testigo en el experimento, fue el sustrato comercial, FAFARD 1, compuesto por 90 % de turba de Sphagnum y 10 % de vermiculita.

El experimento evaluó los diferentes sustratos en sus propiedades físicas y químicas a través de la respuesta vegetal de plantines de tomate. En el mismo se consideraron por separado y de manera simultánea dos pruebas, la prueba de emergencia y la prueba de crecimiento. En ambas pruebas se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones.

En la prueba de crecimiento se incluyó el factor fertilización (con y sin fertilización), para tener una manifestación más clara y por separado, de las propiedades físicas y químicas de los sustratos.

Los resultados de la prueba de emergencia mostraron que, los sustratos que se caracterizaron por poseer una mayor porosidad total (CAC100% y comercial), tuvieron un mayor número de plantas emergidas y una mayor tasa de emergencia.

En cuanto a los resultados de la prueba de crecimiento, se observó que los plantines que provinieron de medios constituidos con un 25 y 50 % de compost fueron más precoces para alcanzar el tamaño de transplante. A su vez, se constató a

través del análisis foliar que, cuando los plantines crecieron en medios constituidos con alguna proporción de compost y sin fertilización, presentaron un mayor status nutricional, en N, P, K que aquellos plantines que provinieron de medios sin compost, 100 % cáscara de arroz carbonizada y el sustrato comercial.

El empleo de CAC, como componente de la formulación mezcla, mejoró particularmente las propiedades físicas del compost municipal. Las diferencias entre las características físicas de los distintos medios investigados, se reflejaron en una respuesta diferencial del crecimiento del plantín, desde la etapa de emergencia, hasta el momento de transplante. A su vez la adición de CAC al compost municipal, determinó una respuesta diferencial a la fertilización foliar, comportamiento que revelaría la interacción entre las propiedades físicas y químicas de los medios de cultivo.

8- SUMMARY

AGRONOMIC EVALUATION OF SUBSTRATE TO THE PRODUCTION OF TOMATO SEEDLINGS

This research was carried out in order to evaluate the use of compost of organic urban waste as a component of growing media in the production of tomato seedlings. This might be an alternative to commercially available growing media.

The residues studied were: (1) compost produced by the Municipality of Montevideo with residues from fruits and vegetable market; (2) carbonized rice hull, from the rice industry Arrosur, Treinta y Tres. Five substrate have been formulated:

- 100 % compost
- 75 % compost and 25 % carbonized rice hull,
- 50 % compost and 50 % carbonized rice hull,
- 25 % compost and 75 % carbonized rice hull,
- 100 % carbonized rice hull (CRH)

The commercially available Fafard 1 was included as a control treatment, composed by 90 % peat Shagnum and 10 % vermiculite.

The substrates were evaluated by growing tomato seedlings, considering (1) the emergency or plant stand, and (2) the growth and vigor, in separated experiments. Both ones were designed in 4 completely randomized blocks. Each substrate was evaluated with and without fertilization, for a better understanding of the chemical and physical properties.

A larger number of normally emerged seedlings and emergence rate was observed in the growing medias showing a better total pore space .

Seedlings showed better growth and vigor, when grown with mixes containing 25 or 50% compost, reaching before transplanting stage. Besides this, these treatments produced seedlings with higher nutrient content at the leaf level than the control and those treatments based in CRH.

The use of CRH as a component in the substrate, improved the physical properties of the municipal compost. The difference in physic characteristics between studied mixes, influenced the seedling growth from emergency to transplant stage. In addition, improving physical properties confers a larger response to fertilization, revealing an interaction between physical and chemical properties of the growing medias.

9- BIBLIOGRAFIA

- 1 - ABAD BERJON, M. 1994. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. In: Curso Master. NPK. Fertilizantes y medio ambiente. Universidad Autónoma de Madrid.p.62.
- 2 - ——— .1995. Sustratos para el cultivo sin suelo. In: El cultivo de tomate. Nuez, F. España. Mundi Prensa. pp 131- 166.
- 3 - ABOU HADID, A.F.; OMAR, A.M. 1998. The effect of available water content and other physical and chemical properties of soil substrates on germination of cucumber. Proc. Is. Composting and use composted materials Ed. R.A.K. Szmidt. Acta Horticulturae 469. pp 245 - 253.
- 4 - ADAMS, P. 1986. Mineral nutrition. In: The tomato crop. Atherton, J. G.; Rudich, J.London. New York. Editor: Roberts, E. H. pp 281 - 324.
- 5 - ANDERLINI, R.1976. El cultivo de tomate. España. Mundi Prensa. 3 Ed. 211 p.
- 6 - ANDRE, J.P.1987. Propriétés chimiques des substrats. In: Les cultures hors sol. Blanc, M. París: INRA. pp 127 - 148.
- 7 - ANSORENA MINER, J.1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. España. Mundi Prensa. 171p.
- 8- ALDABE, L.2000. Producción de hortalizas en Uruguay. Montevideo. Edición Epsilon. 269 p.
- 9- BALLESTA, A.1999. Aplicación de los sustratos a la producción de hortalizas. In: Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística, ornamental, hortícola y forestal.Pastor Saez, J.N. Universitat de Lleida. pp 147 - 151.
- 10 - BALLESTER, J. F.1992. Hojas divulgadoras: Sustratos para el cultivo de plantas ornamentales. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Moncada. Valencia. 44 p.

- 11 - BURÉS, S. 1999a. Introducción a los sustratos. Aspectos generales. In: Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística, ornamental, hortícola y forestal. Pastor Saez, J.N. Universitat de Lleida. pp 19 - 36.
- 12- ——— . 1999b. Preparación y selección de sustratos. In: Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística, ornamental, hortícola y forestal. Pastor Saez, J.N. Universitat de Lleida. pp 37 - 46.
- 13 - CALVERT, A. 1959. Effect of the early environment on the development of flowering in the tomato. In: The journal of Horticultural Science. 34 (3):154 - 162.
- 14 - CHAMARRO LAPUERTA, J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. In: El cultivo de tomate. Nuez, F. España. Mundi Prensa. pp 43 - 91.
- 15- CHEN Y.; SOLOVITCH, T. 1988. Effects of humic substances on plant growth. Acta Horticulturae 221. p.412
- 16 - CHIESA, A.; ATTWELL, P.; STOPPANI, M.I. 1994. Influencia del tamaño del contenedor en la calidad del plantín y precocidad del cultivo de pimiento. Horticultura Argentina 13 (33):1 - 6.
- 17 - DALZELL, H.W.; BIDDLESTONE, A.J.; GRAY, K.R.; THURAIRAJAN, K. 1991. Manejo del suelo y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. FAO. Roma. 178 p.
- 18 - ELOLA, S.; BARBOZA, R. 1997. Evaluación agronómica de sustratos en la producción de plantines de tomate. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 97 p.
- 19 – FOLQUER, F. 1976. El tomate: Estudio de la planta y su producción comercial. 1ª Edición. Editorial Hemisferio Sur, S.R.L. Buenos Aires, Argentina. 104 p.
- 20 - GENTA, H. 1991. Efectos de las temperaturas extremas y medidas de control en algunas especies cultivadas. Montevideo. Facultad de Agronomía. 62p.
- 21 - GOJENOLA EIZAGIRRE, A.; ANSORENA MINER, J. 1994. Calidad de los sustratos comerciales. Horticultura 98. Revista de hortalizas, flores y plantas ornamentales. pp 13 - 20.

- 22 - GRAS, R. 1987. Propriétés physiques des substrats. In: Les cultures hors sol. Blanc, M. Paris: INRA. pp 80 - 126.
- 23 - HARTMANN, H. T.; KESTER, D.E. 1988. Propagación de plantas: Principios y prácticas. 2ª Edición. 6ª Reimpresión. México. 760 p.
- 24 - IMPARATTA, L.; LAZARO, M. 1992. Tomate. Montevideo. Facultad de Agronomía. 57p.
- 25 - KÄMPF, A.; JUNG, M. 1991. The use the carbonized rice hulls as an horticultural substrate. In. Acta Horticulturae N° 294: 271 - 283.
- 26 - ———. 1995. O uso de casca de arroz no produção de plantas em viveiros. In: I Seminario e curso latino americano sobre substancias húmicas e revalorização da residuos da agroindustria. Pelotas. Río Grande do Sul. Brasil. pp 553 - 562.
- 27 - ———. 2000. Seleção de materiais para uso como substrato. In: Substrato para plantas: a base de produção vegetal em recipientes. Kämpf, A. N.; Fermio M.H. Anais do: 1º Encontro nacional sobre substrato para plantas, 1999. Porto Alegre: Genesis. pp 139 - 145.
- 28 - LALLANA, V.; VALENZUELA, O. R.; LALLANA, M.C.; TONELLI, B.; ROTHMAN, S. 2000. Valoración física, química y biológica de lombricompostos de residuos de conejeras. In: Substrato para plantas: a base de produção vegetal em recipientes. Kämpf, A. N.; Fermio, M.H. Anais do: 1º Encontro nacional sobre substrato para plantas, 1999. Porto Alegre: Genesis. pp 217 - 223.
- 29 - LEMAIRE, F.; DARTIGULES, A.; RIVIÉRE, L.; CHARPENTER, S. 1989. Cultures en pots et conteneurs. INRA, Revue horticole. Paris. 184 p.
- 30 - LEMAIRE, F.; RIVERE, L.; STIEVENARD, S.; MARFÁ, O.; GSCHWONDER, S.; GIUFFRIDA, F. 1998. Consequences of organic matter biodegradability on the physical, chemical parameters of substrates. In: Acta Horticulturae N° 469: 129 - 138.
- 31 - MARFÁ, O. 1994. Balance entre la planta, el medio ambiente y el sustrato. Revista de hortalizas, flores y plantas ornamentales. V. 99: 80 - 83.

- 32 - _____.; CÁCERES, R.1999. Bioestabilitat i gestió de la fertirrigació in substrats orgànics per al cultiu de plantes en contenidor. In: Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística, ornamental, hortícola y forestal. Pastor Saez, J.N. Universitat de Lleida. pp 113 - 120.
- 33 - MILKS, R.; FONTENO, W.; LARSON, R.1989. Hidrology of horticultural substrates: III Predicting air and water content of limited volume plug cells. J.Amer. Soc. Hort. Sci.144 (1): 57 - 61.
- 34 - MINAMI, k. ; HAGG H. P..1989. O tomateiro. 2º Edición. Campinas: Fundação Cargil.Brasil.397 p.
- 36 - _____.1995. Produção de mudas de alta qualidade em horticultura. Editor: Queiroz, T.A.Fundação Salim. Brasil.128 p.
- 37 - _____.2000.Adubação em substrato. In: Substrato para plantas: a base de produção vegetal em recipientes. Kämpf, A. N.; Fermino, M.H.. Anais do: 1º Encontro nacional sobre substrato para plantas,1999 Porto Alegre: Genesis. pp 147 - 152.
- 38 - NICOLAS, H.; DUCHESNE, J. 1988. Temperature in container substrates. In: Acta Horticulturae Nº 221: 261 - 270.
- 39 - NOGUEIRA SEDIYAMA, M.A.; PINHEIRO GARCIA, N.C.; VIDIGAL, S.; TEIXEIRA de MATOS, A.2000. Nutrientes em compostos orgânicos de residuos vegetais e dejetos de suínos. In: Scientia Agricola, Vol:57, Nº 1. Piracicaba, Brasil. pp 185 - 189.
- 40 - PICKEN, J. F.; STEWART, K.; KLAPWIJK, D.1986.Germination a vegetative development. In: The tomato crop. Atherton, J. G.; Rudich, J.London. New York.Editor: Roberts, E. H. pp 111 - 157.
- 41 - PINAMONTI, F.; STRINGARI, G.; ZORZI, G.1997. Use of compost in soilless cultivation. In: Compost Science & Utilization. Vol. 5, Nº 2. pp 38 - 46.
- 42 - RAVIV, M.1998. Horticultural uses of composted material. In: Acta Horticulturae Nº 469. Ed. R.A.K. Szmidt. pp 225 - 233.

- 43 - RICHARDS, D.; LANE, M.; BEARDSELL, D. V. 1986. The influence of particle - size distribution in pinebark: sand: brow coal potting mixes on water supply, aereation and plant growth. *Scientia Horticulturae* N° 29. pp 1 - 14.
- 44 – RÖBER, R. 2000. Substratos hortícolas: Possibilidades e limites de sua composição e uso; exemplos da pesquisa, da indústria e do consumo. In: *Substratos para plantas: a base de produção vegetal em recipientes*. Kämpf, A. N.; Fermino, M.H.. Anais do: 1º Encontro nacional sobre substrato para plantas, 1999 Porto Alegre: Genesis. pp 123 - 138.
- 45 – ROTHMAN, S.; TONELLI, B.; VALENZUELA, O.; LALLANA, M.C. 2000. Cultivo de plantines de tomate con sustratos basados en humus de lombriz. N° de orden 119. In: *XXIII Congreso Argentino, X Congreso Latinoamericano, XXX Congreso Iberoamericano de Horticulura*. Mendoza, Argentina. *Primeras Actas*. CD ROM. 15 BN 987-98262-05.
- 46, – SILVA, L.; PORTO, M.D. M.; KÄMPF, A. N. 2000. Características químicas e físicas de substratos à base de turfa e casca de arroz carbonizada. In: *Substratos para plantas: a base de produção vegetal em recipientes*. Kämpf, A. N.; Fermino, M.H.. Anais do: 1º Encontro nacional sobre substrato para plantas, 1999 Port Alegre: Genesis. pp 235 - 240.
- 47 - SIMINIS, C.; LOULAKIS, M.; KEFAKIS, M.; MANIOS, T.; MANIOS, T. 1998. Humic substances from compost affects nutrient accumulation and fruit yeld in tomato. *Proc. Is. Composting and use composted materials* Ed. R.A.K. Szmidt. *Acta Horticulturae* 469: 353 - 358.
- 48 - SOLIVA, M. 1999. Aplicación del compostaje a la obtención de productos alternativos a los sustratos tradicionales. In: *Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística, ornamental, hortícola y forestal*. Pastor Saez, J.N. Universitat de Lleida. pp 51 - 93.
- 49- TILLMAN, M.; PIANA, Z.; CAVARIANI, C.; MINAMI, K. Efeito da profundidade de sementeira na emergencia de plantulas de tomate. *Sci. Agric. Piracicaba*. 51(2): 260 -263

- 50 – VALENZUELA, O.R.; LALLANA, V.H.; TONELLI, B.B.; ROTHMAN, S.M.; LALLANA, M.C. 2000. Modificación de las propiedades físicas, pH y conductividad eléctrica de lombricompostos, inducida por el agregado de arena. In. Substratos para plantas: a base de produção vegetal em recipientes. Kämpf, A.N.; Fermino, M.H.. Anais do: 1º Encontro nacional sobre substrato para plantas, 1999 Porto Alegre: Genesis. pp 191 - 196.
- 51 - VERDONK, O. 1998. Compost Specifications. Proc. Is. Composting and use composted materials Ed. R.A.K. Szmidt. Acta Horticulturae 469: 169 -174.
- 52 - WESTON, L. 1988. Effect of flat cell size, transplnt age, and production site on growth and yeld of pepper transplnats. Hort Science. 23 (4): 709 - 711.
- 53 - WILLSON, G.B.; PARR, J.F.; SIKORA, L.J. 1983. El compostaje de residuos orgánicos y la utilización del compostaje en la agricultura. In: Boletín de suelos de la FAO. 51. El reciclaje de materia organica en la agricultura de América Latina. Roma. pp 60 - 68.
- 54- WINSOR, G.; ADAMS, P. 1987. Diagnosis of mineral disorders in plants. Glasshouse crops. J.B.D. Robinson. New York. V.3. 168 p.

10 - ANEXOS

ANEXO N° 1: Composición química de AMINON SOLO.
(Fertilizante orgánico concentrado)

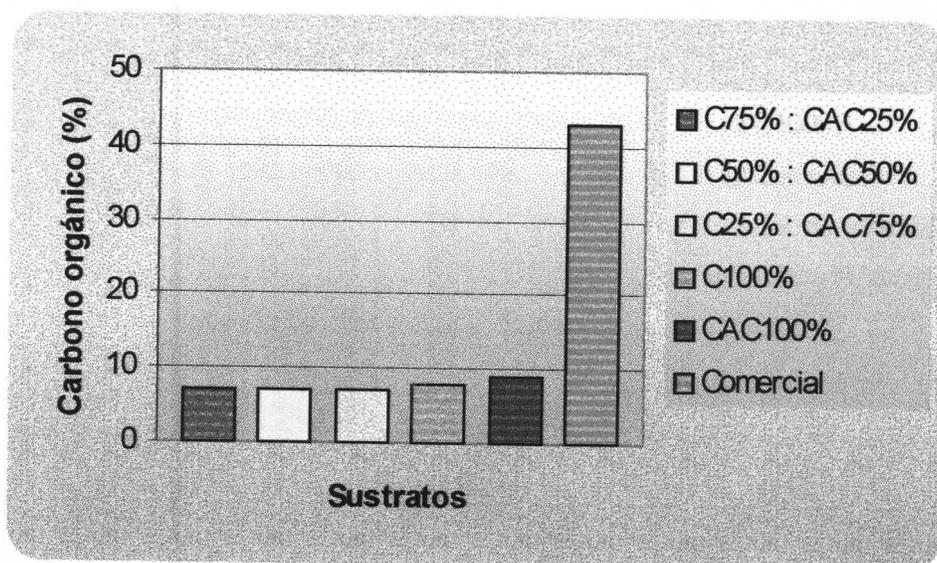
Componentes	en %
Aminoácidos	9
Nitrógeno orgánico	5
Oxido de potasio	1
Calcio	0,05
Magnesio	0,08
Materia orgánica	30

Anexo N° 2 : Registro de temperatura ambiente(° C).

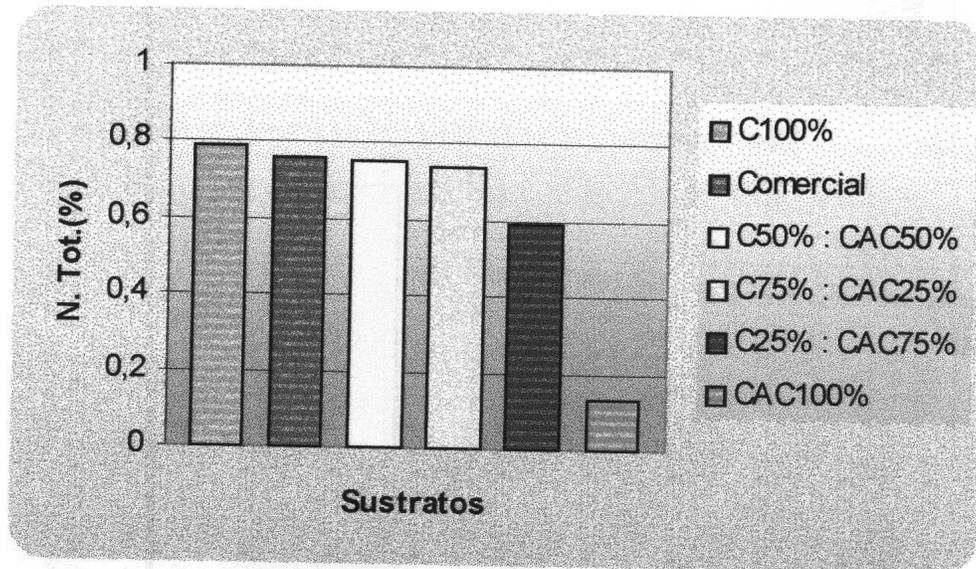
FECHA	Temp. mediodía	Temp.Máxima.	Temp. mínima.
12/09/00	17,14	24,01	11,38
13/09/00	19,42	24,01	7,43
14/09/00	12,55	13,7	8,23
15/09/00	25,95	25,95	9,03
16/09/00	21,71	32,34	9,03
17/09/00	27,91	35,27	7,83
18/09/00	26,34	31,12	12,55
19/09/00	29,5	31,12	12,16
20/09/00	18,28	21,51	11,77
21/09/00	29,9	30,31	10,6
22/09/00	35,7	42,94	5,81
23/09/00	20,19	26,34	9,82
24/09/00	22,48	24,01	7,43
25/09/00	25,56	27,91	4,15
26/09/00	28,7	30,71	3,74
27/09/00	33,17	35,7	5,81
28/09/00	34,01	35,7	7,43
29/09/00	36,57	38,32	11,38
30/09/00	35,7	36,57	12,93
1/10/00	30,31	31,52	13,32
2/10/00	20,57	22,86	11,38
3/10/00	30,31	30,31	11,77
4/10/00	28,31	28,31	11,38
5/10/00	34,4	31,93	9,82
6/10/00	27,91	28,7	9,03
7/10/00	32,34	32,34	8,23
8/10/00	30,31	30,71	10,21
9/10/00	26,73	30,31	10,99
10/10/00	29,9	35,7	8,63
11/10/00	34,43	34,85	12,16
12/10/00	29,5	31,12	7,83
13/10/00	30,31	31,12	8,23
14/10/00	29,1	37,88	7,03
15/10/00	31,52	31,52	9,03
16/10/00	40,13	41,99	14,09
17/10/00	31,12	31,12	13,32
18/10/00	30,71	41,05	12,93
19/10/00	31,52	31,52	14,09
20/10/00	27,91	31,12	17,9

FECHA	Temp. mediodía	Temp.Máxima.	Temp. mínima.
21/10/00	31,12	31,52	17,14
22/10/00	25,95	30,71	17,52
23/10/00	17,52	17,9	12,93
24/10/00	23,63	25,17	12,93
25/10/00	28,7	29,5	14,47
26/10/00	29,5	36,13	17,9
27/10/00	29,1	29,1	7,42
28/10/00	14,09	25,95	7,43
29/10/00	19,81	24,79	5,4
30/10/00	27,91	29,9	12,16
31/10/00	30,31	31,93	12,93

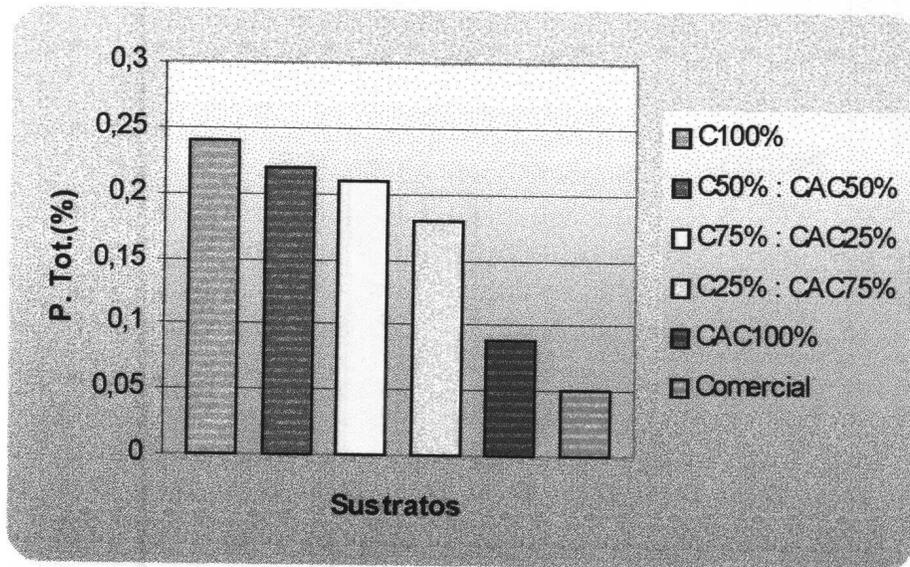
Anexo N° 3: Contenido de carbono orgánico (en %) de los sustratos.



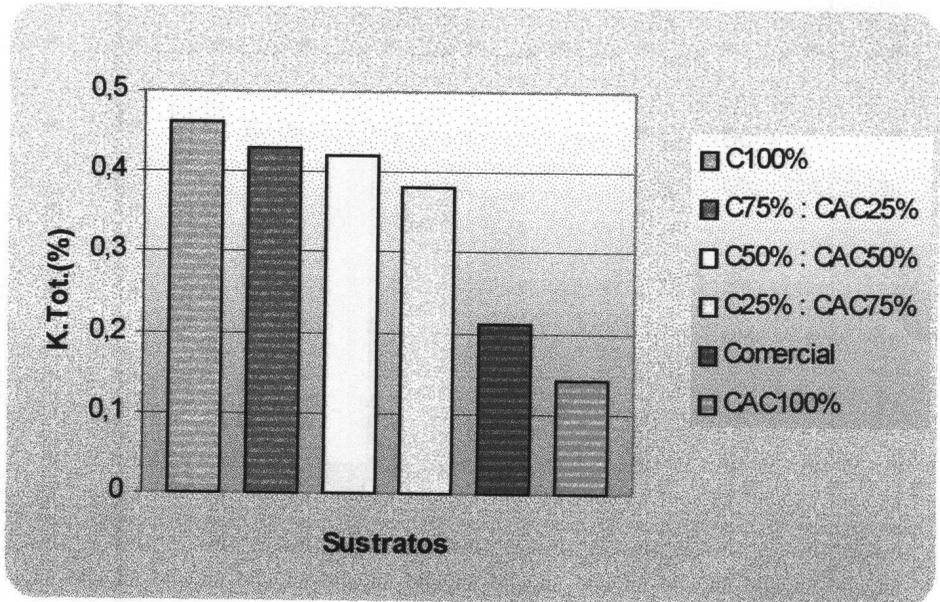
Anexo N° 4: Contenido de N Total (en %) de los sustratos.



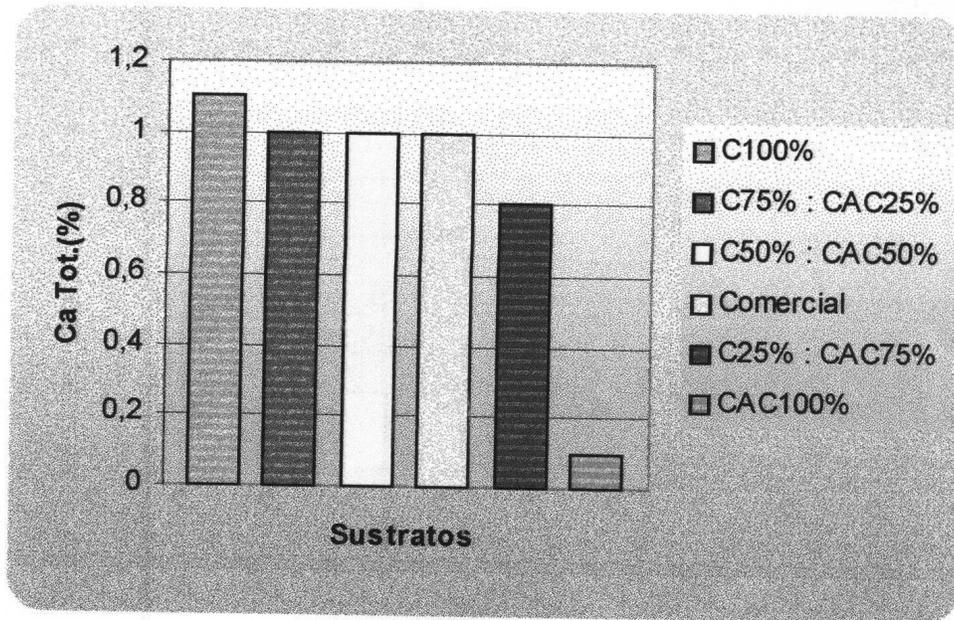
Anexo N° 5: Porcentaje de P Total (en %) en los sustratos.



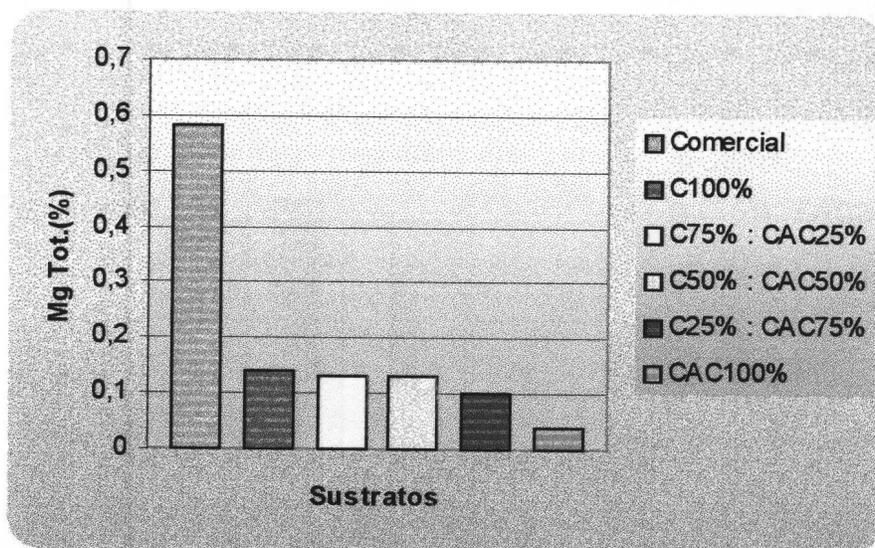
Anexo N° 6: Contenido de K Total (en %) de los sustratos .



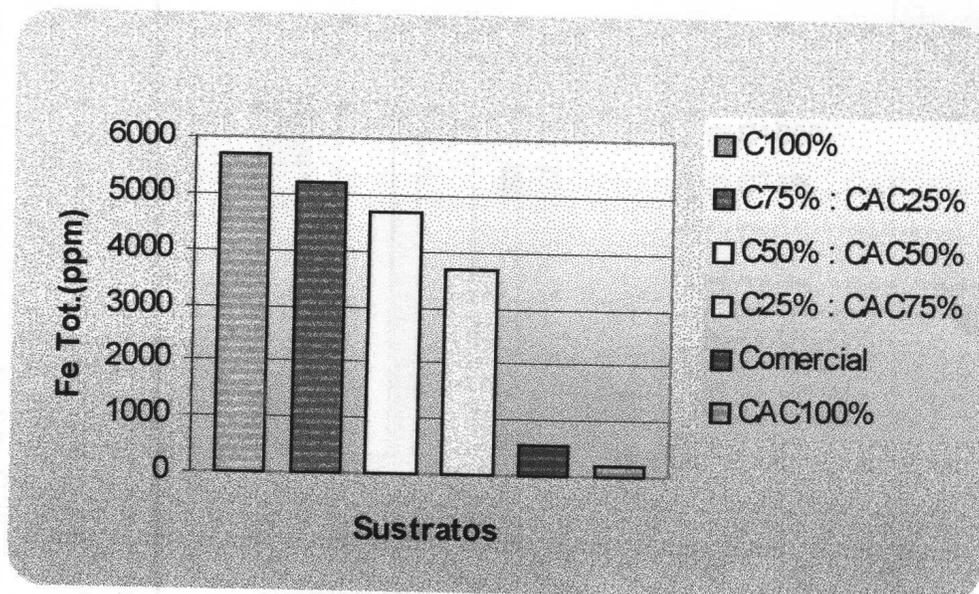
Anexo N° 7: Contenido de Ca Total (en %) de los sustratos.



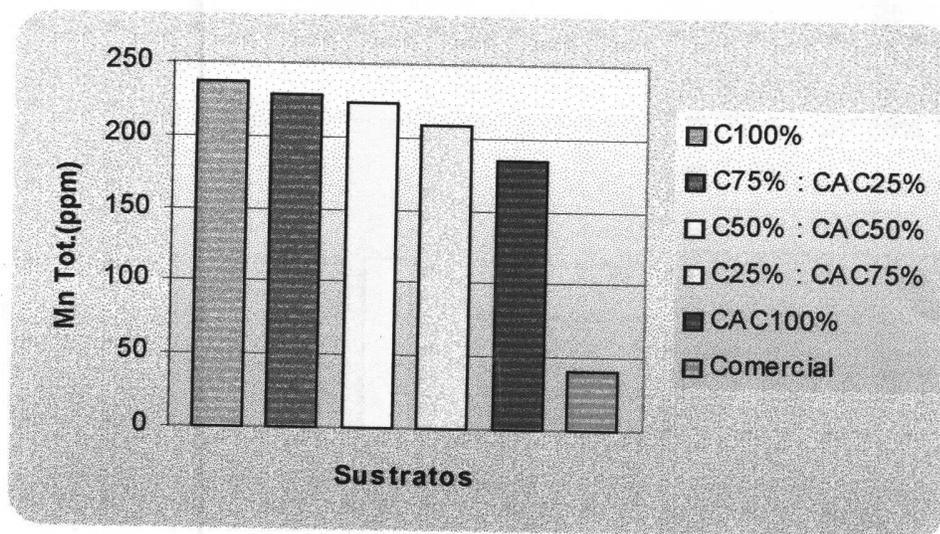
Anexo N° 8: Contenido de Mg Total (en%) de los sustratos .



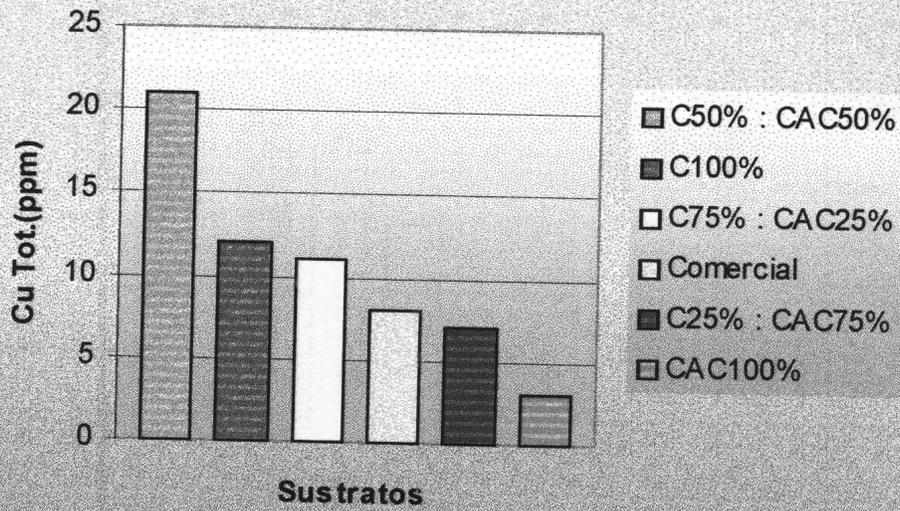
Anexo N° 9 : Contenido de Fe Total (en ppm) de los sustratos.



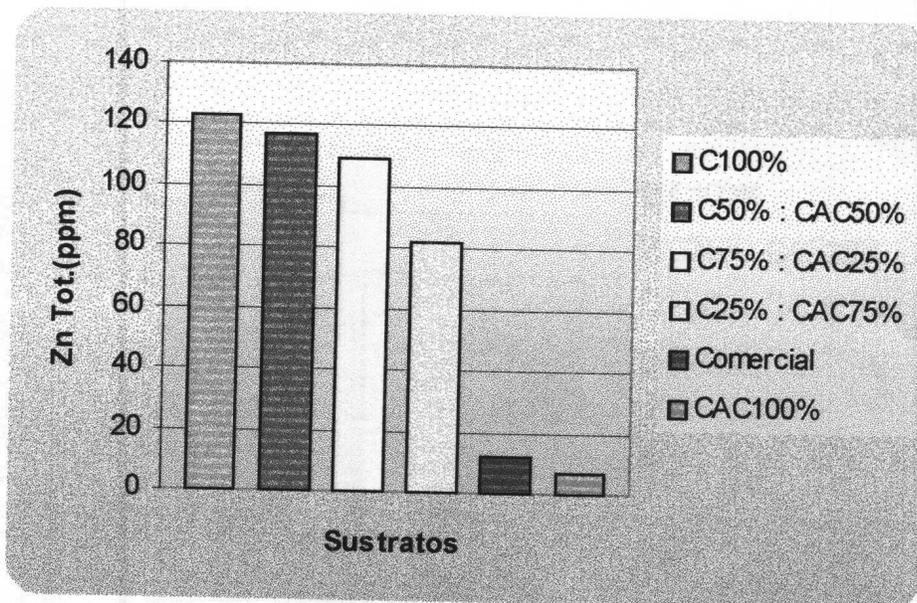
Anexo N° 10 : Contenido de Mn Total (en ppm) de los sustratos .



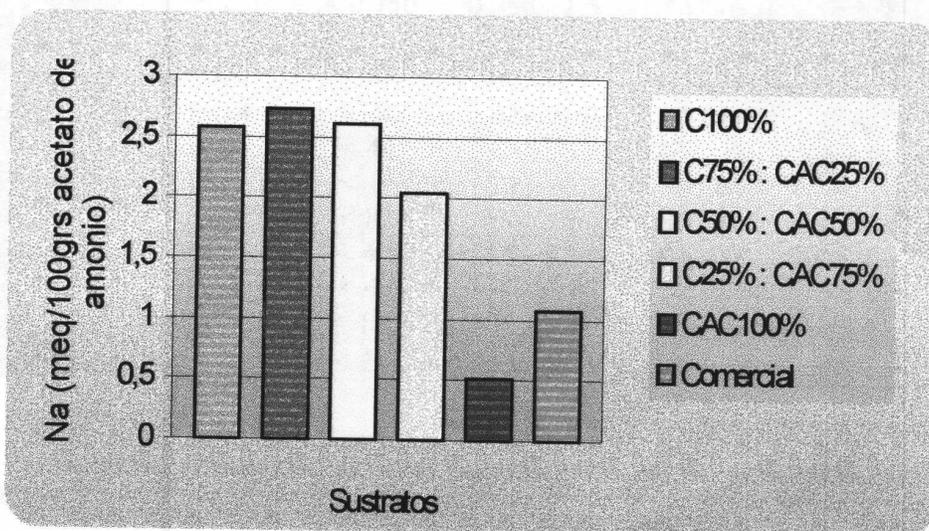
Anexo N° 11 : Contenido de Cu Total (en ppm) de los sustratos.



Anexo N° 12 : Contenido de Zn Total (en ppm) de los sustratos.



Anexo N° 13 : Contenido de Na (en meq/ 100 grs. en acetato de amonio) de los sustratos.



Anexo N° 14 : Guía de clasificación de aguas superficiales (valores promedio).

Parámetro	Unidad	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Conductividad eléctrica	mS/cm	< 0,750	0,750 - 1,5	1,501 - 3,0	> 3,0
SDT _{105 °C}	mg/l	< 500	500 - 999	1000 - 2000	> 2000
pH	0 - 14	< 7,42	7,42 - 7,69	7,7 - 8,0	> 8,0
Calcio	mg/l	< 44	44 - 76	77 - 140	> 140
Magnesio	mg/l	< 14	14 - 29	30 - 61	> 61
Sodio	mg/l	< 85	85 - 206	207 - 506	> 506
Alcalinidad	meq/l	< 4,5	4,5 - 8,5	8,6 - 16	> 16
Cloruro	mg/l	< 67	67 - 127	128 - 248	> 248
Dureza	mg/l CaCO ₃	< 170	170 - 310	311 - 600	> 600
RAS	(meq/l) ^{1/2}	< 2,9	2,9 - 5,2	5,3 - 10	> 10

Clase 1: Excelente. Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales.

Clase 2: Buena. Agua que puede tener efectos perjudiciales sólo en cultivos muy sensibles.

Clase 3: Regular. Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo adecuados.

Clase 4: Mala. Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.

Aguas con C.E. > 5 ms/cm deberán usarse como caso extremo y a ser posible en suelos livianos.

Anexo N° 15 : Análisis de varianza. Porcentaje de emergencia.

Días desde la siembra	Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
17	Bloque	3	6,26644			18
	Sustrato	5	4411,02687	167,14	0,0001	
	Error	15	26,39094			
	Total	23				
18	Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	6,26644			17,8
	Sustrato	5	46,7304610	147,74	0,0001	
	Error	15	31,6301			
Total	23					
19	Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	21,88116			17,7
	Sustrato	5	4702,44699	117,46	0,0001	
	Error	15	40,03328			
Total	23					
20	Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	49,45092			23,27
	Sustrato	5	4220,82255	50,05	0,0001	
	Error	15	84,3375			
Total	23					
21	Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	59,72376			26,4309 5
	Sustrato	5	3511,41056	24,05	0,0001	
	Error	15	145,98486			
Total	23					
22	Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	95,02383			23,21
	Sustrato	5	2722,9105	17,12	0,0001	
	Error	15	159,03394			
Total	23					
23	Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	97,02704			21,59
	Sustrato	5	2338,26430	15,88	0,0001	
	Error	15	155,67472			
Total	23					

24	Fuente	G.L.	C.M.	F₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	118,689904			16,37
	Sustrato	5	1621,15539	12,73	0,0001	
	Error	15	127,380732			
	Total	23				
25	Fuente	G.L.	C.M.	F₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	117,67546			15,7
	Sustrato	5	1459,19625	11,7	0,0001	
	Error	15	124,671269			
	Total	23				
26	Fuente	G.L.	C.M.	F₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	152,384841			14,95
	Sustrato	5	1384,77718	11,55	0,0001	
	Error	15	119,9			
	Total	23				
27	Fuente	G.L.	C.M.	F₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	140,018902			14,94827
	Sustrato	5	1357,31016	11,13	0,0001	
	Error	15	121,959237			
	Total	23				
28	Fuente	G.L.	C.M.	F₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	118,908202			13,19442
	Sustrato	5	1234,43664	12,58	0,0001	
	Error	15	98,136506			
	Total	23				
29	Fuente	G.L.	C.M.	F₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	158,277778			12,62429
	Sustrato	5	1081,96667	10,59	0,0002	
	Error	15	94,499918			
	Total	23				
30	Fuente	G.L.	C.M.	F₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	142,330293			12,02985
	Sustrato	5	909,547584	10,34	0,0002	
	Error	15	87,966387			
	Total	23				
31	Fuente	G.L.	C.M.	F₀	Pr > F	C.V (%)
	Bloque	3	133,649737			11,42855
	Sustrato	5	894,415681	11,15	0,0001	
	Error	15	80,210388			
	Total	23				

Anexo N° 16: Análisis de varianza. Altura (27 DDS).

ALTURA1 : 9/10/00					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,47799708			10,094
Sustrato	5	0,4527087	9,72	0,0001	
Error	39	0,04657963			
Total	47				

Anexo N° 17: Análisis de varianza por fecha para altura de plantín.

ALTURA 2 : 17/10/00 (35 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,92451714			11,23062
Sustrato	5	1,51598474	10,07	0,0001	
Fertilización	1	0,11958369	0,79	0,3793	
"Sust*fert"	5	0,23257675	1,54	0,2031	
Error	33	0,15058354			
Total	47				

ALTURA 3 : 23/10/00 (41 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	1,76867706			16,38178
Sustrato	5	58,650233	42,1	0,0001	
Fertilización	1	11,9375814	8,57	0,0061	
"Sust*fert"	5	0,71887305	0,52	0,7622	
Error	33	1,39303838			
Total	47				

ALTURA 4 : 30/10/00 (48 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	4,55815623			15,60205
Sustrato	5	181,33109	58,41	0,0001	
Fertilización	1	1182184	38,08	0,0001	
"Sust*fert"	5	2,10716	0,68	0,6426	
Error	33	3,10431626			
Total	47				

Anexo N° 18: Análisis de varianza por fecha, para peso fresco aéreo (PFA).

PFA 1 : 18/10/00 (36 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,1033533			30.73288
Sustrato	5	0,31591271	9,85	0,0001	
Fertilización	1	0,14907552	4,65	0,0384	
"Sust*fert"	5	0,00120896	0,04	0,9992	
Error	33	0,03205926			
Total	47				

PFA 2 : 24/10/00 (42 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,19543138			30.23298
Sustrato	5	2,73375086	22,93	0,0001	
Fertilización	1	2,17068867	18,21	0,0002	
"Sust*fert"	5	0,10743398	0,9	0,4919	
Error	33	0,1192114			
Total	47				

PFA 3 : 30/10/00 (48 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,40245048			23.03307
Sustrato	5	9,63055919	46,79	0,0001	
Fertilización	1	15,4956095	75,29	0,0001	
"Sust*fert"	5	0,27208482	1,32	0,279	
Error	33	0,20581421			
Total	47				

Anexo N° 19: Análisis de varianza por fecha para PSA (peso seco aéreo).

PSA 1 : 18/10/00 (36 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,00064631			42,0133
Sustrato	5	0,00186169	5,82	0,0006	
Fertilización	1	0,0008543	2,67	0,1116	
"Sust*fert"	5	0,00006148	0,19	0,9633	
Error	33	0,00031961			
Total	47				

PSA 2 : 24/10/00 (42 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,00193142			28,22937
Sustrato	5	0,01644302	21,38	0,0001	
Fertilización	1	0,01171875	15,24	0,0004	
"Sust*fert"	5	0,00065187	0,85	0,526	
Error	33	0,00076892			
Total	47				

PSA 3 : 30/10/00 (48 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,00349622			22.89
Sustrato	5	0,07691998	40.37	0,0001	
Fertilización	1	0,07221069	37.9	0,0001	
"Sust*fert"	5	0,00110653	0.58	0.7144	
Error	33	0.00190517			
Total	47				

Anexo N° 20: Análisis de varianza por fecha para PFR (peso fresco radicular).

PFR 1 : 18/10/00 (36 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,09351493			28,37354
Sustrato	5	0,21591365	17,82	0,0001	
Fertilización	1	0,01540833	1,27	0,2675	
"Sust*fert"	5	0,00797615	0,66	0,6574	
Error	33	0,01222446			
Total	47				

PFR 2 : 24/10/00 (42 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,03079735			42.46347
Sustrato	5	0,12725273	3,55	0,0112	
Fertilización	1	0,01950117	0,54	0,4659	
"Sust*fert"	5	0,03786836	1,06	0,4017	
Error	33	0,0358323			
Total	47				

PFR 3 : 30/10/00 (48 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,01676024			26.97656
Sustrato	5	0,37877781	9,39	0,0001	
Fertilización	1	0,08712552	2,16	0,1512	
"Sust*fert"	5	0,1731499	1,29	0,0041	
Error	33	0,04035721			
Total	47				

Anexo N° 21: Análisis de varianza por fecha para PSR (peso seco radicular).

PSR 1 : 18/10/00 (36 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,00013207			46,57955
Sustrato	5	0,00067638	8,26	0,0001	
Fertilización	1	0,00010951	1,34	0,2558	
"Sust*fert"	5	0,00003513	0,43	0,8251	
Error	33	0,00008189			
Total	47				

PSR 2 : 24/10/00 (42 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,00023993			45,55119
Sustrato	5	0,00081458	6,72	0,0002	
Fertilización	1	0,00032552	2,69	0,1107	
"Sust*fert"	5	0,0000224	0,18	0,9663	
Error	33	0,00012118			
Total	47				

PSR 3 : 30/10/00 (48 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,00021471			38,37225
Sustrato	5	0,00384638	16,03	0,0001	
Fertilización	1	0,00055013	2,29	0,1395	
"Sust*fert"	5	0,00009638	0,4	0,844	
Error	33	0,0002399			
Total	47				

Anexo N° 22 : Análisis de varianza por fecha para relación PFA/PFR (peso fresco aéreo/peso fresco radicular).

PFA/PFR 1 : 18/10/00 (36 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	2,62779216			44,81
Sustrato	5	8,7314874	11,02	0,0001	
Fertilización	1	0,23735778	0,3	0,5878	
"Sust*fert"	5	0,06393513	0,08	0,9948	
Error	33	0,79238887			
Total	47				

PFA/PFR 2:24/10/00 (42 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,65892019			39,22
Sustrato	5	18,2842874	14,32	0,0001	
Fertilización	1	10,1081037	7,92	0,0082	
"Sust*fert"	5	0,87744222	0,69	0,6365	
Error	33	1,2768238			
Total	47				

PFA/PFR 3:30/10/00 (48 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,44323079			30,2
Sustrato	5	8,23725219	12,75	0,0001	
Fertilización	1	46,1052458	71,34	0,0001	
"Sust*fert"	5	2,95597557	4,57	0,0028	
Error	33	0,6462757			
Total	47				

Anexo N° 23: Análisis de varianza por fecha para la relación PSA/PSR(peso seco aéreo/peso seco radicular).

PSA/PSR 1 : 18/10/00 (36 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	1,29868743			39,78
Sustrato	5	1,09960981	1,24	0,3135	
Fertilización	1	1,231767	1,39	0,2473	
"Sust*fert"	5	0,95651192	1,08	0,3908	
Error	33	0,88781437			
Total	47				

PSA/PSR 2:24/10/00 (42 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	4,369339			26,87
Sustrato	5	13,9974136	10,38	0,0001	
Fertilización	1	3,07102673	2,28	0,1408	
"Sust*fert"	5	0,99771584	0,74	0,5991	
Error	33	1,34851277			
Total	47				

PSA/PSR 3:30/10/00 (48 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	1,23629355			27,29
Sustrato	5	2,52859942	1,41	0,2473	
Fertilización	1	21,0510735	11,72	0,0017	
"Sust*fert"	5	2,45823094	1,37	0,2615	
Error	33	1,79689252			
Total	47				

Anexo N° 24 : Análisis de varianza por fecha para PFT(peso fresco total).

PFT 1 : 18/10/00 (36 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,33224948			27,28
Sustrato	5	0,58931021	8,41	0,0001	
Fertilización	1	0,26033802	3,71	0,0626	
"Sust*fert"	5	0,00928958	0,13	0,9838	
Error	33	0,0701133			
Total	47				

PFT 2:24/10/00 (42 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,37845885			31,43
Sustrato	5	3,28900563	13,2	0,0001	
Fertilización	1	2,60167969	10,44	0,0028	
"Sust*fert"	5	0,09089438	0,36	0,8689	
Error	33	0,24919626			
Total	47				

PFT 3:30/10/00 (48 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,53858555			20,65176
Sustrato	5	13,7472423	43,75	0,0001	
Fertilización	1	13,2588908	42,2	0,0001	
"Sust*fert"	5	0,06015294	0,19	0,9637	
Error	33	0,31422229			
Total	47				

Anexo N° 25: Análisis de varianza por fecha para PST(peso seco total).

PST 1 : 18/10/00 (36 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,00123003			40,5
Sustrato	5	0,00463833	7,36	0,0001	
Fertilización	1	0,00157552	2,5	0,1234	
"Sust*fert"	5	0,00013146	0,21	0,9565	
Error	33	0,00063022			
Total	47				

PST 2:24/10/00 (42 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,0034158			30,9
Sustrato	5	0,0234349	16,34	0,0001	
Fertilización	1	0,01595052	11,12	0,0021	
"Sust*fert"	5	0,00074302	0,52	0,7608	
Error	33	0,00143445			
Total	47				

PST 3:30/10/00 (48 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,0050647			23,1
Sustrato	5	0,1133411	39,76	0,0001	
Fertilización	1	0,08536642	29,94	0,0001	
"Sust*fert"	5	0,0146751	0,51	0,7631	
Error	33	0,00285092			
Total	47				

Anexo N° 26: Análisis de varianza por fecha para la relación PST/PFT (peso seco total/peso fresco total).

PST/PFT 1 : 18/10/00 (36 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,00011758			15,51771
Sustrato	5	0,00031791	3,44	0,0131	
Fertilización	1	0,0000293	0,32	0,5774	
"Sust*fert"	5	0,00011049	1,19	0,3332	
Error	33	0,0000925			
Total	47				

PST/PFT 2 : 24/10/00 (42 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,00038167			14,9831
Sustrato	5	0,00011464	0,88	0,5075	
Fertilización	1	0,00024936	1,91	0,1766	
"Sust*fert"	5	0,00008465	0,65	0,6656	
Error	33	0,0001308			
Total	47				

PST/PFT 3 : 30/10/00 (48 DDS)					
Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	0,00011756			15,92285
Sustrato	5	0,00060389	7.21	0,0001	
Fertilización	1	0,00011250	1.34	0,2547	
"Sust*fert"	5	0,00038610	4.61	0,0027	
Error	33	0,00008373			
Total	47				

Anexo N° 27 : Análisis de varianza de la temperatura de sustrato (° C) y su correspondiente prueba Tukey.

Fuente	G.L.	C.M.	F ₀	Pr > F	C.V (%)
Bloque	3	165,932039			5,99
Sustrato	5	64,22658	17,62	0,0001	
Día	21	426,556657	117		
"Sust*día"	105	3,205611	0,88		
Error	393	3,64			
Total	527				

Tratamiento	Temperatura promedio
C100%	32.6 A
C75% : CAC25%	32.49 A
C50% : CAC50%	32.45 A
C25% : CAC 75%	31.95 AB
CAC100%	31.19 BC
Comercial	30.47 C

Anexo N° 28: Pruebas de comparación de medias (PDIFF) de PFR, a los 48 DDS.

$H_0 : \mu_i = \mu_j$

$H_A : \mu_i \neq \mu_j$

Si $P(T > T_0) < \alpha \Rightarrow$ Rechazo $H_0 \quad \alpha = 0.05$

Probabilidad de encontrar valores $> a T_0$ en la tabla T Student:

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	*	0,369	0,8238	0,4265	0,0001	0,2033	0,0001	0,0144	0,0346	0,0239	0,8443	0,4703
2	0,369	*	0,4973	0,9165	0,0001	0,7011	0,0009	0,104	0,2048	0,1547	0,2756	0,8579
3	0,8238	0,4973	*	0,5653	0,0001	0,2908	0,0001	0,0244	0,0561	0,0396	0,6755	0,6162
4	0,4265	0,9165	0,5653	*	0,0001	0,6254	0,0007	0,0847	0,1711	0,1278	0,3231	0,9408
5	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	*	0,0002	0,36	0,0064	0,0024	0,0037	0,0001	0,0001
6	0,2033	0,7011	0,2908	0,6254	0,0002	*	0,0025	0,2078	0,3713	0,2928	0,1442	0,5742
7	0,0001	0,0009	0,0001	0,0007	0,36	0,0025	*	0,0556	0,0242	0,0349	0,0001	0,0005
8	0,0144	0,104	0,0244	0,0847	0,0064	0,2078	0,0556	*	0,7076	0,8306	0,0089	0,0729
9	0,0346	0,2048	0,0561	0,1711	0,0024	0,3713	0,0242	0,7076	*	0,8717	0,0221	0,15
10	0,0239	0,1547	0,0396	0,1278	0,0037	0,2928	0,0349	0,8306	0,8717	*	0,015	0,1112
11	0,8443	0,2756	0,6755	0,3231	0,0001	0,1442	0,0001	0,0089	0,0221	0,015	*	0,36
12	0,4703	0,8579	0,6162	0,9408	0,0001	0,5742	0,0005	0,0729	0,15	0,1112	0,36	*

OBSERVACIONES :

N°	Sustrato	Nivel de fertilización
1	CAC100%	0
2	CAC100%	1
3	C100%	0
4	C100%	1
5	C75% : CAC25%	0
6	C75% : CAC25%	1
7	C50% : CAC50%	0
8	C50% : CAC50%	1
9	C25% : CAC75%	0
10	C25% : CAC75%	1
11	Comercial	0
12	Comercial	1

Referencias : 0 - sin fertilización
1 - con fertilización

Anexo N° 29: Prueba de comparación de medias (PDIFF) de la relación PFA/PFR, a los 48 DDS.

$H_0 : u_i = u_j$

$H_A : u_i \neq u_j$

Si $P(T > T_0) < \alpha \Rightarrow$ Rechazo $H_0 \quad \alpha = 0.05$

Probabilidad de encontrar valores $>$ a T_0 en la tabla T Student:

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	*	0,0285	0,0362	0,0007	0,1335	0,0001	0,0002	0,0001	0,0689	0,0001	0,8906	0,0209
2	0,0285	*	0,9146	0,1638	0,4569	0,0001	0,533	0,0001	0,6842	0,0278	0,0388	0,8942
3	0,0362	0,9146	*	0,135	0,5236	0,0001	0,4657	0,0001	0,7643	0,0217	0,049	0,8102
4	0,0007	0,1638	0,135	*	0,0367	0,0367	0,4328	0,0006	0,0756	0,3866	0,0011	0,206
5	0,1335	0,4569	0,5236	0,0367	*	0,0001	0,176	0,0001	0,7342	0,0044	0,1709	0,3816
6	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	*	0,0001	0,2011	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001
7	0,0002	0,533	0,4657	0,4328	0,176	0,0001	*	0,0001	0,3057	0,1041	0,0089	0,6232
8	0,0001	0,0001	0,0001	0,0006	0,0001	0,2011	0,0001	*	0,0001	0,0063	0,0001	0,0001
9	0,0689	0,6842	0,7643	0,0756	0,7342	0,0001	0,3057	0,0001	*	0,0105	0,0908	0,5899
10	0,0001	0,0278	0,0217	0,3866	0,0044	0,0002	0,1041	0,0063	0,0105	*	0,0001	0,0375
11	0,8906	0,0388	0,049	0,0011	0,1709	0,0001	0,0089	0,0001	0,0908	0,0001	*	0,0288
12	0,0209	0,8942	0,8102	0,206	0,3816	0,0001	0,6232	0,0001	0,5899	0,0375	0,0288	*

OBSERVACIONES :

N°	Sustrato	Nivel de fertilización
1	CAC100%	0
2	CAC100%	1
3	C100%	0
4	C100%	1
5	C75% : CAC25%	0
6	C75% : CAC25%	1
7	C50% : CAC50%	0
8	C50% : CAC50%	1
9	C25% : CAC75%	0
10	C25% : CAC75%	1
11	Comercial	0
12	Comercial	1

Referencias : 0 - sin fertilización
1 - con fertilización

Anexo N° 30: Prueba de comparación de medias (PDIFF) de la relación PST/PFT,
a los 48 DDS.

$H_0 : \mu_i = \mu_j$

$H_A : \mu_i \neq \mu_j$

Si $P(T > T_0) < \alpha \Rightarrow$ Rechazo $H_0 \quad \alpha = 0.05$

Probabilidad de encontrar valores $>$ a T_0 en la tabla T Student:

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	*	0,0008	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0006	0,0001	0,0001	0,1438	0,0002
2	0,0008	*	0,1739	0,7949	0,3747	0,535	0,1596	0,9049	0,0313	0,1551	0,0362	0,0362
3	0,0001	0,1739	*	0,2676	0,6276	0,451	0,961	0,2132	0,3965	0,9483	0,0011	0,374
4	0,0001	0,7949	0,2676	*	0,528	0,7176	0,2476	0,8882	0,0553	0,2414	0,02	0,8223
5	0,0001	0,3747	0,6276	0,528	*	0,7865	0,5935	0,4412	0,1866	0,5826	0,0041	0,6834
6	0,0001	0,535	0,451	0,7176	0,7865	*	0,4226	0,6159	0,1144	0,4136	0,0083	0,8907
7	0,0001	0,1596	0,961	0,2476	0,5935	0,4226	*	0,1964	0,4239	0,9874	0,001	0,3487
8	0,0006	0,9049	0,2132	0,8882	0,4412	0,6159	0,1964	*	0,0409	0,1911	0,0277	0,7152
9	0,0001	0,0313	0,3965	0,0553	0,1866	0,1144	0,4239	0,0409	*	0,433	0,0001	0,0876
10	0,0001	0,1551	0,9483	0,2414	0,5826	0,4136	0,9874	0,1911	0,433	*	0,0009	0,3408
11	0,1438	0,0362	0,0011	0,02	0,0041	0,0083	0,001	0,0277	0,0001	0,0009	*	0,0116
12	0,0002	0,0362	0,374	0,8223	0,6834	0,8907	0,3487	0,7152	0,0876	0,3408	0,0116	*

OBSERVACIONES :

N°	Sustrato	Nivel de fertilización
1	CAC100%	0
2	CAC100%	1
3	C100%	0
4	C100%	1
5	C75% : CAC25%	0
6	C75% : CAC25%	1
7	C50% : CAC50%	0
8	C50% : CAC50%	1
9	C25% : CAC75%	0
10	C25% : CAC75%	1
11	Comercial	0
12	Comercial	1

Referencias : 0 - sin fertilización

1 - con fertilización

Anexo N° 31 : Análisis de correlación entre altura-PFA, altura-PSA, PFA-PFR, PSA-PSR, PFA-PFT, PFR-PFT, PSA -PST y PSR-PST, a los 48 días de la siembra.

Altura y PFA						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
Altura	11,2928	4,9498	4,0833	21,7083	0,91074	0,0001
PFA	1,9696	1,2463	0,295	4,9225		

Altura y PSA						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
Altura	11,2928	4,9498	4,9498	21,7083	0,91791	0,0001
PSA	0,1906	0,1068	0,1068	0,4250		

PFA Y PFR						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
PFA	1,9696	1,2463	0,295	4,9225	0,48501	0,0005
PFR	0,7447	0,3	0,2925	1,5250		

PSA Y PSR						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
PSA	0,1906	0,1068	0,0275	0,4250	0,82146	0,0001
PSR	0,0404	0,0248	0,01	0,1175		

PFA Y PFT						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
PFA	1,9696	1,2463	0,295	4,9225	0,9827	0,0001
PFT	2,7143	1,4163	0,5875	6,1325		

PFR Y PFT						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
PFR	0,7447	0,3	0,2925	1,5250	0,63858	0,0001
PFT	2,7143	1,4163	0,5875	6,1325		

PSA Y PST						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
PSA	0,1906	0,1068	0,0275	0,4250	0,99388	0,0001
PST	0,231	0,1279	0,0375	0,5050		

PSR Y PST						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
PSR	0,0404	0,0248	0,01	0,1175	0,87941	0,0001
PST	0,231	0,1279	0,0375	0,5050		

Anexo N° 32: Análisis de correlación entre las variables porcentaje de emergencia y temperatura del sustrato.

Compost 100%						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
% de emergencia	28,4776	24,1689	0	76,923	0,04125	0,7543
Temp. sustrato	33,7317	4,254	23	41		

Compost 75% : CAC 25%						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
% de emergencia	51,6186	30,3562	0,9615	87,5	-0,00502	0,9697
Temp. sustrato	33,1833	4,0145	24	41		

Compost 50% : CAC 50%						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
% de emergencia	46,85	46,85	2,8846	84,615	0,19938	0,1267
Temp. sustrato	36,3133	36,3133	26	40		

Compost 25 % : CAC 75%						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
% de emergencia	57,2115	20,3254	15,385	83,654	0,06616	0,6155
Temp. sustrato	32,6217	3,811	23,5	40		

CAC 100%						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
% de emergencia	88,3974	4,0209	78,846	95,192	-0,09389	0,4755
Temp. sustrato	31,89	3,658	23,8	38,2		

Comercial						
Variable	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
% de emergencia	82,7724	13,386	50	96,154	-0,2705	0,0366
Temp. sustrato	31,14	3,9293	22,2	39		

Anexo N° 33 : Análisis de correlación entre la temperatura de sustrato y la temperatura ambiente.

Compost 100%						
Variable	Media	Desvío estandar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
Temp. sustrato	29,5855	7,2799	13,25	39,125	0,80042	0,0001
Temp. ambiente	27,6697	5,6619	12,55	36,57		

Compost 75% : CAC 25%						
Variable	Media	Desvío estandar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
Temp. sustrato	27,6774	7,1527	13	40	0,65832	0,0001
Temp. ambiente	27,6697	5,6619	12,55	36,57		

Compost 50% : CAC 50%						
Variable	Media	Desvío estandar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
Temp. sustrato	28,2355	7,3888	13	39	0,67454	0,0001
Temp. ambiente	27,6697	5,6619	12,55	36,57		

Compost 25% : CAC 75%						
Variable	Media	Desvío estandar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
Temp. sustrato	28,0452	7,2563	13,5	38	0,66397	0,0001
Temp. ambiente	27,6697	5,6619	12,55	36,57		

CAC 100%						
Variable	Media	Desvío estandar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
Temp. sustrato	26,5161	6,7092	13	38,2	0,65305	0,0001
Temp. ambiente	27,6697	5,6619	12,55	36,57		

Comercial						
Variable	Media	Desvío estandar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de correlación	$\hat{\alpha}$
Temp. sustrato	25,8774	6,2178	13	37,5	0,64524	0,0001
Temp. ambiente	27,6697	5,6619	12,55	36,57		