



FACULTAD DE
AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

**EVALUACION AGRONOMICA DE CUATRO
SISTRATOS EN LA PRODUCCION
DE PLANTINES DE TOMATE**

por

Roberto César GUELVENZU SILVERA

TOMO I

TESIS

2001

MONTEVIDEO

URUGUAY



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE CUATRO SUSTRATOS EN LA
PRODUCCIÓN DE PLANTINES DE TOMATE**

Tomo I

por

Roberto César GUELVENZU SILVERA

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

**Montevideo
Uruguay
2001**

Tesis aprobada por:

Ing. Agr. Margarita García.

Ing. Agr. Héctor González

Ing. Agr. Estela Priore.

Fecha: 17 de abril del 2001.

Autor:
Roberto Cesar Guelvenzu Silvera.

Nota: 10

AGRADECIMIENTOS.

Deseo agradecer a todas las personas que colaboraron en este trabajo final:

Ing. Agr. Margarita García; Facultad de agronomía, cátedra de horticultura, Montevideo.

Ing. Agr. Hector González; Facultad de agronomía, cátedra de horticultura, Montevideo.

Ing. Agr. Estela Priore; Facultad de agronomía, cátedra de estadística, Montevideo.

Ing Agr. Nelson Larzabal Jefe de operaciones del Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía,
Canelones

Sr. Ricardo Aguiar, Funcionario del Centro Regional Sur, Facultad de agronomía, Canelones.

Ing. Agr. Roberto Do Campo; Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, "Las Brujas",
Canelones.

Tec. Agr. Roberto Quintana; Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, "Las Brujas",
Canelones.

Ing. Agr. O. Rivero; Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, D. de Suelos y Agua,
Montevideo.

Ing. Agr. Alvérico Banquerque Productor y técnico asesor privado en empresas productoras de
plantines hortícolas. Montevideo.

Familia Arbelo, Empresa productora hortícola, Rincón del Cerro, Montevideo.

En especial a mi familia por el incondicional apoyo, y particularmente a mi hija Sofía, porque el tiempo dedicado a este trabajo fueron en parte horas no dedicadas a ella.

TABLA DE CONTENIDOS.

	Pagina
TOMO I	
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE GRÁFICOS.....	IX
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	4
2.1. EL PROCESO DE GERMINACION Y EMERGENCIA.....	4
2.2. EL PROCESO DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL PLANTIN.....	12
2.3. EL AMBIENTE DE LA RAÍZ: LOS SUSTRATOS.....	19
2.3.1. <u>Componentes del medio de cultivo</u>	23
2.3.2. <u>Las propiedades físicas de los sustratos</u>	28
2.3.3. <u>Las propiedades químicas de los sustratos</u>	35
2.3.4. <u>Las propiedades biológicas de los sustratos</u>	40
2.4. ANTECEDENTES METODOLOGICOS.....	42
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	43
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANALISIS ESTADISTICO.....	43
3.2. COMPOSICION DE LOS SUSTRATOS EVALUADOS.....	44
3.3. MANEJO DE LOS ENSAYOS, CRITERIOS Y MATERIALES EMPLEADOS.....	45
3.4. ANÁLISIS DE LOS SUSTRATOS.....	48
3.5. ANÁLISIS DEL AGUA DE RIEGO.....	50
3.6. ANÁLISIS DE SEMILLAS.....	50

3.7. REGISTROS DE TEMPERATURAS.....	50
3.8. MONITOREO DE LA SALINIDAD DEL SUSTRATO EN EL ENSAYO DE GERMINACION.....	51
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1. ANALISIS DE LOS SUSTRATOS.....	52
4.1.1. <u>Caracterización química</u>	52
4.1.2. <u>Caracterización física</u>	54
4.2. ANÁLISIS DE LA GERMINACION.....	57
4.3. REGISTRO DE LAS TEMPERATURAS.....	58
4.4. ANALISIS DEL AGUA DE RIEGO.....	60
4.5. EXPERIMENTO DE GERMINACION – EMERGENCIA.....	61
4.5.1. <u>Evolución de la emergencia de los plantines en el tiempo</u>	61
4.5.2. <u>Factores que explican el resultado del ensayo de germinación-emergencia</u>	67
4.6. EXPERIMENTO DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL PLANTIN.....	73
4.6.1. <u>Evolución del diámetro del cuello del tallo del plantin</u>	73
4.6.2. <u>Evolución de la altura del plantin</u>	80
4.6.3. <u>Evolución del número de hojas de los plantines</u>	89
4.6.4. <u>Peso seco y fresco de la raíz y la parte aérea al momento del trasplante en el experimento sin fertilización</u>	89
4.6.5. <u>Peso seco y fresco de la parte aérea y la raíz al momento del trasplante en el experimento con fertilización</u>	94
4.7. OBSERVACIONES SOBRE EL ESTADO SANITARIO DE LOS PLANTINES.....	101
5. CONCLUSIONES.....	102
6. RESUMEN.....	104
7. BIBLIOGRAFIA.....	105
TOMO II	
8. ANEXOS.....	108

LISTA DE CUADROS.

Numero.	Titulo.	Pagin
2.1.	Días a la emergencia y porcentajes de germinación según la temperatura del suelo.....	7
2.2.	Porcentaje de germinación con respecto al testigo (0) de 5 líneas de tomate en 4 concentraciones de NaCl (g/l).....	10
2.3.	Porcentaje de germinación de semillas de Lolium multiflorum en función de la salinidad (medida como conductividad eléctrica C.E.) en tres sustratos.....	11
2.4.	Producción de materia seca y extracción de nutrientes por un cultivar de tomate durante la fase de formación de mudas.....	16
2.5.	Valores de la relación carbono / nitrógeno (C/N) en diferentes materiales orgánicos.....	25
2.6.	Contribución de los diferentes mecanismos a la absorción de nutrientes por las plantas.....	27
3.1.	Sustratos evaluados en el ensayo.....	44
3.2.	Composición química del fertilizante líquido usado para fertirriego (Aminon Solo).....	48
3.3.	Metodología de evaluación de las propiedades físicas.....	49
3.4.	Metodología de evaluación de las propiedades químicas.....	49
4.1.	Análisis químico de los sustratos y los materiales que los componen.....	52
4.2.	Propiedades físicas obtenidas a partir de las curvas de extracción de agua de los sustratos.....	55
4.3.	Frecuencia de riegos en función del agua disponible, a dos niveles de evaporación, para un máximo crecimiento en plantas en contenedor de 1 litro.....	57
4.4.	Registro de las temperaturas durante la germinación y emergencia.....	58
4.5.	Registro de las temperaturas máximas y mínimas del aire durante el periodo de los ensayos.....	60
4.6.	Análisis químico del agua usada para riego.....	61
4.7.	Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 8.....	62

4.8.	Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 9.....	63
4.9.	Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 10.....	63
4.10.	Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 11.....	64
4.11.	Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 12.....	65
4.12.	Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 13.....	65
4.13.	Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 14.....	65
4.14.	Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 15.....	66
4.15.	Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 16.....	67
4.16.	Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 17.....	67
4.17.	Variación del contenido de sales presentes en los sustratos, medido como conductividad eléctrica.....	68
4.18.	Peso húmedo de la raíz al momento del trasplante en el experimento sin fertilización.....	90
4.19.	Peso húmedo de la parte aérea al momento del trasplante en el experimento sin fertilización.....	90
4.20.	Peso seco de la raíz al momento del trasplante en el experimento sin fertilización.....	91
4.21.	Peso seco de la parte aérea al momento del trasplante en el experimento sin fertilización.....	92
4.22.	Pesos promedio en gramos de la raíz y la parte aérea como peso seco y húmedo, y diferentes relaciones de los mismos. (experimento sin fertilización).....	93
4.23.	Peso húmedo de la raíz al momento del trasplante en el experimento con fertilización.....	94
4.24.	Peso húmedo de la parte aérea al momento del trasplante en el experimento con fertilización.....	94
4.25.	Peso seco de la raíz al momento del trasplante en el experimento con fertilización.....	95
4.26.	Peso seco de la parte aérea al momento del trasplante en el experimento con fertilización.....	96

4.27.	Pesos promedio en gramos de la raíz y la parte aérea como peso seco y húmedo, y diferentes relaciones de los mismos. (experimento con fertilización).....	97
4.28.	Esquema de los ensayos que relaciona, los periodos evaluados con la edad de los plantines y las aplicaciones de los fertilizantes.....	100

LISTA DE FIGURAS.

Número.	Título.	Página.
2.1.	Comparación de la composición de un suelo mineral y un sustrato orgánico....	21
2.2.	Influencia del tamaño de los poros en la retención de agua por fuerzas capilares.....	30
2.3.	Ilustración del fenómeno de la ósmosis y potencial osmótico.....	31
2.4.	Influencia del espesor del sustrato en la cantidad de agua retenida (zona rayada).....	31
2.5.	Efecto de la presión en la densidad aparente y la porosidad.....	32
3.1.	Esquema de la herramienta de madera utilizada para uniformizar la profundidad de siembra en 6 mm.....	46
3.2.	Composición química de los fertilizantes foliares.....	47

LISTA DE GRAFICOS.

Número.	Título.	Página
2.1.	Curva de germinación típica de una muestra de semillas.....	5
2.2.	Curvas de desorción o de liberación de agua típicas para distintos tipos de suelo.....	33
2.3.	Curva de desorción o de liberación de agua, mostrando los diferentes parámetros que proporciona.....	34
2.4.	Variación de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) de un suelo, en función del Ph.....	38
2.5.	Influencia del Ph en la asimilabilidad de los nutrientes en (a) suelo mineral y (b) sustrato orgánico.....	39
4.1.	Curvas de desorción (o de extracción) de agua para los cuatros sustratos.....	54
4.2.	Composición física de los sustratos en porcentaje en volumen.....	56
4.3.	Emergencia de los plantines de tomate al octavo día desde la siembra.....	62
4.4.	Emergencia de los plantines de tomate al noveno día desde la siembra.....	63
4.5.	Emergencia de los plantines de tomate al décimo día desde la siembra.....	64
4.6.	Emergencia de los plantines de tomate al decimoprimer día desde la siembra....	64
4.7.	Emergencia de los plantines de tomate al decimosegundo día desde la siembra	65
4.8.	Emergencia de los plantines de tomate al decimoterter día desde la siembra....	66
4.9.	Emergencia de los plantines de tomate al decimocuarto día desde la siembra....	66
4.10.	Emergencia de los plantines de tomate al decimoséptimo día desde la siembra.	67
4.11.	Evolución comparada de la conductividad y la emergencia en el sustrato con arena.....	70
4.12.	Evolución comparada de la conductividad y la emergencia en el sustrato con arroz.....	70

4.13.	Evolución comparada de la conductividad y la emergencia en el sustrato con orujo.....	71
4.14.	Evolución comparada de la conductividad y la emergencia en el sustrato con turba.....	72
4.15.	Evolución comparada de la emergencia en los cuatros sustratos.....	73
4.16.	Evolución del diámetro del cuello del tallo (sustrato con arena).....	74
4.17.	Evolución del diámetro del cuello del tallo (sustrato con arroz).....	75
4.18.	Evolución del diámetro del cuello del tallo (sustrato con orujo).....	76
4.19.	Evolución del diámetro del cuello del tallo (sustrato con turba).....	77
4.20.	Evolución comparada del diámetro del cuello del tallo en los cuatro sustratos sin fertilizar.....	78
4.21.	Evolución comparada del diámetro del cuello del tallo en los cuatro sustratos con fertilización.....	79
4.22.	Evolución de la altura del plantin de tomate (sustrato con arena).....	81
4.23.	Evolución de la altura del plantin de tomate (sustrato con arroz).	83
4.24.	Evolución de la altura del plantin de tomate (sustrato con orujo).	85
4.25.	Evolución de la altura del plantin de tomate (sustrato con turba).	86
4.26.	Evolución comparada de la altura de los plantines de tomate (en los diferentes sustratos sin fertilización).	87
4.27.	Evolución comparada de la altura de los plantines de tomate (en los diferentes sustratos con fertilización).	88
4.28.	Peso húmedo de la raíz y la parte aérea al momento del trasplante en el experimento sin fertilización.....	91
4.29.	Peso seco de la raíz y la parte aérea al momento del trasplante en el experimento sin fertilización.....	92
4.30.	Peso húmedo de la raíz y de la parte aérea al momento del trasplante en el experimento con fertilización.....	95
4.31.	Peso seco de la raíz y de la parte aérea al momento del trasplante en el experimento con fertilizante.....	96

1. INTRODUCCIÓN.

En los últimos quince años la horticultura nacional ha experimentado una serie de cambios, por un lado están los políticos, que en la economía en general y en la horticultura en particular fomentan una apertura al mercado regional y mundial con una creciente baja de aranceles, siendo el paradigma de los distintos gobiernos de turno, el libre mercado, la libre competencia, la privatización o la desregulación de las actividades económicas del estado. Si consideramos que el sector hortícola tradicionalmente esta vinculado al mercado interno, y no ha logrado desarrollar una corriente exportadora importante y continua, podemos inferir que actualmente la competencia por el mercado interno se ha intensificado, porque a los productores locales se les suma los regionales (Argentina y Brasil) con productos frescos o elaborados y a todo esto se debe agregar las importaciones de ultramar con productos frescos, congelados o enlatados muchas veces subsidiados.

Por otro lado están los cambios técnicos, que han sido impulsados principalmente por empresas importadoras que han traído paquetes tecnológicos de Europa, Estados Unidos e Israel, siendo los de mayor impacto los genéticos con la adopción generalizada de híbridos, que se "adaptan a las tendencias del mercado consumidor", aumentan los rendimientos pero requieren mayores niveles de fertilización, mayor protección sanitaria, toleran menos la competencia de las malezas, necesitan un mejor manejo del riego y del ambiente en general (lo que requiere la introducción de la plasticultura en el sector), Todos estos cambios tecnológicos que apuntan a mayores rendimientos requieren de mayor consumo de insumos y energía, que hace necesario optimizar racionalmente su uso, para lograr un resultado económico y sustentable a largo plazo.

La semilla híbrida tiene que ser necesariamente comprada por el productor a valores sensiblemente superiores que las variedades, e infinitamente más caras que las variedades de producción propia (caseras). Este nuevo costo es muy importante en los sistemas tradicionales con siembra directa o almácigos en tierra, en donde la relación semilla sembrada planta emergida o trasplantada es muy baja. Ante la necesidad de optimizar esta relación se ha adoptado la siembra en contenedores o bandejas, en estructuras especializadas construidas para tal fin, (cámaras de germinación, invernáculos con mesadas y sistemas de riego, control del ambiente) y la adopción de sustratos que prescinden del suelo mineral con mejores condiciones físico – químicas para la germinación emergencia y desarrollo de los plantines.

Bajo la denominación de sustratos se encuentran hoy en el mercado diversos materiales o mezclas de los mismos, importados de muy diversos orígenes, que generalmente no poseen información sobre las propiedades físicas o químicas y cuando la tiene no es posible interpretar. También es posible encontrar en la región materiales que puros o formando parte de mezclas, prometen tener un buen comportamiento como sustratos en sistemas de producción de plantines hortícolas, pero aún no han sido evaluados científicamente.

Independientemente del material genético que sé este utilizando, se puede considerar que un plantin de alta calidad es un punto de partida para cualquier sistema de cultivo y que para obtenerlo es necesario conocer más sobre los sustratos. La mayor parte del manejo que

se desarrolla sobre los plantines debería estar en función de las características del sustrato empleado, el tiempo de permanencia hasta el trasplante y las particularidades de la especie. Este trabajo prueba cuatro sustratos, obtenidos de la mezcla de materiales de origen nacional con una base orgánica (vermicompost de ave), en la producción de plantines de tomate, para las condiciones que poseen (o que fácilmente pueden adoptar) los productores uruguayos.

Este trabajo se inscribe dentro de las líneas de investigación y docencia que lleva adelante la Cátedra de Horticultura de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República. Desde el año de 1990 desarrolla el proyecto de "Propagación y producción de plantines" y el proyecto "Manejos de suelos y recuperación de su materia orgánica".

En el ámbito nacional en la propagación de plantines hortícolas existen antecedentes en el INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). Esta institución evaluó un sustrato elaborado con desechos ruminales vermicompostados por un frigorífico uruguayo de vacunos, a través de la producción de mudas de morrón y tomate. Se concluyó que si bien el vermicompost puede presentar inconvenientes como alto nivel de malezas y niveles de nutrientes muy variables, los resultados obtenidos son muy alentadores y constituyen un punto de partida para próximas investigaciones en el tema. (Arbolea y Do Campo, comunicación personal). En otro ensayo se comparó el vermicompost con un sustrato comercial, dando como resultado que con el primero se obtuvo mayor cantidad y calidad de plantines de lechuga, y además los niveles de fertilización nitrogenada requeridos fueron menores (Strauch y Gilsanz, comunicación personal).

Por su parte la Facultad de Ciencias a través de su Cátedra de Ecología, viene trabajando desde 1987 en el estudio del comportamiento de la lombriz tipo californiana y su efecto en el procesamiento (vermicompostados) de la basura orgánica y restos vegetales del Mercado Modelo.

El PROBIDES (Proyecto para la Biodiversidad y Desarrollo Sustentable), tiene una línea de trabajo orientada a la búsqueda de alternativas productivas para los pequeños productores del departamento de Rocha, fomentando la producción de compost y vermicompost como base para el desarrollo de una horticultura orgánica. En convenio con la Cátedra de Microbiología de la Facultad de Agronomía se ha investigado el compostado y vermicompostado de la cascara de arroz mezclada con estiércol de ave, de cerdo o vacuno producido en el mismo establecimiento. A partir de esta línea de investigación surge la idea de utilizar estos compost y vermicompost como base para la producción de sustratos para la producción de plantines. En este sentido se evaluaron distintos sustratos obtenidos con suelo mezclado en distintas proporciones con los mencionados compost y vermicompost. Esto dio origen a un trabajo de tesis propuesto por la Cátedra de Horticultura de la Facultad de Agronomía titulado: "Evaluación agronómica de sustratos orgánicos en la producción de plantines de tomate"(R. Barboza y S. Elola 1997) y "Evaluación agronómica de sustratos orgánicos en la producción de plantines de Morrón" (C. Rehermann, 2000). Estas tesis son el antecedente más reciente al presente trabajo.

En este contexto, se plantean para este trabajo final los siguientes objetivos:

1. Evaluar agronómicamente los sustratos con plantines de tomate.

- 1.1. **Evaluar las características físicas de los sustratos a través del crecimiento y desarrollo de los plantines de tomate en determinadas condiciones experimentales (con fertilización complementaria).**
 - 1.2. **Evaluar las características físico – químicas de los sustratos a través del crecimiento y desarrollo de los plantines de tomate en determinadas condiciones experimentales (sin fertilización complementaria).**
 - 1.3. **Evaluar las condiciones ambientales de los sustratos para la germinación y emergencia de las semillas de tomates.**
2. **Contrastar los resultados de los análisis físicos y químicos de los sustratos con los resultados agronómicos obtenidos en el experimento.**

Por lo tanto la Hipótesis central de este trabajo es:

Es posible utilizar materiales que están disponibles en la región, sin utilizar suelo en la composición, para obtener plantines de tomate de alta calidad.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA.

La presente revisión se centrará en aquellos factores que inciden en la germinación, emergencia, crecimiento, y desarrollo de los plantines de tomate y en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos.

2.1. EL PROCESO DE GERMINACION Y EMERGENCIA.

Una semilla es un óvulo maduro, que consiste de un embrión, su reserva alimenticia almacenada y rodeada por sus cubiertas protectoras. En la época en que se separa de la planta, la mayoría de las semillas tiene un contenido de humedad bajo, su metabolismo se encuentra reducido y no ocurre actividad aparente de crecimiento. (HARTMANN et. al. 1974)

La semilla del tomate tiene forma lenticular con unas dimensiones aproximadas de 5x4x2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión cuyo desarrollo dará lugar a la planta adulta, está constituido, a su vez, por la yema apical, dos cotiledones, el hipocotilo y la radícula. El endospermo contiene los elementos nutritivos necesarios para el desarrollo inicial de embrión. La testa o cubierta seminal esta constituida por un tejido duro e impermeable, recubierto de "pelos", que envuelve y protege el embrión y el endospermo (CHAMARRO, 1995).

La germinación es el proceso de reactivación de la maquinaria metabólica de la semilla y la emergencia de la radícula (raíz), y de la plúmula (tallo), conducentes a la producción de una plántula. Fisiológicamente la germinación comienza con las etapas iniciales de reactivación bioquímica y termina con la emergencia de la radícula. Morfológicamente y para el ensayo de semillas y propagación de plantas, la definición debe incluir la producción de una plántula normal (HARTMANN et. al. 1974)

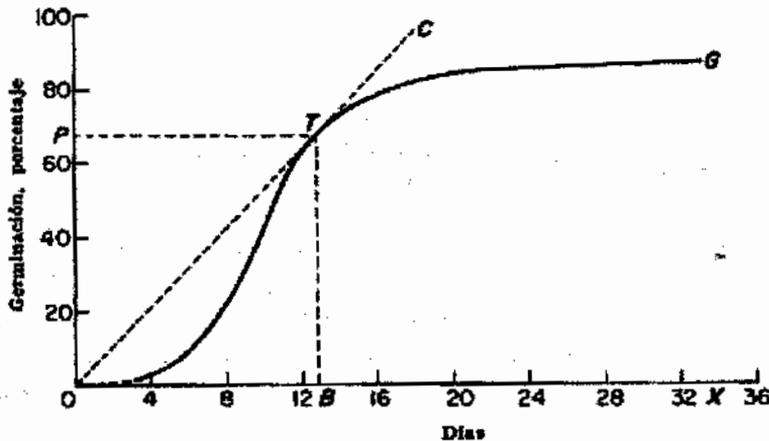
Una provisión de semillas viable es esencial para tener éxito en la propagación. La viabilidad es representada por el porcentaje de germinación, el cual expresa el número de plántulas que pueden ser producidas por un número dado de semillas. La germinación debe ser rápida y el crecimiento de las plántulas vigoroso. De modo que la vitalidad de la semilla, o fuerza germinativa, puede representarse por la velocidad de germinación (HARTMANN, et. al., 1974).

Si se mide la secuencia de tiempo en la germinación de un lote de semillas, o de la emergencia de plántulas en una almáciga, de ordinario se encuentra un patrón como el que se ilustra en la curva de germinación mostrada en la gráfica N° 2.1. Primero hay un retraso inicial en el comienzo de la germinación, luego un aumento rápido en el número de semillas que

germinan, seguido de una disminución de la tasa de aparición. La medición de la germinación implica dos factores: el porcentaje de germinación y la velocidad de germinación. (HARTMANN et.al., 1974)

Gráfica N° 2.1

Curva de germinación típica de una muestra de semillas.



Fuente HARTMANN, 1974

La iniciación de la germinación requiere que se llenen tres condiciones:

Primera: la semilla debe ser viable, esto es, el embrión debe estar vivo y ser capaz de germinar.

Segunda: la semilla no debe estar en letargo ni el embrión quiescente. No deben existir barreras fisiológicas o físicas que introduzcan letargo ni barreras químicas para la germinación.

Tercera: La semilla debe estar expuesta a las condiciones ambientales apropiadas: disponibilidad de agua, temperatura adecuada, provisión de oxígeno y en ocasiones luz. Debido a las complejas interacciones entre el ambiente y condiciones específicas de letargo, dichas exigencias pueden cambiar con el tiempo y los métodos de manejo de la semilla también. Así, el segundo requisito, evitar el letargo, puede, a veces, satisfacerse proporcionando las condiciones ambientales apropiadas. (HARTMANN et. al., 1974)

Etapas de la germinación.

En la germinación del tomate pueden distinguirse tres etapas. En la primera, que dura unas doce horas, se produce una rápida absorción de agua por la semilla. Le sigue un periodo de reposo de unas cuarenta 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, asociada con la emergencia de la radícula (Bewley y Black, 1982 citado por CHAMARRO 1995).

La germinación depende de la variedad, de las condiciones de almacenamiento de las semillas y de las condiciones ambientales. La germinación está, al menos en parte, bajo control genético y es más rápida en las semillas más pequeñas (Whittington y Fieringer, 1972 citado por CHAMARRO 1995)

El proceso de germinación según HARTMANN et al. (1974) comprende una compleja secuencia de cambios bioquímicos, morfológicos y fisiológicos, en los cuales pueden reconocerse ciertos estadios. El primer estadio comienza por la imbibición de agua por la semilla seca, el ablandamiento de sus cubiertas y la hidratación del protoplasma. Este proceso es en gran parte físico y ocurre aun en semillas no viables. Como resultado de la absorción de agua se hincha la semilla y sus cubiertas pueden romperse.

El segundo estadio principia con la iniciación de la actividad celular e incluye la aparición de enzimas específicas y una elevación de la tasa de respiración.

Un tercer estadio es la digestión enzimática de los complejos materiales de reserva insolubles (en su mayor parte carbohidratos y grasas, pero a veces proteínas) a formas solubles que son translocadas a las zonas de crecimiento activo.

El cuarto estadio es la asimilación de esas sustancias en las regiones meristemáticas proporcionando energía para las actividades celulares y de crecimiento, así como para la formación de nuevos componentes celulares.

En el quinto estadio, la plántula crece por el proceso ordinario de división, crecimiento y división de nuevas células en los puntos de desarrollo. La plántula depende de las reservas de la semilla hasta el momento en que en las hojas pueda funcionar en forma adecuada la fotosíntesis.

La edad, el estado fisiológico, la variedad, el contenido de reserva, el tamaño del embrión, y otros parámetros de calidad de la semilla, influyen en la germinación y la emergencia. Por ejemplo Shanmuganathan Benjamin (1992) citados por MINAMI (1994), obtuvieron una correlación positiva entre el tamaño de la semilla y el tamaño de las plantas de repollo.

Benjamin (1990) citado por MINAMI(1995) halló que las pequeñas diferencias en el tiempo de emergencia de las plantas pueden resultar en grandes diferencias durante el crecimiento y desarrollo de las mismas, Trabajando con lechuga encontró que con un tiempo de emergencia de 7 días las plantas eran mayores que las que demoraron 15 días en emerger.

Factores que regulan la germinación y la emergencia.

Dormancia.

La semilla del tomate no tiene periodo de dormancia, es decir que puede germinar después de ser cosechada. En condiciones normales, conserva su poder germinativo durante más de cuatro años, y la conservación es mucho más larga cuando se la coloca en envases herméticos con bajo nivel de humedad. (FOLQUER, 1979)

Temperatura.

La temperatura es el factor ambiental que junto con la humedad, más afecta la germinación del tomate. Las exigencias de temperatura para la germinación de las semillas generalmente se consideran con relación a tres puntos, mínimo, máximo y óptimo, y estos puntos se deben relativizar a la carga genética que cada variedad o híbrido de tomate tiene. Los valores máximo y mínimo definen el rango de temperaturas donde se produce la germinación de la semilla, y el valor óptimo es el punto dentro de ese rango donde la tasa de germinación es más alta.

El porcentaje de germinación puede ser bastante constante dentro de la gama de temperaturas en que se efectúa la germinación. Por otra parte, la velocidad de germinación es más afectada, un aumento de temperatura invariablemente aumenta la velocidad de germinación. Por encima de un óptimo, la velocidad disminuye al ocurrir un daño. (Harrington 1962 citado por HARTMANN et al, 1974). Esto se ve ilustrado en el cuadro N° 2.1. (CHAMARRO, 1995)

Cuadro N° 2.1

Días a la emergencia y porcentajes de germinación según la temperatura del suelo en el tomate.

Temperatura en °C	Días para emerger	% de Germinación
10	43	83
13	25	95
14	16	97
15	15	98
16	14	98
20	10	98
25	7	98

Fuente Sims et al. (1979), y de Rey y Costes (1965) citado por CHAMARRO (1995)

Las temperaturas óptimas son aquellas más favorables para la germinación. Estas quedan en la gama en que se obtiene el mayor porcentaje de plántulas con la mayor velocidad de germinación (HARTMANN et al, 1974) (cuadro N° 2.1).

Con frecuencia la germinación del tomate, es mucho mejor si las semillas quedan expuestas a fluctuaciones diarias de temperatura en vez de estar a temperatura constante. Algunas de las alteraciones más comúnmente usadas son 15 o 20 °C durante 18 hs., y 30 °C por 6 horas (HARTMANN et al, 1974).

Según Went (1957), citado por FOLQUER (1979), la germinación del tomate se ve favorecida por la oscuridad y es más rápida con temperatura diurna de 26°C y temperatura nocturna de 20°C.

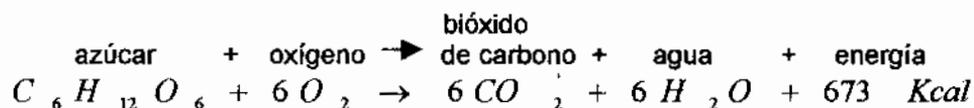
En opinión de FOLQUER, (1979) las temperaturas mínimas y máximas (extremas) para la germinación del tomate son de 10°C y 35°C, respectivamente.

La temperatura óptima para la germinación del tomate se encuentra entre los 20 y los 25°C, (Mobayen 1980 citado por CHAMARRO, 1995)

Para otros autores la germinación de la semilla del tomate tiene lugar a valores óptimos de temperatura entre 18 °C y 24 °C (Wittwer y Honma, 1979) y extremos entre 8.5 °C y 35 °C, requiriendo una integral térmica de 88 grados - día para la germinación completa, aunque hay notables diferencias entre cultivares (Wagenvoort y Bierhuizen, 1977) (citados por CASTILLA, 1995).

La Respiración.

La respiración puede resumirse en sus aspectos químicos como sigue:



Este proceso se efectúa en la semilla en tanto que esté viva. En una semilla seca que no esté en germinación la tasa de respiración es baja y utiliza poco oxígeno. Durante la germinación aumenta la tasa de respiración, se incrementa la absorción de oxígeno y se desprende bióxido de carbono en cantidades crecientes (Verner 1965 citado por HARTMANN et al, 1974)

En las semillas, las grasas son transformadas en azúcares simples. Como una molécula de ácido graso contiene menos oxígeno que una molécula de azúcar, se debe proporcionar oxígeno adicional. La energía para activar los mecanismos celulares y transformar materiales específicos en procesos de crecimiento es proporcionada por medio de la sustancia de reserva de la semilla. La germinación puede ser disminuida por reducción en la aireación, la limitación en la provisión de oxígeno en los periodos iniciales puede inhibir la germinación (HARTMANN et al, 1974)

El exceso de agua es perjudicial tanto por la cantidad en sí como por la reducción de la aireación del suelo o sustrato, esto puede originar efectos inhibitorios en la germinación, debido a la disminución del oxígeno, que es poco soluble en el agua (MINAMI, 1995)

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 de esta especie se reduce drásticamente cuando la oxigenación es deficiente (Siequel y Rosen, 1962 citado por CHAMARRO, 1995).

Disponibilidad de agua y salinidad del sustrato.

El primer paso para comenzar la germinación es la imbibición con agua de la semilla, y todo fenómeno que favorezca o entorpezca la disponibilidad de agua para la semilla y posteriormente para la plántula, afectará la germinación y la emergencia de las mismas. Este primer paso de la germinación está muy relacionado con el fenómeno osmótico y por lo tanto está muy influenciado por la concentración de sales en la solución del sustrato.

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), cuanto mayor sea la concentración de sales mayor será la conductividad eléctrica de la solución (ANSORENA; 1994).

Las tres sales más importantes que determinan la salinidad son, Sulfato magnésico, Sulfato sódico y Cloruro sódico. Y le siguen en importancia, Carbonato sódico, Cloruro magnésico, Carbonato cálcico, Carbonato magnésico, Sulfato cálcico (yeso), Cloruro potásico y Nitratos (PIZARRO, 1990).

A consecuencia del reducido volumen de medio de cultivo de que disponen las raíces de las plantas cultivadas en contenedor, la concentración de nutrientes en la solución acuosa suele ser elevada, muy superior a la que es habitual en cultivos de campo en suelos minerales. Con ello aumenta el riesgo de acumulación de niveles excesivos de sales disueltas, lo que se conoce como salinidad. Esta salinidad contribuye a aumentar el potencial osmótico del agua que la mantiene retenida en el sustrato, y por lo tanto menos disponible para la planta, o la misma debe hacer un mayor esfuerzo para aprovisionarse del agua (ANSORENA; 1994).

El potencial osmótico tendrá un valor tanto mayor, cuanto mayor sea la concentración de iones disueltos en la solución del suelo. Si se eleva excesivamente dicha concentración, la planta puede llegar a padecer un déficit hídrico semejante al que se produce en condiciones de sequía (ANSORENA; 1994)

El aumento en la salinidad del agua del sustrato provoca una reducción en la intensidad de la fuerza de emergencia ejercida por la germinación. O sea se demora mas para emerger. (Benjamin, 1990 citado por MINAMI, 1995)

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 (Sieguel y Rosen, 1962 citado por CHAMARRO, 1995).

La germinación de la semilla de tomate se reduce con pequeñas concentraciones de NaCl en el medio. Ya con 4.7 g/l se advierte una reducción en la germinación. En cambio, con 10.9 g/l el porcentaje de germinación se reduce drásticamente y difícilmente podría establecerse un cultivo con la mayoría de los cultivares actuales, máxime teniendo en cuenta que algunas de las líneas genéticas del siguiente cuadro fueron elegidas por su tolerancia a la salinidad (cuadro N° 2.2.) (CUARTERO et al, 1995)

Cuadro N° 2.2.

Porcentaje de germinación con respecto al testigo (0) de 5 líneas de tomate en 4 concentraciones de NaCl (g/l)

Línea	0	4.7	10.9	15.5	19.4
Volgogradski	100	108	99	75	5
PE-64	100	99	88	17	2
Pera	100	98	64	34	2
Muchamiel	100	87	16	6	0
Mex-12	100	61	0	0	0

Fuente CUARTERO et al, 1995

Las semillas que germinan en un medio salino no sólo reducen su porcentaje de germinación, sino que alargan el periodo de germinación (Ayers 1952 citado por CUARTERO et al, 1995)

En particular, en tomate, se estima que con 4.7 g/l de NaCl en el medio las semillas necesitan un 50% más de días para germinar y tres veces más con 10.9 g/l que en medio sin NaCl. (Allegui et al., 1987 citado por CUARTERO et al, 1995)

La capacidad de emergencia de las plántulas también se ve disminuida por la salinidad (Mc Kimmie y Dobrenz, 1987 citados por CUARTERO et al, 1995).

Como se observa en el cuadro N° 2.3. un medio salino afecta el proceso de germinación y ésta situación puede ser revertida con un manejo adecuado del riego, lixiviando el exceso de sales del medio, lo que será más difícil cuanto más alta sea la cantidad de sales y menor la granulometría del medio (alto potencial matricial), como en el caso de la turba. Y toda modificación que disminuya el contenido inicial de sales y la retención de agua o aumente la percolación de ésta (como cuando se mezcla la arena a la turba), hará más efectivo el lixiviado de las sales.

Las semillas que no germinan por la concentración salina del medio que las rodea no pierden su facultad germinativa, de modo que si dicha concentración disminuyese como

consecuencia de una lluvia o de un riego con agua de buena calidad, germinarían más del 50% de las semillas que no lo habrían hecho en el medio salino (Allegui et al., 1987 citado por CUARTERO et al, 1995).

Cuadro N° 2.3.

Porcentaje de germinación de semillas de *Lolium multiflorum* en función de la salinidad (medida como conductividad eléctrica C.E.) en tres sustratos y a medida que esta disminuye como consecuencia del lavado de las sales por el riego.

Día	ARENA		TURBA+ARENA		TURBA	
	Germinación %	Conductividad específica	Germinación %	Conductividad específica	Germinación %	Conductividad Especifica
1						
2	25	10				
3	40	10				
4	55	10	20	2500		
5	60	10	40	2440		
6	70	12	50	1350		
7	75	12	50	1340		
8	75	12	60	1170		
9	80	10	65	1030	-	6400
10	80	10	75	960	5	4690
11	80	10	75	950	10	4300
12			80	920	10	4200
13			80	900	15	4080
14					15	3460
15					20	3000
16					20	2800
17						
18						
19					25	2720
20					30	2540

Fuente guerrero (1989) Citado por ANSORENA, (1994).

La etapa más sensible a la salinidad en tomate parece ser la comprendida entre germinación y el desarrollo de la primer hoja verdadera (CUARTERO et al, 1995).

La disponibilidad de agua en general, que está relacionada con la granulometría de los sustratos se trata en el capítulo 2.3.2.: Retención del agua por la fase sólida de los sustratos.

Profundidad de siembra.

La profundidad de siembra es específica para cada especie. Profundidades excesivas pueden impedir la emergencia o reducirla. Como regla general se estima que la profundidad de siembra más adecuada es igual a dos veces y media el diámetro de la semilla.

Estudiando distintas profundidades de siembra en tomate de la variedad Tropic en un sustrato de suelo y arena (en proporción 3:1) se encontró que se obtenía mayor velocidad de emergencia a una profundidad de 1.5 cm, Asimismo se observó una tendencia hacia la reducción del estado general de los plantines y de la velocidad de emergencia al incrementar la profundidad a partir de este valor (TILLMAN et al. 1994).

Uno de los factores de manejo que más afecta la calidad de los plantines es la profundidad de siembra. Para Shanmuganathan y Benjamin (1990), citados por MINAMI (1995), se obtuvieron diferencias en el desarrollo de los plantines de repollo cuando fueron sembradas a diferentes profundidades. A medida que aumentaba la profundidad de siembra disminuía el porcentaje de emergencia, hasta llegar a cero. En general las causas de reducción de la emergencia son atribuidas a la incapacidad de los embriones de vencer la resistencia que le opone el material del sustrato para llegar a la superficie, lesiones en los cotiledones, o la insuficiencia del material de reserva de la semilla para atravesar la capa de sustrato y desarrollar la plántula.

2.2. EL PROCESO DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL PLANTIN.

Se entiende por crecimiento el aumento de las dimensiones de la masa corporal. Esto es debido a la hipertrofia e hiperplasia de los tejidos constitutivos del organismo. Esta definición, por tanto, señala el carácter cuantitativo del crecimiento, o sea que puede ser medido en función de cm/año; gramos/día. El crecimiento es el resultado de la división celular y el producto de la actividad biológica, encontrándose asociado regularmente, con el aumento de tamaño. (Moyers, 1988 y Tanner, 1971; citados por AGUILA et al, 1993)

El crecimiento de un vegetal es definido por un aumento irreversible de una o de muchas de sus dimensiones. El aumento del tamaño y de la superficie de materia viviente está a menudo ligado a un aumento de la materia seca de la planta (Thimann y Chouard, 1956 citados por COSTES et. al. 1965)

El desarrollo se refiere a los procesos de cambios cuanti-cualitativos que tienen lugar en el organismo y traen aparejados el aumento en la complejidad de la organización e interacción de todos los sistemas. También se refiere a cambios unidireccionales que ocurren en un ser viviente desde constituirse como una simple célula hasta la muerte. La base de estos eventos es la diferenciación celular, cualidad que le lleva paulatinamente a alcanzar el perfeccionamiento de la capacidad funcional. Es necesario aclarar que las modificaciones en el tamaño y en la función no pueden ser separadas. El crecimiento y el desarrollo no se producen independientemente, sino que representan una diversidad y continuidad de interacciones entre la herencia y el ambiente (AGUILA et al, 1993).

Los términos crecimiento y desarrollo se aceptan ampliamente en conjunto para designar los procesos químicos, físicos, y biológicos que causan los cambios estrechamente

vinculados a las formas y funciones de todos los tejidos, también incluye las crecientes capacidades y adaptaciones adquiridas en el proceso hacia la madurez (AGUILA et al, 1993).

Factores que regulan el crecimiento y el desarrollo del plantín.

El desarrollo del plantín depende de numerosos factores, entre los que cabe mencionar la constitución genética, la temperatura, la nutrición, el suministro de agua, la iluminación y la concentración de dióxido de carbono y oxígeno, que actúan en un complejo entramado de interacciones (CHAMARRO, 1995)

En particular, los factores más importantes en determinar el crecimiento y desarrollo del plantín son:

La genética.

El tomate es una de las hortalizas con mayor cantidad de variedades e híbridos con diversas formas, gustos y tamaños, que se adapta a una gran cantidad de climas y regiones, lo que demuestra su gran plasticidad genética (DIEZ, 1995)

El abordaje de la genética del tomate y su expresión fenotípica implicaría escribir un extenso capítulo dedicado al tema lo que rebasa las pretensiones de este trabajo. Para evitar cualquier efecto que enmascare los resultados del ensayo se optó por seleccionar un tomate híbrido conocido en el medio, esto determina que todos los individuos son genéticamente idénticos.

Temperatura.

La temperatura tiene un efecto importante sobre el desarrollo vegetativo del tomate. La temperatura óptima depende de la iluminación y se encuentra alrededor de los 25 °C cuando la iluminación no es limitante. Los efectos de la termoperiodicidad, o sea el empleo de un régimen de temperaturas nocturnas inferior a las diurnas, no son concluyentes. Cuando las temperaturas diurnas son elevadas, un descenso en las temperaturas nocturnas es beneficioso, pero cuando las temperaturas diurnas están en niveles subóptimos, la elevación de las temperaturas nocturnas favorece el desarrollo vegetativo (Piken et. al. 1986; citado por CHAMARRO, 1995).

El tomate es una planta termoperiódica, creciendo mejor con temperatura variable que constante y este régimen varía también con la edad de la planta (Went 1944). Diferencias térmicas entre la noche y el día de 6 o 7 °C son óptimas (Verkerk, 1975; Went, 1957) (Todos citados por CASTILLA, 1995)

La temperatura influye en la distribución de asimilados. Durante la fase de crecimiento vegetativo una temperatura alta (25 °C), favorece el crecimiento foliar, a expensas del ápice, mientras que a una temperatura baja (15 °C), ocurre lo contrario (Calvert, 1966, citado por CASTILLA, 1995).

Calvert (1973) sugiere como temperaturas ideales de cultivo (día / noche) 20/18 °C; por otro lado Williams (1973) cifra en 20/16 °C las temperaturas ideales, con extremos de 27 °C de día y 13 °C de noche, ambos en condiciones de latitud noreuropea. En opinión de Bugbee y Withe (1984) las temperaturas ideales para el crecimiento serían de 25/20 °C día y noche respectivamente (todos citados por CASTILLA, 1995).

La velocidad de elongación del tallo de tomate aumenta con la temperatura dando lugar a tallos más delgados con una mayor proporción de tejido parenquimático y de agua. La temperatura nocturna óptima para la elongación es de unos 30 °C para las plantas jóvenes y de unos 13 a 18 °C para las plantas más viejas (Calvert, 1964 citado por CHAMARRO, 1995)

Las temperaturas óptimas del cultivo de tomate están relacionadas con la iluminación, siendo recomendable para el crecimiento una mayor temperatura con una alta radiación. En opinión de Harper et al., (1979) el régimen de temperaturas ideal para el crecimiento es de 22/18 °C (día / noche) en condiciones de alta iluminación, y de 20/16 °C (día / noche) cuando la iluminación es baja, mientras que Brooks, (1973) observó 25/17 °C con buena radiación y 21/15 °C con baja iluminación, día y noche respectivamente (tódos citados por CASTILLA, 1995).

El crecimiento y la materia seca de la planta de tomate 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 de la parte aérea puede disminuir drásticamente (Picken et. al., 1981 CHAMARRO, 1995).

Nutrición.

Los diferentes niveles de nutrientes suministrados a los plantines de tomate en invernáculo tienen un impacto en el cultivo una vez que estos son llevados al campo (LIPTAY et al., 1992). En este sentido Weston y Zandstra (1989) (citados por MELTON et al., 1991) han encontrado que altas concentraciones de nitrógeno (400 mg/litro), permiten obtener plantines grandes que a posteriori producen un mayor rendimiento temprano y total.

El efecto de crecientes dosis de nitrógeno aplicadas a plantines de tomate de la variedad Sunny, incrementa parámetros como altura, diámetro de tallo, peso seco y fresco de parte aérea, número de hojas y área foliar cuando se suministran dosis desde 25 a 225 mg/litro (MELTON et al., 1991). Similar conclusión obtuvo LIPTAY et al. (1992), estudiando el crecimiento en altura de plantines de tomate de la variedad TH-318 en invernáculo, donde ésta se vio incrementada a medida que se aumentó el contenido de nitrógeno desde 50 a 350 mg/litro. El crecimiento de las raíces en el cultivo (medida 20 días luego del transplante)

también respondió en forma positiva al incremento de los niveles de N en el invernáculo y la mayor exploración radicular se consiguió con 350 mg/litro.

Sin embargo estos mismos autores encontraron que la supervivencia (medida 30 días luego del trasplante) en el cultivo a campo bajo condiciones ventosas, se correlaciona ($r = 0.95$) con la fortaleza del tallo de los plantines en el momento del trasplante. La menor supervivencia se obtuvo con el máximo nivel de N 350 mg/litro y la máxima con 100mg/litro de N.

En un estudio más profundo del rol del N en el crecimiento y desarrollo de plantines de tomate, SUNIAGA QUIJADA (1990), concluye que hasta la emergencia no existe la necesidad de aportes externos ya que en este estado las necesidades son aseguradas por las semillas. En el momento de la aparición de las primeras dos hojas verdaderas se observa una influencia muy importante del N. Si la dosis de N son bajas se genera una reducción significativa del peso de la parte aérea y un aumento de la parte radicular. Este efecto es de corta duración ya que si la carencia se prolonga también baja el crecimiento de la raíz.

A partir de la aparición de la tercera hoja verdadera se observa un aumento de la velocidad de crecimiento y paralelamente un aumento de las necesidades de N. Pero cuando los aportes son superiores a las necesidades se reduce considerablemente el crecimiento radicular y se forma un sistema aéreo muy importante donde posteriormente se desarrollan numerosas flores que abortan.

Con respecto al efecto de fósforo LIPTAY et al. (1992), concluyen que niveles por encima de 50 mg/litro no afectan el crecimiento de los plantines y que las diferentes concentraciones no afectaron la supervivencia en el cultivo a campo. A su vez en otro experimento estos autores determinaron que niveles de fósforo por debajo de 2 mg/litro reducían el crecimiento de los plantines y afectaba su supervivencia. Tampoco existieron diferencias en el crecimiento de las raíces con los niveles de P entre 50 y 220 mg/litro, pero con concentraciones inferiores a 2 mg/litro de este nutriente, el parámetro se ve afectado.

Según MENEZES (1992), las deficiencias de P atrasan el desarrollo de los plantines y retardan la diferenciación de las yemas florales, resultando en una disminución del número de frutos por plantas. Asimismo RODRIGUEZ et. al. (1989), señalan que las deficiencias de este nutriente produce coloraciones violáceas en los tejidos, siendo más acentuadas en el envés de las hojas.

En cuanto al potasio LIPTAY et al. (1992), concluyen que la aplicación de dosis por encima de 50 mg/litro no aumentaba la altura de los plantines ni su supervivencia en el campo. A su vez obtuvo menores crecimientos radiculares a medida que incrementaban los niveles de suministro entre 50 y 200mg/litro. Sin embargo con los niveles más altos de K este menor crecimiento no afectó el rendimiento total ni el temprano.

MELTON et al. (1991), probando el efecto de niveles de fertilización potásica de 25, 75 y 225 mg/litro, concluyeron que los mismos no tienen influencia sobre la altura y el diámetro del plantín, peso seco y fresco de la parte aérea, peso seco de la raíz, número de hojas, área foliar y contenido total de clorofila. En consecuencia recomiendan soluciones fertilizantes de 25 mg/litro de este elemento.

En síntesis variando las concentraciones de N se obtiene el mayor efecto en el crecimiento de plantines en el invernáculo, el P es requerido en pequeñas cantidades y el K puede variar en un amplio rango con muy poco efecto en la performance de los plantines (LIPTAY et al., 1992).

Con relación al régimen de aplicación de los nutrientes WIDDERS et al. (1992), llevaron adelante un estudio donde se concluye que es posible controlar la concentración de nutrientes en los tejidos de los plantines y el crecimiento de los mismos mediante un manejo de la fertilización previo al trasplante. Ellos encontraron que había diferencias significativas en la concentración de nutrientes en solo 3 a 5 días luego de que se cambie la fertilización, aumentando las mismas hacia el trasplante (hasta el límite de los 3 a 5 días la planta realiza una removilización de los nutrientes, por lo que no aparecen diferencias). A partir del octavo día del cambio en la fertilización también se observaron diferencias en el crecimiento de los plantines.

En plantines de morrón y tomate, la aplicación de fertilizantes nitrogenados fue muy positivo en la formación y crecimiento de las raíces y la parte aérea (Bar-Tal et al., 1990; Fisher y Mackay, 1990; y Delton y Dufaut, 1991). El crecimiento aumentó cuando se aplicó nitrógeno de 50 a 350 mg/l (Liptay e Nicholls, 1993) Todos citados por MINAMI (1995)

En el cuadro N° 2.4. se puede observar los contenidos de materia seca y nutrientes para dos periodos del crecimiento de los plantines de tomate, destacándose el nitrógeno, el potasio y el calcio como los elementos más requeridos por los plantines.

Cuadro N° 2.4.

Producción de materia seca y extracción de nutrientes por un cultivar de tomate durante la fase de formación de mudas.

Edad en días	Materia seca (g)	mg/planta						µg/planta				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tomate cultivar ROMA VF												
15	0.10	5.1	0.7	4.7	2.1	0.6	0.2	19.0	1.9	36.4	41.5	1.2
30	0.79	32.8	7.0	43.6	22.3	4.9	3.0	70.3	14.7	391.9	333.1	73.0

Fuente Haag et al. 1981 citada por K. Minami 1995

Disponibilidad de agua.

La relación agua/planta es una relación dinámica definida por el agua aprovechable existente en el suelo, por el volumen de suelo explorado por las raíces, por el área foliar, por la densidad y la actividad estomática, por la humedad, viento y temperatura alrededor de la planta, etc. En general, la planta reacciona al déficit hídrico de una manera rápida cerrando los estomas y evitando, por tanto, la transpiración. Pero con los estomas cerrados no hay intercambio gaseoso con la atmósfera y la planta no podría vivir, por eso reacciona también a más largo plazo acumulando solutos y reduciendo el tamaño celular para disminuir el potencial hídrico y seguir absorbiendo agua que le permita abrir, aunque sea parcialmente, los estomas y continuar realizando sus funciones vitales. De esta rápida descripción se puede decir que el déficit hídrico tiene muchas implicaciones en el desarrollo de la planta (CUARTERO et. al.; 1995)

Las plantas, en general, reaccionan al estrés hídrico en el suelo aumentando la relación raíz / parte aérea pues, aunque las plantas cultivadas con déficit hídrico en el suelo reduzcan su sistema radicular en comparación con las cultivadas sin ese déficit, la parte aérea se reduce en mayor grado (Brouwer, 1981; citado por CUARTERO et. al, 1995).

Luminosidad.

El tomate es un cultivo insensible al fotoperíodo, entre 8 y 16 horas, aunque requiere buena iluminación (Calvert, 1973, citado por CASTILLA, 1995).

La iluminación cuando es igual o superior al óptimo no afecta el desarrollo del tallo pero, para valores subóptimos, un descenso en la iluminación induce un aumento en la elongación del tallo a expensas de otras partes de la planta, dando lugar a tallos más delgados y débiles con una mayor proporción de tejido parenquimático. Cuando la iluminación es muy baja se reduce la altura de la planta y por ello la iluminación adicional de las plántulas de tomate en invierno produce generalmente plantas más altas (Kinet 1977 Citado por CHAMARRO 1995)

La velocidad de elongación del tallo disminuye a medida que la noche se hace más larga (Kristoffersen, 1963, citado por CHAMARRO 1995)

La producción y distribución de los fotoasimilados es un factor esencial en el desarrollo de la planta. La iluminación es, con frecuencia, un factor limitante en invierno en los cultivos de invernadero. 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 (CHAMARRO, 1995).

En los invernaderos, cuando la irradiación es elevada, la concentración de dióxido de carbono puede disminuir rápidamente hasta concentraciones que limiten la fotosíntesis y el crecimiento, de modo que para mantener la fotosíntesis sea necesario restaurar la

concentración de dióxido de carbono mediante enriquecimiento o ventilación (Picken, et. al. 1986; citado por CHAMARRO, 1995).

La iniciación de las hojas se produce a intervalos de 2 a 3 días en función de las condiciones ambientales. En general, 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. (CHAMARRO, 1995)

Con iluminaciones bajas las células esponjosas del mesófilo están dispuestas de una forma más relajada e irregular y se reduce el tamaño, número y densidad de las células en empalizada así como la densidad de los estomas. 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.(CHAMARRO 1995).

Aireación.

Las raíces requieren oxígeno para mantener la actividad metabólica y su crecimiento. Un déficit temporal de oxígeno puede reducir el crecimiento de las raíces y la parte aérea, pero condiciones de anaerobiosis mantenidas durante varios días pueden llegar a provocar la muerte de algunas raíces. El oxígeno es también requerido por los microorganismos y, por tanto, las plantas cultivadas en sustratos orgánicos, con una elevada población microbiana, requiere el doble o más de oxígeno que las plantas cultivadas en suelos minerales, sin abundante materia orgánica. (ABAD, 1995)

Fotoasimilados.

La actividad fotosintética depende de la edad y de la posición de la hoja y desciende en forma muy importante al iniciarse la senescencia. Aún cuando la iluminación, temperatura, concentración de dióxido de carbono sean óptimas, la actividad fotosintética no aparece constante y al cabo de 10 o 12 horas puede reducirse alrededor de un 50 %, lo que ha sido atribuido a un aumento en la fotorrespiración, a la disminución de la fotosíntesis causada por el cierre de los estomas o a la distorsión de los cloroplastos (CHAMARRO, 1995).

La eficiencia fotosintética de las hojas está también medida por efectos de adaptación de las hojas a las condiciones de iluminación y existen evidencias de que las hojas pueden ajustar sus mecanismos fotosintéticos para captar la energía necesaria en función de las condiciones de iluminación. Así la asimilación de CO_2 por unidad de pesos de hojas adaptadas a una iluminación elevada puede reducirse a una tercera parte cuando se exponen a una baja iluminación en relación con las que han estado adaptadas a una iluminación baja (CHAMARRO, 1995)

La asimilación y el transporte de los fotoasimilados también afectan el crecimiento vegetativo. Una vez asimilado el carbono los fotoasimilados pueden quedar almacenados en la hoja, ser utilizados para cubrir sus necesidades o ser transportados a otra parte de la planta. En condiciones normales las variaciones de las concentraciones de almidón y sacarosa en las hojas son escasas. El transporte de azúcares se realiza en forma de sacarosa a través del floema y cada hoja suministra nutrientes preferentemente a determinados órganos. Las hojas jóvenes, los primordios florales y los meristemas apicales compiten por los fotoasimilados disponibles. El aumento de fotoasimilados producidos por una mayor iluminación promueven tanto la producción de primordios apicales como florales, pero a temperaturas más elevadas favorecen preferentemente a estos últimos. (CHAMARRO, 1995).

El descenso de suministro de fotoasimilados a la raíz, como consecuencia del descenso en la actividad fotosintética de la parte aérea o de la fructificación, reducen 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 la escasez de nutrientes, tienen prioridad las funciones para el mantenimiento de la planta. (CHAMARRO 1995).

2.3. EL AMBIENTE DE LA RAIZ: LOS SUSTRATOS

Durante estos últimos años, ha existido un espectacular desarrollo en las técnicas de cultivo de plantas en maceta y contenedor. El medio de cultivo ha ido evolucionando desde los primeros sustratos basados en el suelo mineral hasta las actuales mezclas, con proporción mayoritaria de componentes orgánicos tipo turba, corteza de pino y similares. Estos nuevos sustratos proporcionan resultados superiores a los basados en tierra, siempre que se conozcan y comprendan sus características y necesidades. En este proceso ha incidido también la preocupación creciente hacia el agotamiento de los recursos no renovables (suelo). Todo ello ha favorecido el aprovechamiento de materiales muy diversos, a los que a menudo se les busca un destino cómodo en la agricultura o contribuyen a cerrar el ciclo natural de la materia orgánica y nutrientes (ANSORENA 1994).

En los últimos 10 años en el Uruguay la producción de plantines y el trasplante se ha generalizado. Si bien es una práctica muy antigua recientemente se le han incorporado una serie de elementos que permiten su uso en gran escala y con una amplia gama de especies hortícolas. Algunos de estos elementos son:

- El uso de recipientes multiloculares o bandejas que permiten el "trasplante con terrón."
- El empleo de locales adecuados, construidos para tal fin (invernáculos, mesadas)
- Mayor control de las condiciones ambientales, temperatura, humedad (sistemas de riego, mallas de sombra, estufas, cámaras de germinación, sistemas de ventilación.)

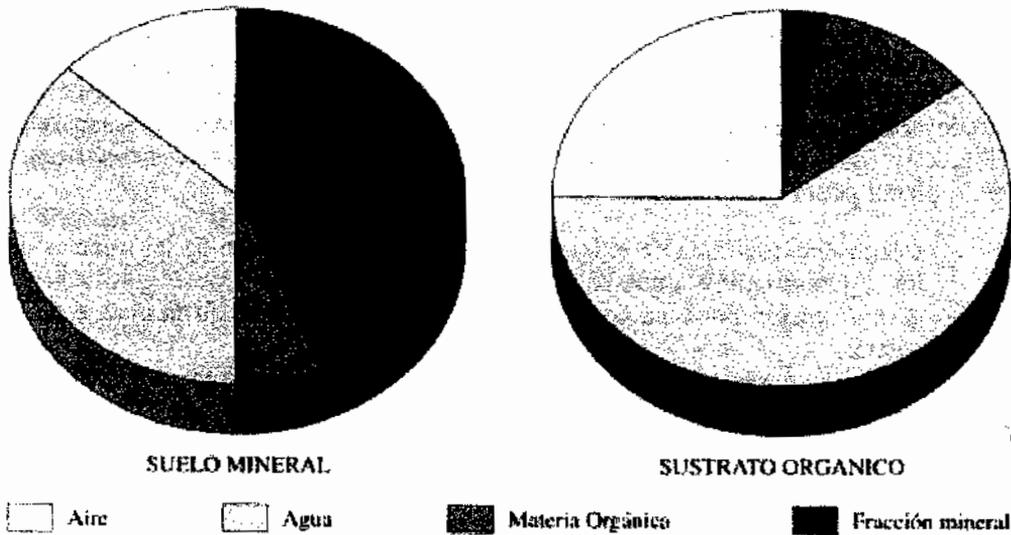
- El uso de semillas híbridas, con un alto costo, nos obligan que cada semilla nos proporcione una planta.
- El empleo de sembradoras neumáticas (para sembrar las bandejas)
- La mecanización del posterior trasplante.
- La evolución de los medios de cultivo, sustituyendo el suelo por sustratos.

En este último punto es donde se centra este trabajo y para justificar este cambio en el medio de la raíz se puede citar a ANSOARENA, (1994) que escribió lo siguiente: "El suelo mineral es el medio universal para el crecimiento vegetal, aunque en las plantas cultivadas en maceta o en contenedor ha sido progresivamente sustituido por sustratos con proporción mayoritaria de componentes orgánicos. Además de servir de soporte o anclaje a la planta, el medio de cultivo tiene que suministrar a las raíces unas 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 por:

- Asfixia debida a falta de oxígeno, que impide la respiración de las raíces y de los organismos vivos que habitan el suelo.
- Deshidratación por falta de agua, que puede llegar a producir la muerte de la planta.
- Exceso o carencia de nutrientes minerales, o desequilibrio entre sus concentraciones, que limita el crecimiento de la planta.
- Enfermedades producidas indirectamente por las causas anteriores, al volverse las plantas más susceptibles al ataque.

En la figura Nº 2.1. se compara la composición media de un suelo natural con la de un sustrato orgánico, tras haber sido saturados con agua y dejados drenar libremente. 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 más espacio disponible para el agua y el aire que en el mismo volumen de suelo. Esto explica que las plantas puedan desarrollarse en volúmenes de sustrato tan reducidos como los contenidos en una maceta, a causa de sus mejores propiedades físicas.

Figura 2.1.
Comparación de la composición de un suelo mineral y un sustrato orgánico.



Fuente ANSORENA. 1994

En opinión de ABAD (1995), las funciones más importantes que debe cumplir un sustrato para un cultivo son proporcionar un medio ambiente "ideal" para el crecimiento de las raíces, y constituir una base para el anclaje o soporte mecánico de las plantas. Un elevado número de materiales se pueden utilizar con éxito, bien separadamente o en mezcla, en la preparación de los medios de cultivo de la planta de tomate.

En la práctica, para valorar la calidad de un sustrato no basta con conocer las propiedades generales de sus principales componentes, sino que es necesario determinarlas para cada mezcla particular (ANSORENA 1994)

Una cuestión que se plantea frecuentemente es: ¿existe el sustrato "ideal"? la respuesta obvia es que no. El mejor medio de cultivo en cada caso variará de acuerdo con numerosos factores: tamaño y forma del contenedor, condiciones climáticas, sistema de riego y fertilización, exigencias particulares de la variedad, experiencia local en su utilización, etc. (ABAD, 1995).

Para obtener buenos resultados en el crecimiento y el desarrollo de la planta de tomate se requieren las siguientes características del medio de cultivo (Raviv et al., 1986; Abad, 1992; Martínez y García, 1993 citados por ABAD; 1995):

Propiedades físicas

- A. Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible.
- B. Suficiente suministro de aire.
- C. Distribución del tamaño de las partículas que mantenga las condiciones antes mencionadas.
- D. Baja densidad aparente.
- E. Estructura estable que impida la contracción o hinchazón del medio.

Propiedades químicas.

- A. Baja, moderada o alta capacidad de intercambio catiónico, dependiendo respectivamente de que la fertilización se aplique permanente, de forma intermitente o no se aplique.
- B. Suficiente nivel de nutrientes asimilables.
- C. Baja salinidad.
- D. Elevada capacidad tampón y aptitud para mantener constante el pH.
- E. Mínima velocidad de descomposición.

Otras propiedades.

- A. Libre de semillas de malas hierbas, nemátodos y otros patógenos.
- B. Reproductibilidad y disponibilidad.
- C. Bajo costo.
- D. Fácil de mezclar.
- E. Fácil desinfección y estabilidad frente a la desinfección.
- F. Resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales.

No existe un adecuado control de calidad de los sustratos, normalmente porque no se analizan y en ocasiones porque no se saben interpretar correctamente los resultados de los análisis realizados. En este sentido, a menudo suele olvidarse que los resultados de los análisis de los sustratos dependen en gran medida de los métodos utilizados, es necesario que los análisis se encuentren debidamente validados, a través de los correspondientes ensayos de

campo, que correlacionen los resultados de laboratorio con los observados en el cultivo. De esta forma, se dispondrá de unas normas de interpretación que permitan efectuar el diagnóstico y, en su caso, recomendaciones de riego, abonado, encalado, etc. (ANSORENA 1994)

La selección en cada caso del método más adecuado de caracterización de sustratos no es sencilla, a causa de la variedad de métodos disponibles, con diferentes grados de complejidad y todos ellos con sus ventajas e inconvenientes. En este sentido diremos que, en algunos de los últimos estudios comparativos entre diferentes laboratorios europeos, el número de métodos químicos empleados prácticamente igualaba al de laboratorios participantes (ANSORENA 1994).

2.3.1. Componentes del medio de cultivo.

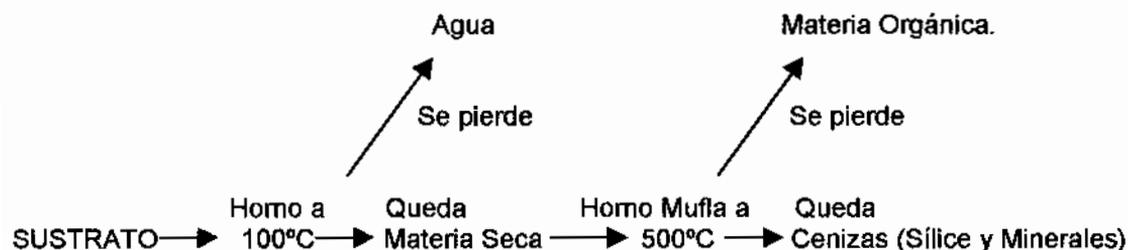
Los sustratos están compuestos básicamente por tres componentes, el material sólido, la solución acuosa y el aire (Figura 2.1.).

Además de servir de soporte o anclaje a la planta, el medio de cultivo tiene que suministrar a las raíces unas cantidades equilibradas de aire, agua y nutrientes minerales (ANSORENA, 1994)

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, riegos, etc.) (ANSORENA, 1995)

El material sólido.

Dentro de la fracción sólida del suelo la mayor parte es mineral, mientras que en los sustratos orgánicos suele predominar la materia orgánica. Esta podría estar más o menos descompuesta, lo que también influirá en sus propiedades (ANSORENA, 1994)



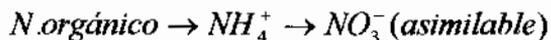
Esquema de determinación de los componentes sólidos del sustrato (modificado de ANSORENA, 1994).

La Materia Orgánica ésta constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo. El edafón consiste en los organismos vivientes del suelo sea su flora y fauna. En el horizonte A de suelos cultivados el edafón constituye entre el 10 –15% de la materia orgánica. El humus está compuesto por los restos postmortales vegetales y animales que se encuentran en el suelo y que están sometidos constantemente a procesos de descomposición, transformación y resíntesis. De esta manera FASSBENDER, (1978) diferencian los conceptos de materia orgánica y humus.

La mayoría de los suelos minerales contienen menos de un 10% de materia orgánica que procede de fuentes muy variables: desde células y tejidos de organismos vivos hasta sustancias muy descompuestas como el humus, pasando por residuos de plantas y animales en diferentes estados de descomposición (ANSORENA, 1994).

Los restos de animales y vegetales muertos presentes en el suelo parecen desaparecer con el tiempo. En realidad, lo que ocurre es que los microorganismos del suelo se alimentan de la materia orgánica contenida en los residuos, descomponiéndola. En el proceso de descomposición, gran parte del carbono se oxida a anhídrido carbónico, que vuelve a la atmósfera, mientras que el hidrógeno se oxida a agua, un pequeño porcentaje del carbono queda retenido en un residuo de materia orgánica muy descompuesta y estable, que se denomina humus y está formado por una mezcla de varias sustancias (ANSORENA, 1994).

El Humus es, por tanto, la parte más o menos estable de la materia orgánica del suelo que permanece después de que los residuos de animales y plantas son descompuestos por los microorganismos. Por acción microbiana, el nitrógeno orgánico se transforma en amonio y posteriormente se oxida a nitratos, que junto con los restantes minerales liberados pasa a la solución del suelo, de donde puede ser tomado de nuevo por las raíces de las plantas (o puede contribuir a la salinización del sustrato) (ANSORENA, 1994).



La materia orgánica en los sustratos se descompone y experimenta una serie de cambios en su composición, hasta que alcanza una cierta estabilidad biológica. Estos cambios habrán de tenerse en cuenta en los sustratos basados en sustancias orgánicas naturales, como la turba, las cortezas u otras de diversos orígenes. Los tejidos de los microorganismos que se alimentan de la materia orgánica que descomponen, tienen una **relación carbono / nitrógeno (C/N)** del orden de 30. Por tanto si descomponen y se alimentan de materiales con una relación C/N superior, es decir, con una mayor proporción de carbono, necesitarán para su crecimiento un aporte extra de nitrógeno, que tomarán del nitrógeno soluble presente en el medio de cultivo, compitiendo con las plantas (ANSORENA, 1994)..

Cuando se preparan sustratos orgánicos a partir de sustancias naturales, es necesario tener en cuenta los valores de la relación C/N (Cuadro N° 2.5.), cuanto más bajo sea el valor de este cociente, más mineralizado estará el material (ANSORENA, 1994).

Cuadro N° 2.5.

Valores de la relación carbono / nitrógeno (C/N) en diferentes materiales orgánicos.

TIPO DE MATERIA ORGANICA	C/N
Estiércol de vacuno	28
Estiércol de ovino	23
Estiércol de cultivos de setas	19
Basuras frescas	30
Compostaje urbano	14
Lodos	11
Turba parda francesa	20-26
Turba rubia rusa	54
Turba rubia alemana	49
Corteza de pino marino no compostada	300
Corteza de pino silvestre compostada	92

Fuente Lemaire et al (1989) citado por ANSORENA (1994).

Se han observado casos en que dos materiales con velocidad de descomposición muy diferente presentaban relaciones de C/N semejantes, de lo que se deduce que el grado de mineralización depende sobre todo de la naturaleza de los compuestos carbonados del material (celulosa, hemicelulosa, lignina) y de su mayor o menor resistencia al ataque microbiano, más que de su relación C/N. Aunque el empleo de la relación C/N es útil si se estudia el compostaje de materiales cuyo uso como sustratos es conocido, no es suficiente cuando se debe decidir la utilización de un nuevo subproducto o residuo como ingrediente del sustrato. En estos casos se utiliza un simulador de compostaje de laboratorio a través del cual se controla el proceso, lo que permite optimizar los parámetros y seleccionar la mezcla más adecuada (ANSORENA, 1994).

Si se toma cantidad de tierra y se la añade a un volumen de agua contenida en un frasco, agitando la mezcla y dejándola sedimentar, se observa que al cabo de un cierto tiempo una parte de la tierra se habrá depositado en el fondo, quedando el agua con un color marrón que indica la presencia de partículas en suspensión. Este experimento indica que algunas partículas del suelo (las más pequeñas), son capaces de permanecer indefinidamente en suspensión acuosa, sin sedimentar. Son los llamados coloides del suelo, que pueden ser de naturaleza orgánica o mineral: humus y arcilla (ANSORENA; 1994).

La explicación de este fenómeno es doble. Por un lado, a causa de su pequeño tamaño, estas partículas tienen una gran área superficial por unidad de peso, o **superficie específica**; por otra parte, esta superficie posee cargas eléctricas negativas, y esto hace que las partículas se repelan entre sí, lo que impide que se agreguen y precipiten (ANSORENA; 1994).

En la práctica, los valores de superficie específica suelen encontrarse entre 10 y 800 metros cuadrados por gramo para las arcillas y entre 800 y 900 metros cuadrados por gramo para el humus. 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 (o sustrato), y se manifieste aunque las cantidades de arcilla y humus sean pequeñas (ANSORENA; 1994).

La mayor parte de los nutrientes minerales que se hallan disueltos en la solución del suelo como iones de carga positiva, son atraídos por las cargas eléctricas negativas de la arcilla y el humus, formando una capa difusa de cationes. Estos cationes son retenidos en la superficie del humus y de las arcillas por fuerzas eléctricas débiles, por lo que pueden pasar de nuevo a 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** (auténtica reserva de nutrientes) (ANSORENA; 1994).

La capacidad de un medio de cultivo para retener cationes nutrientes e intercambiarlos con la solución acuosa, se denomina **Capacidad de Intercambio Catiónico** (ANSORENA; 1994).

La solución acuosa.

Además de nutrientes, la fase sólida del medio de cultivo debe ser capaz de retener suficiente cantidad de agua y aire. 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. (ANSORENA, 1994)

Las plantas no pueden tomar alimentos sólidos, y deben recibir los nutrientes minerales a través de la solución acuosa del suelo, disueltos en ella. Los mecanismos por los cuales la planta absorbe los minerales de la solución acuosa, son de tres tipos:

- a) *Intercepción por las raíces* Por este mecanismo, las raíces en crecimiento entran en contacto directo con los nutrientes disponibles.
- b) *Flujo de masa*. Consiste en el movimiento de nutrientes a la superficie de las raíces, que se produce cuando la solución del suelo se desplaza para reemplazar la cantidad de agua absorbida por la planta.
- c) *Difusión*. Este mecanismo se produce sin movimiento de agua, cuando la concentración de nutrientes en la superficie de la raíz es menor que en la solución acuosa del medio de cultivo. En ésta, los iones se encuentran en continuo movimiento, desplazándose hacia los puntos de baja concentración hasta que se alcanza un equilibrio(ANSORENA 1994)

Por lo tanto, se deduce que el principal mecanismo por el que se absorben los elementos minerales dependerá del nutriente considerado y de las condiciones del medio de cultivo(ANSORENA 1994). A modo de ejemplo en el cuadro N° 2.6. se ve la contribución de cada uno de estos procesos a la absorción de nutrientes en un cultivo de maíz.

Cuadro N° 2.6.**Contribución de los diferentes mecanismos a la absorción de nutrientes por las plantas.**

Nutriente	Cantidad absorbida Kg/ha	Interceptación Kg/ha	Flujo de masas Kg/ha	Difusión Kg/ha
Nitrógeno	190	2	150	38
Fósforo	40	1	2	37
Potasio	195	4	35	156

Fuente: Foth y Ellis (1988) citado por Minami 1995

La fase gaseosa.

Además de agua, las raíces de las plantas necesitan un suministro adecuado de aire, para mantener su metabolismo y crecimiento. También los microorganismos del medio de cultivo consumen oxígeno al respirar, por lo que al ser muy superior la población microbiana en un sustrato orgánico, las plantas cultivadas en ese medio pueden necesitar hasta el doble de oxígeno que en un suelo mineral (ANSORENA, 1995)

El exceso de agua disminuye el espacio aéreo del suelo, lo que tiene consecuencias negativas sobre los cultivos por su efecto directo sobre la respiración de las raíces y por el indirecto al alterar la actividad microbiana. El normal desarrollo de las actividades fisiológicas de las raíces (respiración, absorción de agua y nutrientes, etc.) requiere la presencia de oxígeno en el suelo, que es consumido por las raíces produciendo CO₂. El oxígeno en el suelo se puede encontrar de dos formas: en estado gaseoso, como parte de la atmósfera del suelo, o disuelto en la solución del suelo (PIZARRO, 1990).

En un medio bien aireado, la atmósfera del suelo, es decir, el aire que ocupa los poros no llenos de agua, tiene una composición algo diferente a la de la atmósfera libre. El contenido en nitrógeno es casi igual (70 %), el de oxígeno es algo inferior (20 %) y el de CO₂ bastante más elevado como consecuencia de la respiración de las plantas y microorganismos. El contenido medio en CO₂ de la atmósfera libre es 0.03 %, mientras que en el aire del suelo es 0.2-0.3 %. Este contenido puede superar el 1% e incluso alcanzar el 15 %. En general, la suma de O₂ y CO₂ en el aire del suelo es casi igual a la del aire libre. En el suelo, cuando el CO₂ aumenta el O₂ disminuye. Cuando el O₂ baja del 8% comienzan los procesos anaerobios. En la solución del suelo, el contenido de O₂ es mucho menor que en la atmósfera del suelo; al contrario ocurre con el CO₂. Ello es debido a la diferencia en las solubilidades del O₂ y el CO₂. El contenido máximo de O₂ disuelto es de 6 ml / litro a 20 °C, pero este contenido disminuye cuando aumenta la temperatura... (PIZARRO, 1990).

En la renovación del oxígeno consumido por las plantas es de mucho mayor importancia el oxígeno de la atmósfera del suelo que el disuelto en las soluciones, ya que el intercambio entre el aire del suelo y el libre se realiza con facilidad mientras que la difusión del oxígeno del suelo es un fenómeno lento (PIZARRO, 1990).

Un déficit temporal de oxígeno puede reducir el crecimiento de las raíces y la parte aérea, pero condiciones de anaerobiosis mantenidas durante varios días pueden llegar a

provocar la muerte de algunas raíces. El oxígeno es también requerido por los microorganismos y, por tanto, las plantas cultivadas en sustratos orgánicos, con una elevada población microbiana, requieren el doble o más de oxígeno que las plantas cultivadas en suelos minerales, sin abundante materia orgánica (ABAD, 1995).

La velocidad de difusión del oxígeno es 10000 veces más pequeña en el agua que en el aire. Así pues, el espesor de la lámina de agua alrededor de las raíces es de marcada importancia. Si la textura y la estructura del suelo son tales que la mayoría de los poros permanecen llenos de agua después del riego, el suministro de oxígeno se verá reducido de modo severo, el CO₂ se acumulará, se producirá una liberación de etileno, etc., todo lo cual resultará en una inhibición del crecimiento y a veces, en el marchitamiento de la planta (Raviv et al., 1986 citado por ABAD 1995)

2.3.2. Las propiedades físicas del sustrato.

Las propiedades físicas de los medios de cultivo son de primerísima importancia. Una vez que el medio esté en el contenedor, y la planta esté creciendo en él, no es posible modificar las características físicas básicas de dicho medio. Esto contrasta con las características químicas de los sustratos, que pueden ser modificadas mediante técnicas de cultivo apropiadas, realizadas por el propio agricultor. (ABAD, 1995).

La caracterización física estudia la distribución volumétrica del material sólido, el agua y el aire, así como su variación en función del potencial matricial. (ABAD, 1995).

Retención de agua por la fase sólida.

Una mezcla que tenga una elevada porosidad tendrá las ventajas potenciales de una buena aireación y retención de agua. Sin embargo, el que estas condiciones se den en la práctica dependerá, además, de la distribución del tamaño de poros. Si estos son muy grandes, la porosidad estará ocupada por aire. Por el contrario si los poros son excesivamente pequeños, se retendrá mucho agua. Es necesario que la distribución del tamaño de poros sea la adecuada para que el sustrato retenga las cantidades convenientes de agua y aire (ANSORENA, 1994)

Granulometría: La influencia del tamaño de partícula en las propiedades físicas, en la práctica se da porque, la porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de partícula (ABAD, 1995).

El tamaño de las partículas afecta el crecimiento de las plantas a través del tamaño de los poros. La distribución del tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido en agua y en aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad (ABAD, 1995).

Los materiales de textura gruesa, con tamaño de partícula superior a 0,9 mm, con poros grandes, superiores a 100 μ m, retienen cantidades reducidas de agua, y están bien aireados. Los materiales finos, con partículas inferiores a 0,25 mm y tamaño de poros inferiores a 30 μ m, retienen grandes cantidades de agua difícilmente disponible para la planta y están mal aireados. El mejor sustrato se define como aquel material de textura gruesa a media, con una distribución de tamaño de los poros entre 30 y 300 μ m, equivalente a 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 (Puustjärvi, 1983; citado por ABAD, 1995)

Para las partículas de dimensiones comprendidas entre 1 y 10 mm, tanto la porosidad como la cantidad de agua retenida varía poco con el tamaño de la partícula. Sin embargo al pasar a partículas de tamaños inferior a 1 mm, se observa un brusco descenso de la porosidad y aumento de la retención de agua (ANSORENA, 1994).

En el sustrato con una distribución amplia de tamaños, las partículas pequeñas se alojan en los huecos entre partículas grandes, reduciendo su tamaño y, por tanto, la porosidad total y la ocupada por el aire. Al mismo tiempo, aumentará la cantidad de agua retenida, al ser mayor el número de microporos. En consecuencia, las propiedades físicas de los sustratos dependen en gran medida de la distribución de tamaños de partícula (ANSORENA, 1994).

Es evidente que deben existir determinadas fuerzas que retienen el agua en los poros más pequeños del sustrato, venciendo la acción de la fuerza de la gravedad, que tiende a extraer el agua al exterior. Estas fuerzas son de dos tipos: capilares y osmóticas (ANSORENA; 1994).

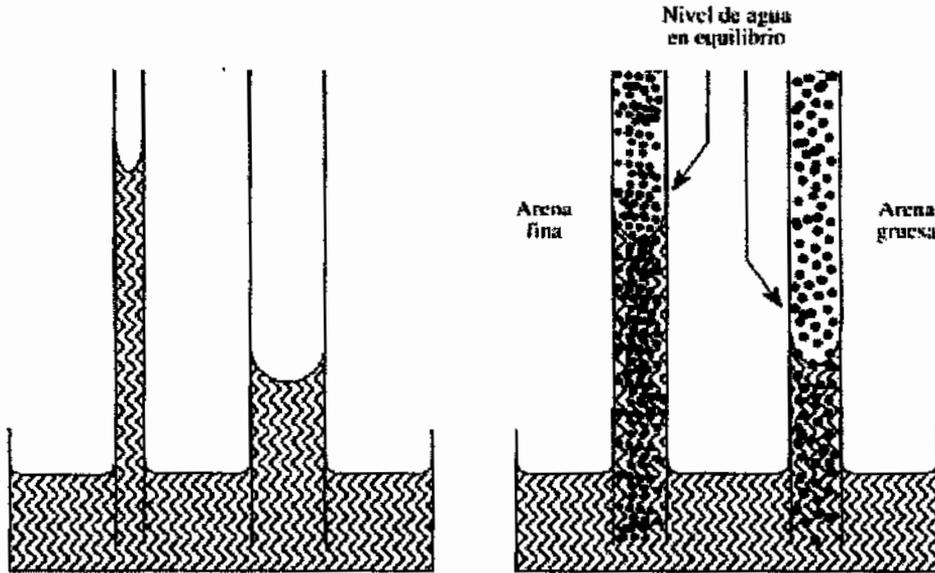
Las fuerzas capilares son el resultado de la atracción del agua por las superficies. Si sumergimos un tubo capilar de vidrio en agua (figura N° 2.2.), el líquido alcanza en el tubo una altura superior al nivel del agua en el recipiente, y tanto mayor cuanto más estrecho sea el tubo capilar. Es decir, cuanto menor es el diámetro del tubo, mayores serán las fuerzas capilares que retienen el agua, lo que se manifiesta en una altura superior del nivel del líquido en el tubo. Si esta situación se la traslada a lo que ocurre en el sustrato, se ve que cuanto menor sea el tamaño de partículas, y por tanto, el diámetro de los poros, mayor será la fuerza de retención del agua por capilaridad (ANSORENA, 1994)

De lo anterior se deduce que la fuerza de succión que deberá ejercer la planta para extraer el agua retenida por el sustrato será tanto mayor cuanto menores sean los poros. Esta energía suele expresarse en la bibliografía como el potencial matricial.

El potencial del agua representa su capacidad para realizar un trabajo, lo que equivale a la cantidad de energía disponible. El agua retenida por capilaridad en un medio de cultivo no solamente es incapaz de realizar un trabajo libremente, sino que se deberá aplicar una fuerza de succión (energía) para extraerla, venciendo las fuerzas capilares que la retienen en los poros. Por eso, su potencial será negativo, y tanto más negativo cuanto más retenida se

encuentre por las fuerzas de la matriz del medio (de ahí que se llame potencial matricial) (ANSORENA, 1994)

Figura N° 2.2.
Influencia del tamaño de los poros en la retención de agua por fuerzas capilares.

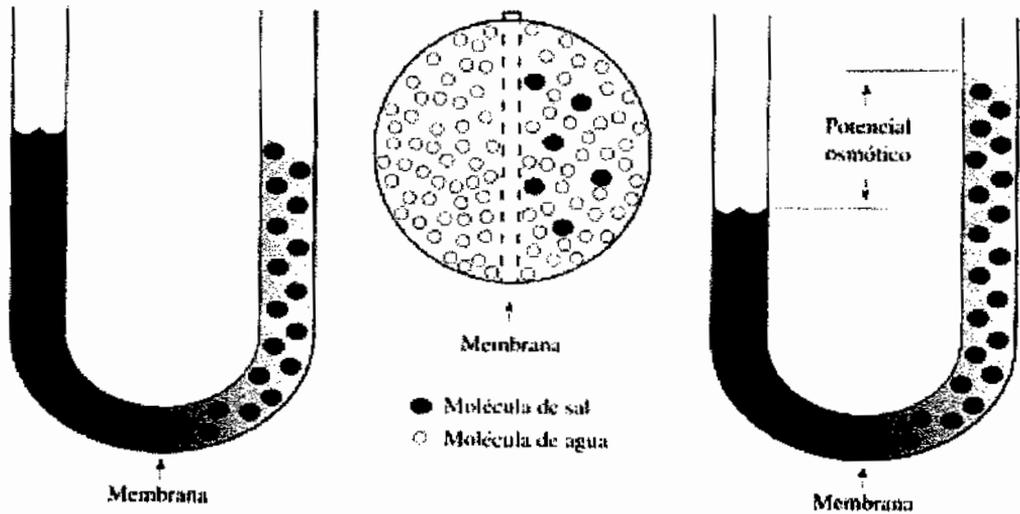


Tomado de ANSORENA, 1994

Además del potencial matricial, existe una componente química del potencial total del agua, que se llama osmótica y tiene su origen en la elevada salinidad o concentración de sales en la fase líquida. Cuanto mayor sea esta última, más elevada será la succión que debe aplicar la planta para extraer el agua del sustrato. El fenómeno de la ósmosis se presenta cuando dos soluciones acuosas de distinta concentración de sales se encuentran separadas por una membrana. Como consecuencia de la tendencia natural de igualarse por difusión las concentraciones de dos soluciones de diferente concentración que se ponen en contacto, se produce un flujo de agua desde el lado de la solución más diluida al de la concentrada. Este flujo crea una diferencia entre los potenciales de agua a ambos lados de la membrana, que se manifiesta en una diferencia de niveles de líquido a ambos lados de la membrana, y se conoce como Presión osmótica (Figura 2.3.) (ANSORENA, 1994).

Como en los sustratos la concentración de nutrientes en solución suele ser elevada existirá una componente osmótica que se opone al paso del agua a través de la membrana celular hacia el interior de las raíces, lo que reduce la disponibilidad de agua para las plantas. La presión osmótica será tanto mayor cuanto más concentrada sea la solución acuosa del medio de cultivo, pudiendo ser en condiciones extremas de salinidad elevadas, el factor limitante de la cantidad de agua disponible para la planta (ANSORENA, 1994).

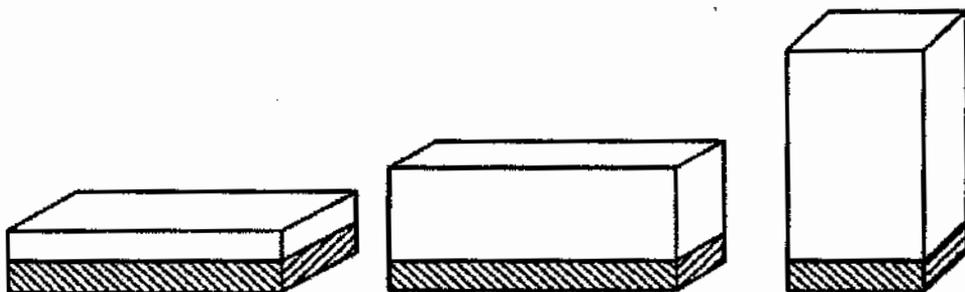
Figura N° 2.3.
Ilustración del fenómeno de la ósmosis y potencial osmótico.



Tomado de ANSORENAI. 1994.

El agua retenida por un sustrato no se reparte uniformemente en toda la altura del contenedor. Si tras sumergir en agua y saturar una esponja, se la deja drenar colocándola sobre una malla metálica, se observa que el espesor de la capa inferior que se encuentra saturada de agua es prácticamente idéntico, independientemente de cual sea la cara sobre la que se apoya la esponja (Figura 2.4.). Evidentemente, la cantidad de agua retenida será menor cuanto más pequeña sea la superficie de apoyo (es decir cuanto mayor sea su altura). Por lo tanto un mismo volumen de sustrato retendrá más agua cuanto menor sea la altura del contenedor (ANSORENA, 1994).

Figura 2.4.
Influencia del espesor del sustrato en la cantidad de agua retenida (zona rayada).



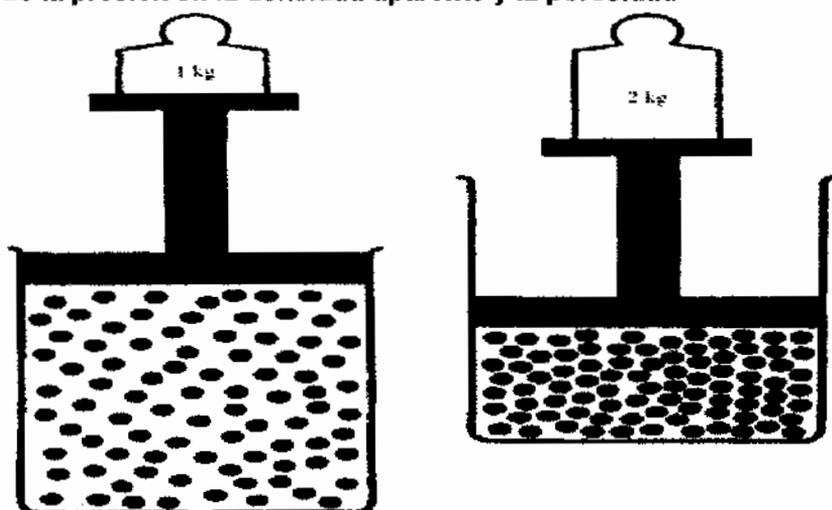
Tomado de ANSORENA et. al., 1994.

A diferencia de lo que ocurre con el suelo que presenta una estructura propia, los sustratos carecen de ella, lo que dificulta determinar cual es el volumen del sustrato y por ende la densidad aparente.

La Densidad Aparente se define como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del medio húmedo, es decir, incluyendo el espacio poroso entre las partículas (ABAD, 1995).

Figura Nº 2.5.

Efecto de la presión en la densidad aparente y la porosidad



Tomado de ANSORENA, 1994

La influencia de la compactación en la porosidad y en la densidad aparente se comprende fácilmente al considerar el efecto de comprimir un material poroso. Cuanto mayor sea la presión ejercida, menor será el volumen de poros, y por tanto la porosidad. Al disminuir el volumen total, manteniéndose 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 de agua (figura Nº 2.5.) El riego también ejerce un efecto de compactación sobre los sustratos en contenedor, que habrá de ser tenido en cuenta. (ANSORENA, 1994)

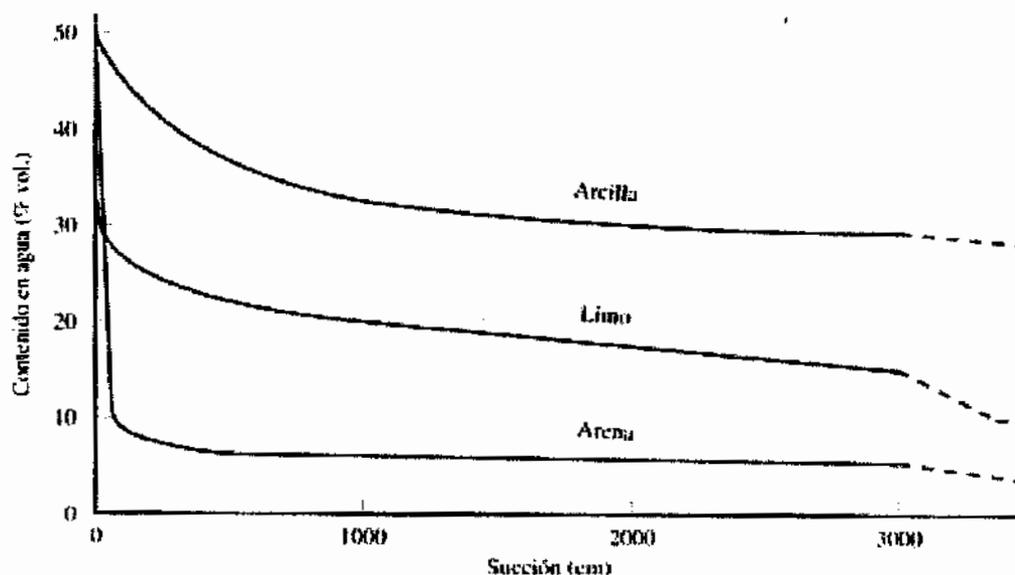
La Densidad real se define como el cociente entre la masa de las partículas del medio de cultivo y el volumen que ocupan, sin considerar los poros y huecos. Su valor es propio del material y, a diferencia de la densidad aparente no depende del grado de compactación ni del tamaño de partícula (ANSORENA, 1994).

Para conocer la disponibilidad de agua de un sustrato para las plantas, suele simularse en el laboratorio lo que ocurre en la maceta, empleando un equipo de succión, que imita la succión ejercida por las raíces de la planta.

A cada succión aplicada, el sustrato perderá una determinada cantidad de agua. Midiendo el contenido en agua del sustrato tras la aplicación de diferentes succiones, puede trazarse la curva de desorción o de liberación de agua del sustrato (gráfica N° 2.2.) (ANSORENA, 1994)

Gráfico N° 2.2.

Curvas de desorción o de liberación de agua típicas para distintos tipos de suelo.



Fuente: Handreck y Black (1991).

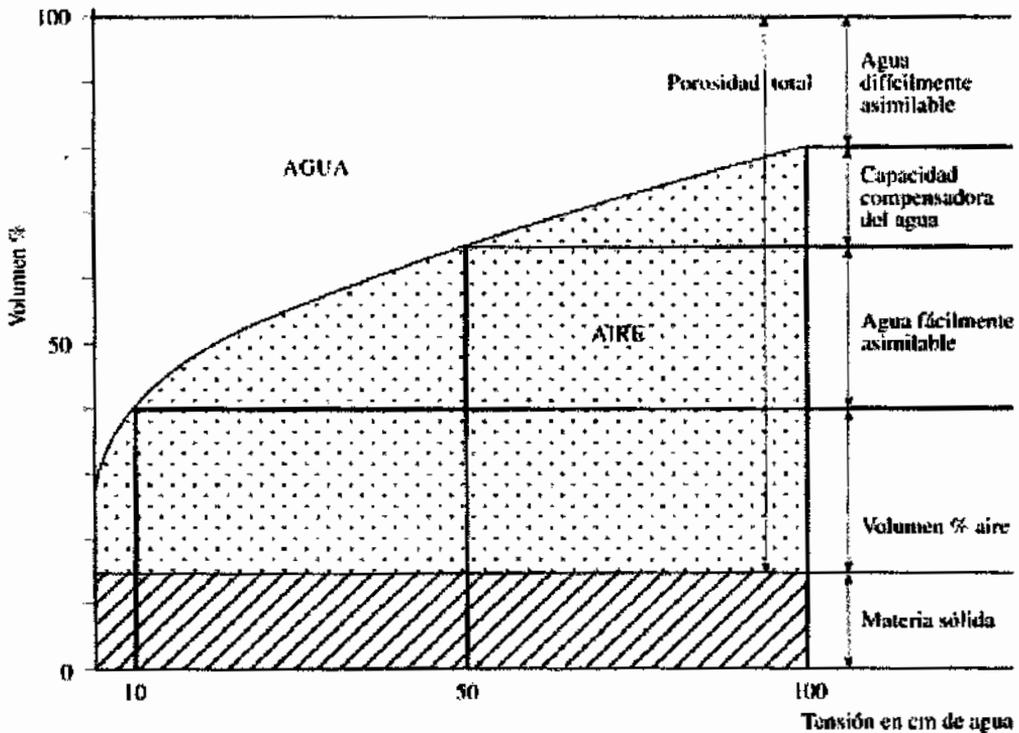
Citados por ANSORENA, 1994.

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 en agua y aire a 10 cm de succión. Basándose en las curvas de desorción de suelos minerales (del tipo de la gráfica 2.1.) y en experiencias previas con sustratos de plantas ornamentales en maceta, De Bood y colaboradores en 1974 propusieron el empleo de la curva de liberación de agua en el intervalo de 0 a 100 cm de succión de columna de agua, para calcular la distribución de aire y agua (gráfico N° 2.3.) (ANSORENA; 1994).

El espacio poroso total es el volumen total del medio de cultivo no ocupado por partículas orgánicas o minerales (gráfico N° 2.3). Su nivel óptimo se sitúa por encima del 85% del volumen del sustrato; una alta porosidad total no indica por sí misma una buena estructura del sustrato, sino que es necesario conocer la relación entre la fracción de la porosidad que proporciona el agua y aquella que proporciona la aireación (ABAD, 1995).

Gráfico N° 2.3.

Curva de desorción o de liberación de agua, mostrando los diferentes parámetros que proporciona.



Fuente ANSORENA, 1994. Adaptado De Boodt et al (1974)

El total de poros existente en un sustrato se divide entre: 1) Poros "capilares" de pequeño tamaño ($< 30 \mu m$), que son los que retienen el agua, y, 2) Poros "no capilares" o macroporos, de mayor tamaño ($> 30 \mu m$), que son los que se vacían después que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación (Raviv et al., 1986; Bunt, 1988; citado por ABAD, 1995)

La capacidad de aireación (volumen % aire) se define como la proporción del volumen del medio de cultivo que contiene aire después de que dicho medio ha sido saturado con agua y dejado drenar, usualmente a 10 cm de tensión. El nivel óptimo de la capacidad de aireación oscila entre el 20 y el 30% en volumen (Abad et al., 1993 citado por Manuel ABAD BERJON 1995).

Los poros que se mantienen llenos de agua después del drenaje del sustrato son los de menor tamaño. Es necesario, entonces, distinguir entre: 1) el agua retenida por el sustrato y que es accesible para la planta, y, 2) el agua fuertemente retenida por el sustrato (**agua difícilmente asimilable**) y que no es utilizable, ya que la succión aplicada por las raíces no supera la fuerza con la que el agua es retenida por las partículas del sustrato. Por lo tanto, y en relación con los sustratos lo que interesa es la capacidad de retención de agua fácilmente

disponible y no la capacidad de **retención total de agua** (Martínez y Burés, 1988 citado por ABAD 1995).

El agua fácilmente disponible (o asimilable) es la diferencia entre el volumen de agua retenido por el sustrato, después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a 10 cm de tensión matricial, y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una succión de 50 cm de columna de agua. El valor óptimo para el agua fácilmente disponible oscila entre el 20 y el 30% del volumen (ABAD, 1995)

El agua de reserva (o capacidad compensadora del agua) es la cantidad de agua (% en volumen) que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de columna de agua. El nivel óptimo es sitúa entre el 4% y el 10% en volumen (ABAD, 1995)

Se define el **"Agua Total Disponible"** de un sustrato como la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva. Su valor óptimo varía entre el 24 y el 40% del volumen del sustrato. El **"Agua difícilmente disponible"** es el volumen de agua retenido por el sustrato a la tensión de 100 cm de columna de agua (c.a.) (ABAD 1995).

El límite de 100 cm de tensión se ha encontrado experimentalmente, trabajando con especies del genero Ficus.(DE BOODT et al 1974) En el caso de plantas hortícolas, como el tomate, se ha señalado que se pueden alcanzar tensiones de hasta 300 cm de columna de agua (c.a.) sin afectar de modo significativo el crecimiento vegetal (Martínez y Burés, 1988; citado por ABAD, 1995)

2.3.3. Las propiedades químicas del sustrato.

Junto a unas 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.

Las propiedades químicas de los sustratos caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del sustrato: Reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales (química), reacciones de intercambio de iones (físico – química), y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (bioquímica) (ABAD; 1995)

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 en la descomposición de la materia orgánica. (ABAD; 1995)

Potencial de hidrógeno (pH).

En general, el medio de cultivo no es inerte, sino que interacciona con la solución nutritiva y, además de desempeñar las funciones anteriores, actúa como reserva de nutrientes, a través de la capacidad de intercambio catiónico. Esta última depende en gran medida de la acidez o potencial de hidrogeno (pH) del medio. (ANSORENA, 1994)

El agua está constituida por gran número de moléculas, que representamos como H_2O ; con ello indicamos que cada molécula resulta de la unión de un átomo de oxígeno (O) y dos de hidrogeno(H). En la inmensa mayoría de las moléculas que componen una muestra de agua, los átomos de hidrogeno de encuentran unidos a un átomo de oxígeno a través de uniones o enlaces sencillos: H-O-H. Pero en una pequeña fracción de las moléculas de agua (una por cada seiscientos millones), uno de los enlaces no existe, por lo que estas moléculas se encuentran desdobladas en dos partes o iones, con cargas opuestas:



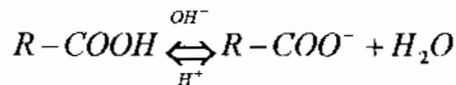
En el agua pura, el número de iones de uno y otro tipo será el mismo, ya que cada molécula de agua proporciona uno de cada clase. Se dice entonces que el agua es neutra. En un litro de agua habrá tan solo 0,1 microgramos de iones H^+ , lo que supone una concentración de 0,0000001 gramos por cada litro, que se expresa como 10^{-7} g/l. Si añadimos una sustancia que aporte iones H^+ (un ácido), su concentración será mayor (por ejemplo si aumentamos diez veces, será 0,000001 o 10^{-6} g/l) y decimos que el agua se ha acidificado. Pero si la sustancia cede iones OH^- (una base o álcali), disminuirá la concentración de H^+ (por ejemplo, si se reduce 100 veces, pasara a ser de 0,00000001 o 10^{-8} g/l), ya que estos iones reaccionarán con los añadidos, para formar moléculas de agua. Para evitar el manejo de estas cifras con tantos decimales o con potencias negativas de 10, se introdujo el concepto de pH, que es una medida de la concentración de iones H^+ en solución acuosa, y por tanto de su carácter ácido o básico; en lugar de $10^6, 10^7$ o 10^8 , se expresa la concentración de iones H^+ diciendo que el pH es 7 (neutro), 6 (ácido), u 8 (básico) respectivamente (ANSORENA; 1994).

La capacidad de intercambio catiónica (C.I.C.) se define como la suma de los cationes cambiables que pueden ser absorbidos por unidad de peso (o de volumen) del sustrato. Dichos cationes quedan así retenidos frente al efecto lixivante del agua y están usualmente disponibles para la planta (ABAD; 1995).

Los materiales orgánicos poseen una elevada capacidad de intercambio catiónico y una alta capacidad tampón frente a cambios rápidos en la disponibilidad de los nutrientes y en el pH. Una capacidad de intercambio catiónica elevada representa un depósito de reserva para los nutrientes, mientras que los materiales con baja capacidad de intercambio catiónico, como la mayoría de los materiales minerales, retienen cantidades reducidas de nutrientes y requieren una aplicación frecuente y regular de fertilizante (ABAD, 1995).

Se pueden prevenir los cambios rápidos en la acidez o la alcalinidad de los sustratos, usando materiales orgánicos en los medios de cultivo (Puustjärvi, 1977; Penningsfeld, 1978; citados por ABAD; 1995).

La materia orgánica, especialmente la 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 \ominus cargados negativamente son capaces de adsorber 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 (ABAD; 1995).



La capacidad de los sustratos orgánicos para adsorber cationes metálicos depende del pH: cuanto más alto es él, más elevada es la capacidad de intercambio catiónico (gráfico N° 2.4.). Para una turba rubia, la capacidad de intercambio catiónico se incrementa desde 50 hasta 100 meq /100 g cuando el pH aumenta de 3,5 hasta 5,5 (Puustjärvi, 1977; citado por ABAD 1995)

Ciertos materiales minerales de naturaleza arcillosa (vermiculita por ejemplo) tienen la propiedad de adsorber o fijar cationes superficialmente, mediante sustituciones catiónicas o isomórfas en los cristales del mineral (ABAD; 1995).

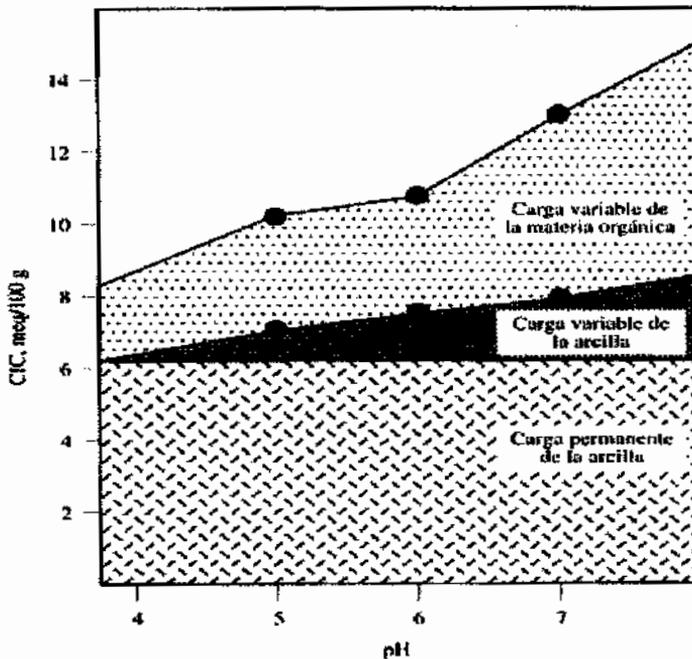
La carga eléctrica negativa puede ser permanente, es decir, constante e independiente del pH del medio, como ocurre en ciertas arcillas. Pero algunos compuestos minerales y, sobre todo, los grupos ácidos del humus, pierden iones H^+ a medida que aumenta el pH, dando lugar a un aumento de la carga eléctrica negativa, es decir se produce una carga variable o dependiente del pH. (ANSORENA, 1994) (grafica N° 2.4)

La planta del 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. No obstante, el crecimiento y el desarrollo de las plantas se ven reducidos de modo marcado en condiciones de acidez o alcalinidad extremas (ABAD; 1995).

La asimilabilidad de los elementos nutritivos es afectada de modo marcado por el pH. Con pH de 5,0 a 7,0, la mayoría de los nutrientes mantiene su máximo nivel de asimilabilidad. Por debajo de pH 5,0 pueden presentarse deficiencias de N, K, Ca, Mg, B., mientras que por encima de pH 7,0 puede disminuir la asimilabilidad de Fe, P, Mn, B; Zn y Cu. Los óxidos metálicos de Fe, Mn, Cu, Zn, etc, se hacen más solubles al bajar el pH (por debajo de 5,0), pudiendo llegar a resultar fitotóxicos (Lucas y Davis, 1961 citados por ABAD; 1995).

Gráfico N° 2.4.

Variación de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) de un suelo, en función del pH.



Fuente: Foth y Ellis (1988).

Citado por ANSORENA, 1994.

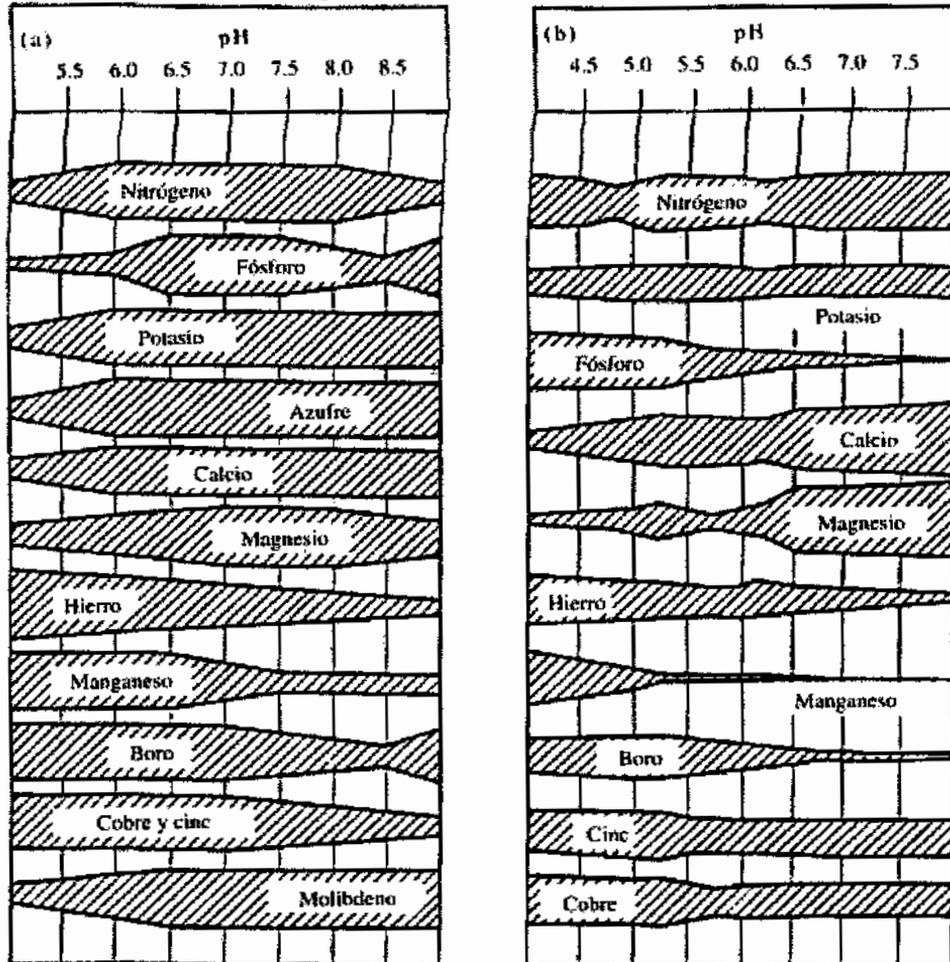
Las plantas pueden crecer sin restricciones en un amplio intervalo de pH (4 a 8), siempre que las concentraciones de nutrientes disponibles se mantengan en niveles suficientes. En sustratos orgánicos, el rango óptimo de pH para el crecimiento de las plantas es el comprendido entre 5.0 y 5.5, que es diferente a lo que ocurre en un suelo mineral donde el mismo está entre 6.5 y 7.0 (gráfico N° 2.5.). Este rango óptimo es donde se observa una mayor solubilidad de todos los minerales encontrándose más disponibles para ser asimilados, esto no excluye que puedan crecer satisfactoriamente fuera de ese intervalo. (ANSORENA 1994).

En un momento dado, los nutrientes disponibles para la planta serán aquellos que se encuentran disueltos en la solución del suelo, más 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 más largo plazo, a medida que van pasando a la solución para compensar la disminución de la concentración por absorción de la planta (ANSORENA 1994).

La mayoría de los nutrientes retenidos como reserva en el complejo de cambio serán cationes, aunque también algunas arcillas desarrollan cargas eléctricas positivas y, por tanto, poseen una cierta capacidad de intercambio aniónico. Al igual que la capacidad de intercambio catiónico, aumenta con el pH, aunque generalmente adquiere valores muy inferiores a la c.i.c. La capacidad de intercambio aniónica es máxima para el fósforo y mínima para los cloruros y

nitros, que son apenas retenidos, por lo que se lixivian; el sulfato ocupa una posición intermedia (ANSORENA 1994).

Gráfica N° 2.5.
Influencia del Ph en la asimilabilidad de los nutrientes en (a) suelo mineral y (b) sustrato orgánico.



Referencia:

Solubilidad de cada elemento en la solución del medio: Más soluble  Menos soluble.

Fuente: Troug (1948) y Peterson (1981) citado por ANSORENA, 1994.

A diferencia de los suelos minerales, los sustratos orgánicos no poseen o es muy escasa su capacidad de intercambio aniónica, por lo tanto la disponibilidad de nutrientes que se encuentran en forma aniónica (nitros y fosfatos, principalmente) estará condicionada por otro mecanismo de regulación como es la formación y disolución de precipitados poco solubles. El

nitrate es muy soluble y no forma prácticamente sales insolubles con ningún catión, por lo que a prácticamente la totalidad del nitrato aportado permanecerá en solución y podrá ser lavado fácilmente (ANSORENA 1994).

En el caso del fósforo, y como las cantidades de hierro y aluminio en los sustratos orgánicos son insignificantes, no se formarán los correspondientes fosfatos insolubles que se forman en los suelos minerales a valores bajos de pH, por lo que la mayor parte del fósforo soluble aplicado estará disuelto y podrá perderse fácilmente por lixiviación. A medida que aumenta la cantidad de calcio con la cal del sustrato y, por tanto, el pH, se formarán precipitados insolubles de fosfato cálcico, disminuyendo la cantidad que permanece en solución y aumentando la cantidad de reserva (ANSORENA 1994).

Como el pH de los sustratos empleados para el cultivo de plantas en contenedor suele ser bajo, el fósforo aportado en forma soluble con el abono estará disponible para las plantas, por lo que será difícil que se presenten carencias. Junto a esta ventaja, existen dos inconvenientes, que son comunes con el nitrato:

- a) Las concentraciones en la fase acuosa pueden ser tan elevadas, que resulten tóxicas para algunas plantas (proteas, trébol subterráneo, avena y altramuces para el fósforo; plantas sensibles a la salinidad en el caso del nitrato).
- b) Estos iones se perderán fácilmente por lixiviación, lo que habrá de tenerse en cuenta cuando los riegos son intensos, para evitar posibles carencias (ANSORENA 1994).

2.3.4 Las propiedades biológicas del sustrato.

En opinión de DALZELL, H. W.; et all 1991, el compost al final del proceso de descomposición tiene una enorme cantidad de microorganismos. La aplicación de compost no solo añade mucha vida microbiana, sino que suministra alimento para los microorganismos presentes en el suelo. Los microorganismos, en su ataque continuado a la materia orgánica, ayudan a la liberación de mucilagos que favorecen la agregación, así como micelios e hifas de hongos y actinomicetes.

Algunos hongos en esta situación forman asociaciones llamadas micorizas, con las raíces de ciertas plantas y árboles. Estos "puentes" son beneficiosos para la transferencia de nutrientes desde el suelo a la planta.

Este mismo autor sostiene que una población muy activa de microorganismos de muchas especies diferentes, ayuda a controlar los organismos causantes de enfermedades patógenas que atacarían a las plantas. Además, algunos hongos predadores tienen la habilidad

de atrapar y matar pequeños nemátodos, que atacan frecuentemente al sistema radicular de pepinos, papas y tomates.

SILVA, A. 1991 afirma que la acción microbiana puede mineralizar o inmovilizar el nitrógeno. El principal factor que determina cual de los dos procesos va a ocurrir es la relación carbono / nitrógeno.

En opinión de RAVIV, M. et. al 1986, la mayor causa de mal crecimiento de las plantas que se desarrollan en sustratos con materia orgánica inmadura, es la deficiencia en nitrógeno (provocada por la inmovilización microbiana) y la falta de oxígeno en la rizósfera. Esto es causado por microorganismos que descomponen la materia orgánica y utilizan el nitrógeno en la síntesis de proteína celulares. El oxígeno es consumido en la actividad microbiana. El contenido de nitrógeno en los tejidos de los microorganismos varía de un grupo sistemático a otro. En general, la relación carbono / nitrógeno varía desde 5 a 30. Es deseable una relación C/N menor a 20, ya que indica madurez y estabilidad en el sustrato.

Este mismo autor afirma que al preparar sustratos con materiales con alta relación C/N como corteza, paja o aserrín, se debe agregar nitrógeno durante la descomposición. Esta adición de nitrógeno se debe hacer con cuidado ya que con el tiempo la tasa de descomposición bajara, los microorganismos morirán y se liberara nitrógeno a la solución del sustrato, pudiendo incrementar la salinidad del medio. Este problema podría ser solucionado mediante el lavado del sustrato.

Muchos de los efectos de la materia orgánica en los suelos y en los medios de cultivo son atribuidos a los ácidos húmicos y fúlvicos que son los productos finales de la degradación de la lignina, la celulosa y la hemicelulosa. Una amplia variedad de funciones de la planta tanto a nivel de órgano como a nivel celular son afectados por los ácidos húmicos y fúlvicos. Las sustancias húmicas han sido mencionadas también como fuente de micronutrientes (RAVIV; M. 1986)

Velocidad de descomposición.

Todos los sustratos orgánicos, incluso los relativamente estables, son susceptibles de la degradación biológica continua, viéndose favorecida esta situación por las condiciones ambientales que prevalecen en los invernaderos. La población microbiana es la responsable de dicho proceso, pudiendo resultar finalmente su actividad biológica en deficiencias de oxígeno y nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicos y contracción del sustrato. Así pues, la descomposición de la materia orgánica en los medios de cultivo, considerada de modo global, es desfavorable desde el punto de vista hortícola, debiéndose tomar precauciones con objeto de minimizar sus efectos sobre las plantas. La disponibilidad de compuestos biodegradables (carbohidratos, ácidos grasos y proteínas) determina la velocidad de descomposición. (RAVIV et al, 1986).

2.4. ANTECEDENTES METODOLOGICOS.

BARBOZA et al (1997), y REHERMANN (2000), en la metodología empleada para la prueba de sustratos, y en especial en la evaluación de la germinación, se detectaron errores metodológicos que posibilitaron replantear el experimento. Algunos de los nuevos planteamientos son realizar una prueba de germinación a los sustratos por separado de la de crecimiento, ya que las bandejas con bajo porcentaje de germinación tenían pocas plantas y por esto cada planta tenía mayor espacio aéreo para crecer, que las que registraron un mayor porcentaje de germinación. Por otro lado las diferencias en el tiempo de emergencia de los plantines se mantienen durante el crecimiento (por ejemplo diez días de diferencia en la emergencia equivale a la cuarta parte del tiempo de un ensayo de 40 días) y todas estas diferencias que se pueden presentar en la etapa de germinación y emergencia, se convierten en efectos no deseados al evaluar la habilidad de los sustratos en el crecimiento de los plantines.

De las mismas tesis, se desprende que la salinidad de los sustratos fue el factor que más afectó la germinación y emergencia de los plantines, y que la calidad del agua empleada en el riego, así como el manejo que se hizo de este, aumentó el efecto de la salinidad en los sustratos. Estos hechos permitieron decidir usar un agua de riego de mejor calidad, evaluar la salinidad en los sustratos y de ser necesario adoptar un manejo de riego lixivante.

Buscando que parámetros medir del crecimiento del tomate que reflejen mejor las condiciones ambientales de los sustratos, se consultaron una serie de trabajos, de experimentos sobre sustratos evaluados con el crecimiento y desarrollo de plantines de tomate. A pesar de lo variado de los sustratos evaluados, y las condiciones muy diferente que cada ensayo presento que imposibilitan las comparaciones entre los resultados; se pueden extraer conclusiones que sirvan a la metodología del presente trabajo. En opinión de GEORGI E. et al 1992, BRAZ L. et al. 1999; ALDRIGHI C. B. et al. 1999; ANDRÉ C. et al. 1999, es posible medir la aptitud agronómica de los sustratos con relación al crecimiento de los plantines de tomate, evaluando las variables altura de los plantines, diámetro del tallo, número de hojas verdaderas, peso seco y fresco de la parte aérea y la raíz. A su vez con el número de plantas emergidas por bandeja, evaluar las condiciones de los sustratos para la germinación y emergencia.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se desarrollaron durante los meses de octubre a diciembre de 1998 en el Centro Regional Sur (en adelante C.R.S.), campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, cercano a la localidad de Progreso, Departamento de Canelones. Ubicado a la altura del mar entre los 35° de latitud sur y 56° 15' de longitud oeste de Greenwich. Para tal fin se utilizó un invernáculo de estructura de madera y cobertura de polietileno de 120 micrones, con techo a dos aguas de 8 metros de ancho por 16 metros de largo, orientado con su eje mayor de norte a sur, y equipado con mesadas de madera niveladas horizontalmente con una altura alrededor de 80 centímetros del suelo y orientadas con su eje principal en el sentido norte-sur (anexo N° 3).

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Parámetros evaluados.

Se plantearon tres ensayos que se pueden describir de la siguiente manera:

1. Ensayo de germinación – emergencia del tomate, como forma de medir las condiciones de los sustratos para dicha etapa.
2. Ensayo de crecimiento de los plantines de tomate para evaluar las condiciones físicas y químicas de los sustratos.
3. Ensayo de crecimiento de los plantines de tomate para evaluar las condiciones físicas de los sustratos.

Para el ensayo de germinación – emergencia se aplicaron cuatro tratamientos correspondientes a los cuatro sustratos diferentes. La unidad experimental era la bandeja de 104 alvéolos de 55 cm³ cada uno, donde se consideraron solo 102 alvéolos, los dos restantes se reservaron para medir la salinidad de los sustratos. La variable medida fue el número de plantines emergidos totales presentes diariamente en cada bandeja. El experimento se diseñó con seis bloques completos al azar. Se realizó el análisis de los datos con el procedimiento G.L.M. del sistema SAS. En aquellos casos en que se rechazó la hipótesis nula del análisis de varianza se efectuaron pruebas Tukey de comparación de medias. Para el análisis de la variable (x) número de plantas emergidas por bandeja se utiliza la siguiente transformación:

$$x = 102(\text{sen } y)^2 - 0.001 \quad \therefore \quad y = \arcsen \sqrt{\frac{x}{102} + 0.001}$$

En el ensayo donde se evaluaron las propiedades físicas y químicas de los sustratos a través del crecimiento de los plantines, se aplicaron cuatro tratamientos, que correspondieron con los cuatro sustratos. La unidad experimental era la bandeja de 104 alvéolos y en ella se midieron los 10 plantines centrales. Las variables medidas fueron altura, número de hojas y diámetro del tallo de los plantines, en cinco fechas durante su crecimiento; al momento del trasplante se midió sobre ellos el peso fresco y seco de la parte aérea y de la raíz. El experimento se diseñó con seis bloques completos al azar. Se realizó el análisis de los datos con el procedimiento G.L.M. del sistema SAS que permitió generar los coeficientes y el modelo matemático que mejor explica el comportamiento de las variables de crecimiento. Para el caso de los pesos secos y frescos que fueron una única medida y cuando se rechazó la hipótesis nula del análisis de varianza se efectuaron pruebas Tukey de comparación de medias.

En el ensayo donde se evaluaron las propiedades físicas de los sustratos, el diseño experimental y los criterios con que se analizaron los datos fueron los mismos que con el ensayo donde se midieron las propiedades físicas y químicas, e incluso ambos ensayos fueron temporalmente simultáneos. Lo diferente que permitió que se expresaran solo las propiedades físicas fue la aplicación de fertilizantes en el riego y foliares a todos los sustratos por igual, y así levantar cualquier restricción química que tuvieran los mismos.

3.2. COMPOSICIÓN DE LOS SUSTRATOS EVALUADOS.

Como componente de todos los sustratos a evaluar se empleó una base orgánica de vermicompost de aves mezclado a la tercera parte en volumen (33.3%).

Los otros componentes que se usaron para formar cada sustrato son: turba extraída de los bañados de Carrasco, arena de las canteras de balasto de La Paz, cáscara de arroz carbonizada, orujo compostado proveniente de la vinificación. Cada uno de estos materiales se mezcló con una tercera parte en volumen de vermicompost de ave (cuadro N° 3.1.).

Cuadro N° 3.1.
Sustratos evaluados en el ensayo.

Materiales que forman el sustrato en volumen	Abreviado como
Turba de Carrasco 2/3 + Vermicompost de aves 1/3	Turba
Cáscara de Arroz carbonizada 2/3 + Vermicompost de aves 1/3	Arroz
Orujo compostado 2/3 + Vermicompost de aves 1/3	Orujo
Arena de la limpieza del balasto 2/3 + Vermicompost de aves 1/3	Arena

El vermicompost de ave fue proporcionado por la empresa granjera de la familia Arbelo, que ya lo utiliza para producir sus propios plantines. La elaboración del vermicompost se realiza a partir de proporcionarle a un núcleo de lombrices tipo californiano volúmenes iguales de estiércol de gallinas ponedoras ya compostado, y cama de pollo Parrillero (también

compostado). Luego de aproximadamente tres meses (dependiendo principalmente de la temperatura y la humedad) el vermicompost está listo para ser usado.

El orujo compostado es un subproducto de la industria vinícola. Está compuesto en su mayor parte por el escobajo, semillas, fibras y hollejo del racimo de uvas que quedan luego de la vinificación. Este material es neutralizado con cal y luego compostado durante un año.

La arena de cantera es un subproducto de la minería. De las canteras ubicadas en el departamento de Canelones entre las ciudades de La Paz y Las Piedras se extrae el balasto (que se usa en la construcción y en la caminería) que luego de clasificado y lavado, queda en la porción de granulometría más fina la llamada arena sucia, que se emplea en menor grado como relleno.

A la cáscara de arroz (afrechillo como lo clasifica la industria) se la somete a un proceso de combustión incompleta o carbonizado, este proceso se puede hacer en un horno de carbonizado similar a los usados para producir carbón de madera, o una técnica alternativa practicada en Uruguay por los floricultores, que consiste en agregar sobre un pequeño núcleo de brasas candentes de madera camadas sucesivas de cáscara de arroz, ahogando el fuego en un proceso lento de combustión que tarda un día y medio a dos (para 10 metros cúbicos de cáscara) y así se obtiene la cáscara de arroz carbonizada o "quemada". Estos floricultores la usan como medio para enraizar esquejes de claveles, crisantemos y otras flores.

La turba es extraída de zonas de bañados cercanas a la ciudad de Montevideo en el límite con Canelones, zona conocida como Bañados de Carrasco.

3.3. MANEJO DE LOS ENSAYOS, CRITERIOS Y MATERIALES EMPLEADOS.

Para todos los ensayos se utilizó tomate híbrido Luxor, se controló la temperatura y la humedad ambiente con el manejo manual de las cortinas, y la colocación de una malla de sombra (30% de sombra), que también los protegió de la acción depredadora de los pájaros (anexo N° 3).

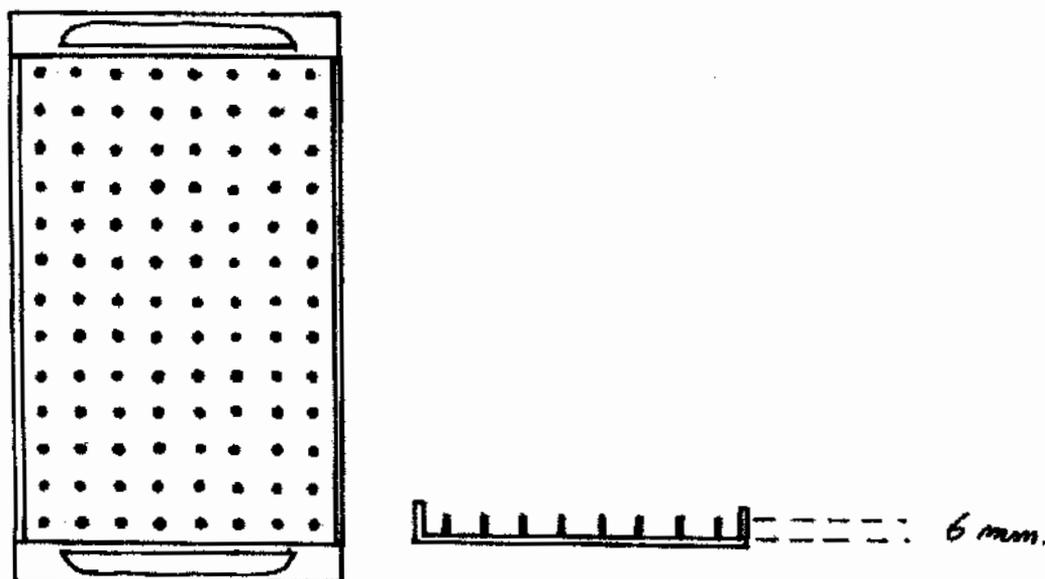
Semanalmente se hicieron tratamientos fitosanitarios para controlar fitopatógenos (hongos y bacterias) y plagas (insectos y pequeños crustáceos) con aspersiones de Metamidofós a la dosis de 1 mililitro por litro de agua, Clorotalonil a 3 mililitros por litro de agua y Oxicloruro de cobre a 3 mililitros por litro de agua. Se empleó una asperjadora de mochila con una flor de gota fina y con un gasto que varió de medio a tres litros de caldo a medida que crecieron los plantines.

En el ensayo de germinación-emergencia se tomó como plántula emergida a toda aquella que estaba con los cotiledones extendidos. Se sembró el 30 de setiembre una semilla por alvéolo a una profundidad de 6 mm y las evaluaciones se hicieron diariamente hasta el 17 de octubre donde la emergencia superó el 90% de promedio en todos los tratamientos. Cada tres días se extrajeron muestras de los sustratos para medir su salinidad (este punto se describe en el capítulo 3.8.). En este ensayo también se midió diariamente la temperatura de los sustratos en el primer centímetro de profundidad con un termómetro de bulbo de mercurio con una escala de 0.5 grados centígrados.

Para garantizar la uniformidad en la profundidad de la siembra en las bandejas, se usó un marcador construido con una tabla con 104 tarugos de madera que coincidían con el centro de cada alvéolo, y generaba un hoyo de seis milímetros de profundidad en el sustrato (figura N° 3.1.); y en el germinador de arena una tabla de canto con una marca de 6 milímetros.

Figura N° 3.1.

Esquema de la herramienta de madera utilizada para uniformizar la profundidad de siembra en 6 mm.



Para regar el ensayo de germinación se empleó agua de buena calidad (de tajamar), y se aplicó de forma que lixiviara las sales de los sustratos, la aplicación fue manual con una regadera de plástico de 10 litros de capacidad, con una flor de orificios pequeños. (anexo N° 3). Los otros ensayos fueron regados diariamente en forma manual según las necesidades de evapotranspiración de los plantines, con agua del tajamar de la estación experimental. Se utilizó para tal fin la misma regadera. (anexo N° 3)

En los ensayos de crecimiento y con el fin de uniformizar las bandejas (tanto en edad como en cantidad de plantas) cuando se contaba con un número limitado de semillas, se optó

por emplear una técnica conocida como repique. Esta técnica consiste en sembrar en un germinador con arena (anexo N° 3) las semillas y en el momento de que están totalmente extendidos los cotiledones los plantines se trasplantan a las bandejas. Para este ensayo el repique se efectuó el 16 de octubre. En el germinador se sembraron en surcos a 6 milímetros de profundidad el 30 de setiembre para luego ser repicados.

En los ensayos de crecimiento se midieron las variables los días 22 y 30 de octubre, 7, 12 y 19 de noviembre. Para realizar las mediciones se utilizó un calibre con escala digital (0.00 milímetros). Al momento del trasplante (20 de noviembre) se quitó el sustrato de las raíces lavándolas con agua (anexo N° 4), y se midió el peso fresco y seco con una balanza con escala digital de 0.00 gramos Este material se secó en una estufa con convectores de aire a 70 grados centígrados durante 48 horas para posteriormente determinar el peso seco.

En el caso del ensayo al que se le adicionó fertilizantes, se aplicó foliamente dos productos en combinación, Wuxal calcio suspensión 2 (3 ml / litro de agua) y Wuxal Doble Suspensión 5 (1 ml / litro de agua), el 23, 26, y 29 de octubre y el 4 y 12 de noviembre (figura N° 3.2.).

Figura N° 3.2.
Composición química de los fertilizantes foliares

Wuxal Calcio Suspensión 2

Análisis	Oligoelementos (%)								
	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Cu	Mu	Zn
10-0-0	24	3	0,3	0,08	0,08	0,16	0,064	0,0016	0,032

Wuxal Doble Suspensión 5

Análisis	Oligoelementos (%)							
	B	Co	Cu	Fe	Mu	Mn	S	Zn
16-16-12	0,03	0,000075	0,075	0,15	0,00075	0,075	1,5	0,075

Fuente guía SATA 1998.

A través del riego se fertilizó con un producto cuyo nombre comercial es Aminon Solo a razón de 20 mililitros por bandeja en las fechas de 7 y 12 de noviembre. (Cuadro N° 3.2.) Luego de cada aplicación se lavaron las hojas con agua.

Cuadro N° 3.2.**Composición química del fertilizante líquido usado para fertirriego (Aminon Solo).**

Componentes	Porcentaje (%)
Aminoácidos	9
Nitrógeno orgánico	5
Oxido de potasio	1
Calcio	0.05
Magnesio	0.08
Materia orgánica	30

Fuente Artelan S.A.

3.4. ANÁLISIS DE LOS SUSTRATOS.

Se evaluaron en diferentes laboratorios las características físicas y químicas de los sustratos. En el Uruguay existe desde hace mucho tiempo una metodología ajustada y validada para caracterizar física y químicamente los distintos tipos de suelos del país. La situación es muy diferente para los sustratos que no tienen suelo en su composición, para estos no hay en el país una metodología apropiada. La bibliografía internacional recomienda para analizar los sustratos una metodología diferente a la aplicada en suelos. La reciente generalización del uso de sustratos en el país, aun no ha demandado en forma importante los servicios de laboratorios especializados en el tema. En el mismo sentido no hay una legislación o reglamentación específica que regule el tránsito, el uso, y la comercialización, dentro del país y con otros países. Vacío legal y normativo que sería recomendable llenar, y para generar conocimiento sobre el tema se debería comenzar con ajustar técnicas de laboratorio estandarizadas para analizar los sustratos, y validar los resultados con pruebas de campo para cada especie en particular. El uso de microbiodigestores en conjunto con los análisis de laboratorio, permitirá controlar y estandarizar los procesos de compostaje usados para obtener muchos sustratos.

Caracterización física.

Esta caracterización se hizo en el laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)

En el I.N.I.A. los sustratos se analizaron creando una curva de desorción de agua para cada uno de ellos, similares a las ilustradas en el gráfico N° 2.2. Se les aplicó el protocolo que se utiliza para analizar los suelos arenosos, los sustratos se colocaron en ollas de succión sobre techos de arena y se les sometió a las tensiones de succión de 0.0, 0.010, 0.015, 0.3, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 5, 10 y 15 bar.

A partir del procedimiento en el que se logró obtener la curva de la gráfica N° 4.1. se obtuvieron los variables del cuadro N° 3.3.

Cuadro N° 3.3.
Metodología de evaluación de las propiedades físicas.

Variable.	Método.
La densidad aparente (D_a) sobre la base del volumen perturbado.	$D_a = \text{Peso seco} / \text{Volumen de la muestra.}$
El agua disponible (A_d) sobre la base del volumen perturbado.	$A_d = \text{Volumen de agua a } 0.01 \text{ bar} - \text{volumen de agua a } 0.3 \text{ bar}$
El volumen de aire (AIR) sobre la base del volumen perturbado.	$AIR = \text{Volumen de agua a } 0.0 \text{ bar} - \text{volumen de agua a } 0.01 \text{ bar.}$

Volumen de Agua = Peso del agua multiplicado por la densidad del agua.

Caracterización química

La misma se realizó en el laboratorio de suelos de la Dirección de Suelos y Aguas del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (D.de S.y A. Del M.G. A. y P.). Los parámetros medidos y la metodología empleada para tal fin se describen en el cuadro N° 3.4.

Cuadro N° 3.4.
Metodología de evaluación de las propiedades químicas.

Variable.	Método.
El potencial de hidrogeno en agua (Ph en H_2O),	Se midió en una mezcla con relación de una parte de sustrato por cada dos y media partes de agua.
El potencial de hidrogeno en cloruro de potasio (Ph en KCl),	Se midió en una mezcla con una parte de sustrato y dos y medias partes de cloruro de potasio uno normal.
El fósforo disponible (P)	Se determina por el método BRAY 1.
El magnesio (Mg) total y el calcio (Ca) total	Se determinó por calcinación y espectrofotometría de absorción atómica.
El sodio (Na) total y potasio (K) total	Se determinó por calcinación y espectrofotometría de emisión.
La materia orgánica (MO)	Se determino por calcinación.
El Ca, K, Mg y Na intercambiables	Se determinan por extracción en acetato de amonio uno normal (1N) y espectrofotometría.

3.5. ANÁLISIS DEL AGUA DE RIEGO.

Se hizo el análisis del agua de riego en la Dirección de Suelos y Aguas del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Se emplearon las siguientes técnicas:

La conductividad eléctrica (CE), se midió con un puente de conductividad HORIBA ES 12 de despliegue digital el resultado es ajustado a 25 °C utilizando un coeficiente de corrección por temperatura de 2% por grado centígrado.

El potencial de hidrogeno (pH), se registró con un peachimetro HANNA 8417 de despliegue digital con escala de 0 a 14.

Los cationes fueron determinados por espectrofotometría de absorción (Ca. y Mg.) y emisión atómica (K y Na) con un espectrofotómetro PERKIN ELMER 3100, los resultados se dan en miliequivalentes por litro (meq/l).

Los aniones se determinaron por volumetría de precipitación (cloruro y nitrato de plata) y los resultados estarán dados en miliequivalentes por litro.

3.6. ANÁLISIS DE LAS SEMILLAS.

Se realizó un test de germinación en el laboratorio del Instituto Nacional de Semillas del Ministerio de Agricultura y Pesca según normas de la International Seed Testing Asociation. Las semillas se colocaron sobre papeles húmedos, en cámaras de germinación con ciclos de temperaturas de 20°C durante 16 horas y 30 °C por 8 horas, con alternancia de luz y oscuridad, y se contabilizó el porcentaje de semillas germinadas a los 14 días.

3.7. REGISTROS DE TEMPERATURA.

Se registró diariamente las temperaturas máximas y mínimas del aire dentro del invernáculo con un termómetro especialmente diseñado para tal fin. Solo para el ensayo de germinación – emergencia, se midió diariamente en cada sustrato a la hora 12 las temperaturas a los diez milímetros de profundidad, y también sobre la superficie de las bandejas.

3.8. MONITOREO DE LA SALINIDAD DE LOS SUSTRATOS EN EL ENSAYO DE GERMINACIÓN.

Las sales originalmente presentes en los sustratos, se perdieron por acción del lavado con el agua de riego, porque se aplicó un riego lixivante con agua de buena calidad.

Cada tres días se extrajeron muestras de los sustratos para medir su salinidad, éstas muestras estaban formadas por el contenido de tres alvéolos de bandejas diferentes que en la siguiente fecha se alternaban con las otras tres bandejas que completaban las seis repeticiones de cada tratamiento.

Se midió la conductividad eléctrica con el conductímetro ya descrito en el punto 3.5. Para tales efectos se diluyó un volumen de sustrato en cinco volúmenes de agua destilada y la lectura obtenida se ajustó a la temperatura de 25°C.

4. RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1. ANALISIS DE LOS SUSTRATOS.

4.1.1. Caracterización química.

En el cuadro N° 4.1. se presentan los resultados obtenidos en los análisis químicos de laboratorio. Se señala en fondo verde los resultados de los sustratos y en fondo blanco los materiales individuales que componen los sustratos.

Cuadro N° 4.1.

Análisis químico de los sustratos y los materiales que los componen

Muestra	Potencial hidrogeno		Materia orgánica en %	Fósforo en ppm.	Potasio. **	Calcio **	Magnesio **	Sodio **
	en agua	en KCl						
Mezcla con Orujo	6.1	6.0	25.2	253	2.13	35.7	12.3	1.48
Mezcla con Turba	6.2	5.8	22.1	254	2.13	30.5	12.3	1.48
Mezcla con Arroz	7.1	6.7	21.2	255	2.13	14.0	12.3	1.48
Mezcla con Arena	6.9	6.6	4.1	252	0.75	8.1	4.9	0.75
Vermicompost de ave	6.5	6.4	17.9	276	2.13	19.1	12.3	1.48
Orujo compostado	6.0	5.8	30.2	251	2.13	41.9	12.3	1.48
Turba	5.7	5.1	24.0	20	1.08	40.6	9.5	1.48
Cascara de arroz.	7.6	6.7	31.9	196	2.13	4.5	3.4	1.48
Arena de cantera.	7.3	6.2	0.5	15	0.22	3.7	1.3	0.32

** Millequivalentes por cada 100 gramos de sustrato.

Según Escudero (1993), el rango óptimo del pH en el cultivo sin suelo del tomate es de 5.5 a 6.8 (citado por ABAD1995).

En el cuadro N° 4.1 se observa que el vermicompost de ave actuó como corrector de los pHs de los otros materiales acercándolo más al rango óptimo, también les aportó una importante cantidad de materia orgánica y nutrientes.

El alto contenido de nutrientes solubles de los sustratos con arroz, orujo, y turba, genera un ambiente salino adverso para la germinación, emergencia y desarrollo del tomate, como se desarrolla en los capítulos 2.1. (sección, disponibilidad de agua y salinidad del sustrato) y 2.3.2 (sección, retención de agua por la fase sólida) este hecho es más grave si se considera el reducido y limitado volumen donde se desarrollan las raíces.

Nutrientes como fósforo, potasio, nitratos, y sodio pueden en algunos casos resultar fitotóxicos y afectar el normal desarrollo del tomate, y en particular el sodio, que con una menor concentración puede ser fitotóxico, en el capítulo 2.1 y en particular en el cuadro N° 2.2 se describe un ejemplo de cómo el sodio formando una sal con el cloro afectó la germinación de cinco variedades de tomate.

Las plantas de tomate cultivadas en suelo salino o con aguas salinas (más de 3 g/l de sales) sufren alteraciones en todo el metabolismo y lo reflejan macroscopicamente, cuando se comparan con plantas cultivadas sin estrés salino, al producir un sistema radicular menor, unas hojas adultas abarquilladas y crasas, unas hojas jóvenes más pequeñas, de color verde más intenso y enrolladas sobre si mismas, unos racimos con menor número de flores y frutos mas pequeños (CUARTERO et al, 1995)

Como en los sustratos la concentración de nutrientes en solución suele ser elevada existirá una componente osmótica que se opone al paso del agua a través de la membrana celular hacia el interior de las raíces, lo que reduce la disponibilidad de agua para las plantas. La presión osmótica será tanto mayor cuanto más concentrada sea la solución acuosa del medio de cultivo, pudiendo ser en condiciones extremas de salinidad elevadas, el factor limitante de la cantidad de agua disponible para la planta (ANSORENA, 1994).

Aunque pueden presentarse toxicidades específicas de determinados iones (boro, manganeso, etc.), la salinidad suele ser debida normalmente a un aporte excesivo de nutrientes minerales por parte del sustrato (ANSORENA, 1994)

La respuesta de la planta de tomate a la salinidad depende de la edad de esta, la germinación y fase de crecimiento inicial (vegetativo) es más sensible a las sales que las fases de crecimiento posterior y desarrollo reproductivo (ABAD, 1995)

En el cuadro N° 4.1. también se observan los altos contenidos de materia orgánica de los sustratos, por el contenido de materia orgánica se puede clasificar a los sustratos en orgánicos (turba, orujo y arroz), y mineral (arena). La materia orgánica es la responsable de la mayor parte de los procesos de intercambio de cationes (C.I.C. capítulo 2.3.3. y gráfico N° 2.4.), esta C.I.C. sirve como reservorio de los nutrientes y regulador de la concentración de estos en la solución del medio.

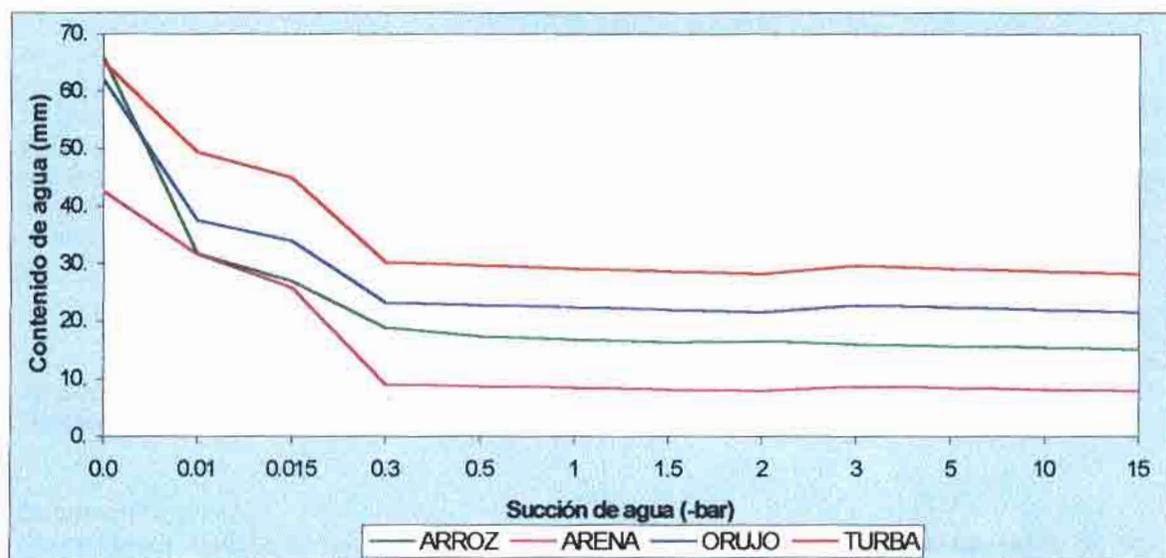
La materia orgánica contribuye al crecimiento de las plantas a través de sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Influye sobre la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento vegetal a través de un efecto directo de su mineralización (SILVA, 1991)

4.1.2. Caracterización física.

Como ya se indicó los análisis físicos efectuados a los sustratos se realizaron en el I.N.I.A. Las Brujas y allí se construyó una curva de extracción de agua para cada sustrato, y los resultados se presentan en el gráfico N° 4.1. (en este gráfico, en el eje x, no se mantiene de ex profeso la escala para permitir observar mejor el primer tramo de la misma)

Gráfico N° 4.1.

Curvas de desorción (o de extracción) de agua para los cuatros sustratos.



En el gráfico N° 4.1. se observan claramente dos tramos bien diferenciados. Por un lado un primer tramo entre 0.0 y 0.3 bar, donde todos los sustratos perdieron rápidamente el agua a valores bajos de succión, y un segundo tramo entre 0.3 y 15 bar en donde grandes aumentos de succión prácticamente no consiguen extraer agua de los sustratos, esto coincide con los resultados obtenidos por DE BOODT et al (1974) y con las afirmaciones de ANSORENA (1994) que dice que los sustratos en contenedor, retienen el agua a una succión media muy inferior a la de los suelos minerales de campo (gráfico N° 2.3. y N° 2.2.). Siendo 0.01 y 0.3 bar equivalente a 10 y 300 centímetros de columna de agua.

Las plantas cultivadas en contenedor no pueden ser sometidas a tensiones de succión tan elevadas como las que se le aplican a los suelos minerales sin disminuir su productividad, debido al volumen limitado del medio en que crecen y se desarrollan. Es por eso que, en la determinación de las curvas de liberación de agua de los sustratos se aplica un intervalo de succión mucho más estrecho, entre 0 a 100 centímetros de succión de columna de agua. La metodología analítica más ampliamente difundida para ello es la desarrollada por DE BOODT et al, 1974.

El límite 100 cm de tensión de columna de agua se ha encontrado experimentalmente, trabajando con especies del género *Ficus*, DE BOODT et al, (1974). En caso de plantas hortícolas, como el tomate, se ha señalado que se pueden alcanzar tensiones de hasta 300 cm de columna de agua sin afectar de modo significativo el crecimiento del vegetal (Martínez y Burés, 1988 citados por ABAD, 1995)

A partir de los valores obtenidos para construir estas gráficas se calculó la densidad aparente como cociente entre el peso seco y el volumen perturbado de la muestra, la porosidad total como diferencia entre el peso del sustrato totalmente saturado en agua y el seco. Este resultado proporciona el peso del agua perdida que multiplicado por su densidad refleja el volumen de agua que es ocupada por los poros, y se expresa como porcentaje en volumen del volumen perturbado de la muestra (67 centímetros cúbicos).

En los intervalos entre 0 bar y - 0.01 bar (equivale aproximadamente al rango entre 0 y 10 cm de columna de agua) se calcula el porcentaje de porosidad con aire, como el volumen de agua perdida en ese rango (peso del agua perdida por su densidad), expresada como porcentaje del volumen perturbado de la muestra. De igual manera se procedió para calcular el porcentaje de agua asimilable (disponible) entre los - 0.01 y los - 0.3 bar (10 a 300cm de columna de agua aproximadamente), y para el volumen de agua difícilmente asimilable entre los - 0.3 y el peso seco de los sustratos (por encima de 300 cm de c.a.).

El material sólido se obtuvo por diferencia entre el volumen de porosidad total y el volumen perturbado de la muestra (67 centímetros cúbicos). Todos estos resultados para cada sustrato están presentados en el cuadro N° 4.2.

Cuadro N° 4.2.

Propiedades físicas obtenidas a partir de las curvas de extracción de agua de los sustratos.

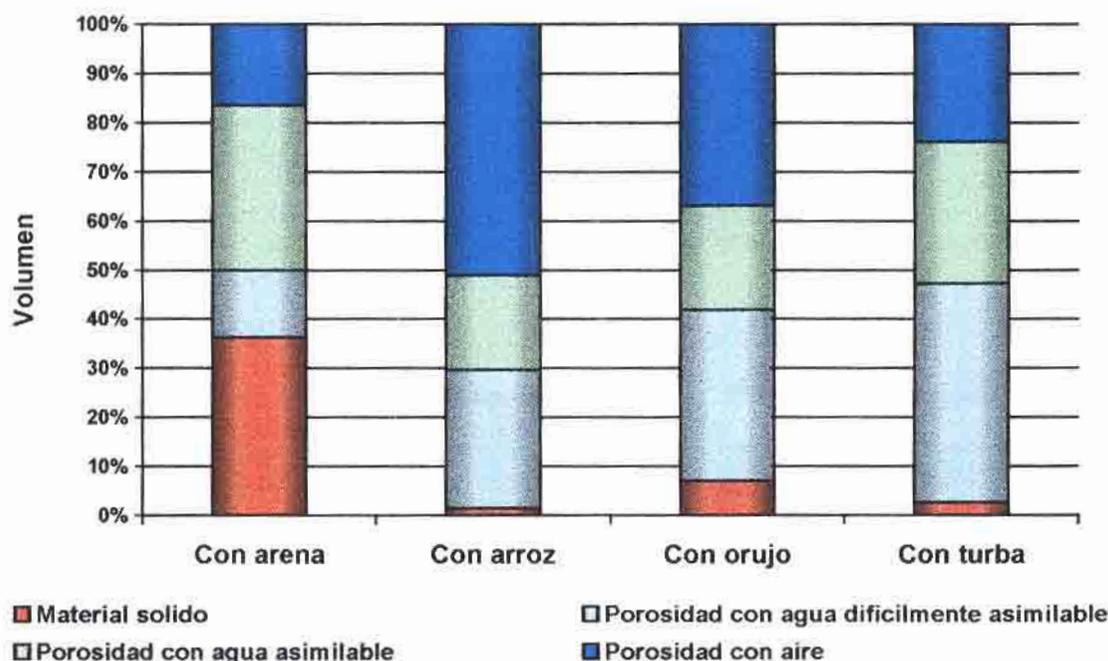
SUSTRATOS	Porosidad total en % de volumen	Porosidad de aire en % de volumen	Agua asimilable en % de volumen	Agua difícilmente asimilable en % de volumen	Material sólido en % de volumen	Densidad aparente g/cm^3
Con arena	63.66	16.45	33.65	13.55	36.34	1.70
Con arroz	98.59	51.14	19.25	28.19	1.48	0.47
Con orujo	92.93	36.99	21.17	34.77	7.07	0.58
Con turba	97.37	23.73	28.50	45.14	2.63	0.60

Según opinión de DE BOODT et al, (1974) en condiciones de crecimiento óptimo, es necesario que el sustrato posea simultáneamente entre un 20% y un 30% de aire y de agua fácilmente asimilable, con solo de un 4% a 10% de agua de reserva.

Por término medio los buenos suelos de campo con hierba contienen una porosidad total del entorno al 50%, mientras que en los sustratos en maceta la porosidad puede llegar al 95% o superiores, recomendándose un mínimo de 85% (ANSORENA, 1994)

El sustrato con arena (cuadro y gráfico N° 4.2.) presentó la menor cantidad de porosidad total, de esa porosidad la ocupada por aire fue la menor de los cuatro sustratos. El agua total retenida (asimilable + difícilmente asimilable) por el sustrato con arena también fue la menor de todos, pero contenía el mayor volumen de agua asimilable. Su alto valor de densidad aparente refleja su origen mineral (el más alto contenido en material sólido).

Gráfico N° 4.2.
Composición física de los sustratos en porcentaje en volumen.



El agua difícilmente disponible, es el agua retenida más fuertemente en los microporos, (gráficos N° 4.1. y N° 4.2. y cuadro N° 4.2.) un alto contenido de microporos refleja una gran superficie específica, que es la condición necesaria para tener un importante complejo de cambio, y a partir del complejo de cambio se desarrolla la capacidad de intercambio catiónico (c.i.c.) entre el medio sólido y la solución del sustrato. Por lo anteriormente mencionado podemos suponer que el sustrato con turba tiene la mayor c.i.c. y le siguen en orden descendente los sustratos con orujo, con arroz y con arena.

El sustrato con arroz presentó la mayor porosidad total y la mayor aireación de todos los sustratos, más del 50 % del volumen está ocupado por aire, y presentó la menor retención de agua asimilable (19,25%). Su densidad aparente resultó ser la menor, al igual que su contenido en material sólido. El sustrato con turba presentó la mayor retención de agua (asimilable + difícilmente asimilable), un porcentaje de agua y un volumen de aire más adecuado a lo que recomienda la bibliografía citadas. El sustrato con orujo tuvo un comportamiento de sus propiedades físicas intermedio entre los sustratos con arroz y con turba, a excepción del volumen de material sólido que fue mayor que ambos sustratos.

Según otro autor el nivel óptimo del espacio poroso total se sitúa por encima del 85% del volumen del sustrato. El agua fácilmente disponible oscila entre el 20 y el 30% del volumen, para el agua de reserva, el nivel óptimo se sitúa entre el 4 y el 10% en volumen, con la suma de estas dos aguas se obtiene el agua disponible cuyo valor óptimo oscila entre 24 y 40 % en volumen. La capacidad de aireación o espacio poroso ocupado por aire se sitúa en un rango óptimo de entre el 20 y 30% en volumen. (Abad et al, 1993 citado por ABAD, 1995).

En la bibliografía se describe que para la producción en contenedor de plantines de tomates las succiones por encima de 300 cm de columna de agua afectan cuantitativamente la producción. Esto en parte se confirma en la gráfica N° 4.1. donde se observa que a partir de los 0.3 bar la gráfica se horizontaliza (agua no asimilable), es decir se extrae poco agua con altas succiones. Por los resultados de las propiedades físicas y químicas, y por las condiciones y el régimen del riego adoptado en el experimento, se puede pensar que el mismo favoreció a los plantines que crecieron en los sustratos con orujo y con turba en detrimento de los otros. Si bien no era el objetivo del trabajo, un cambio en el régimen de riegos adaptado en base a las propiedades físicas de cada sustrato hubiera emparejado las condiciones de crecimiento de los sustratos. A modo de ejemplo en el cuadro N° 4.3. se observan los resultados de un ensayo, que pueden servir como un criterio sencillo para definir las frecuencias de riego, basándose en el porcentaje de agua disponible

Cuadro N° 4.3.

Frecuencia de riegos en función del agua disponible, a dos niveles de evaporación, para un máximo crecimiento en plantas en contenedor de 1 litro.

Agua disponible %	Días entre riegos a niveles de evaporación de:	
	3 mm/día*	15 mm/día*
5	1.5	0.3
10	2.9	0.6
15	4.4	0.9
20	5.9	1.2
25	7.4	1.5

*Valores típicos de principios de primavera y mediados de verano.

Fuente: Handreck y Blak 1991, citado por Ansorena, 1994.

4.2. ANALISIS DE LA GERMINACIÓN.

El resultado obtenido en la prueba de germinación en el laboratorio realizada a las semillas de tomates, concluye que las mismas tenían un porcentaje de germinación de 94%. Según la legislación nacional, la ley de semillas N° 15153 y su decreto reglamentario N° 84/983, el mínimo de germinación normal exigido para importar y comercializar semillas de tomate es de un 80%, por lo que esta semilla se puede considerar como de buena calidad.

Este resultado significa que aún colocando las semillas en las condiciones "ideales" (según la normalización) para la germinación el 94% lo hace satisfactoriamente y hay un 6% de ellas que no germinan normalmente por diversas causas (fisiológicas, mecánicas,

enfermedades) y esto es independiente de las condiciones de germinación a las que son sometidas las semillas.

4.3. REGISTRO DE LAS TEMPERATURAS.

La temperatura óptima para la germinación del tomate se encuentra entre los 20 y los 25°C, (Mobayen 1980 citado por CHAMARRO, 1995). En opinión de FOLQUER, (1979) las temperaturas mínimas y máximas (extremas) para la germinación del tomate son de 10°C y 35°C, respectivamente.

Las temperaturas observadas a nivel del aire, y en los sustratos en general están dentro de un rango cercano al óptimo para la germinación del tomate (cuadro N° 4.4.). No obstante algunos registros de la temperatura del aire con el termómetro de máximas estuvieron fuera de los límites aceptados por la bibliografía como máximos y mínimos para la germinación del tomate.

Cuadro N° 4.4.

Registro de las temperaturas durante la germinación y emergencia.

Fecha en días.	Temperatura ambiente (aire)			Temperatura de los sustratos			
	Mínima (en °C)	Máxima (en °C)	En la superficie de las bandejas.	A R E N A	A R R O Z	T U R B A	O R U J O
1/10	7.5	38.0	25.0	31.5	34.0	33.0	32.0
2/10	9.0	44.0	29.0	32.0	32.0	32.0	30.5
3/10	13.0	50.0	26.0	28.5	29.0	29.0	29.0
4/10	17.0	36.5	32.0	31.5	31.5	31.0	31.5
5/10	13.5	37.0	34.5	31.5	31.5	31.0	31.5
6/10	5.0	35.0	35.0	38.5	39.0	37.0	36.5
7/10	9.0	31.0	26.5	30.0	29.0	28.0	29.0
8/10	9.0	31.0	24.0	26.0	27.0	26.0	25.0
9/10	13.0	31.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
10/10	16.0	35.0	31.0	30.0	31.0	30.0	30.5
11/10	16.0	32.0	22.5	23.0	23.0	23.0	24.0
12/10	19.0	32.0	24.5	27.0	27.0	27.5	25.5
13/10	14.0	31.0	29.5	27.5	28.0	27.0	28.0
14/10	10.0	31.0	27.0	28.0	29.0	28.0	28.5
15/10	14.0	35.0	28.0	28.5	30.0	28.0	28.0
16/10	17.0	31.5	29.5	28.0	28.5	29.0	28.0
17/10	13.5	30.5	27.0	27.0	26.5	26.0	28.5

Fecha en la que se instaló una malla con 30% de sombra para evitar las altas temperaturas y la entrada de pájaros plaga. (anexo N° 3)

El contenido de humedad en los sustratos ayudó a regular la temperatura en los mismos, las temperaturas que se midieron al mediodía en el aire al nivel de la superficie de las bandejas y dentro de los sustratos normalmente fue menor que los registros máximos en el termómetro de máximas.

Entre las temperaturas de los sustratos no se pudieron apreciar diferencias que pudieran explicar el comportamiento de la germinación del tomate en cada uno de ellos. Quizás esto sea por una falla en el método de medición (sería necesario observar cómo fluctúa la temperatura a lo largo del día, y usar un instrumental más preciso para medirla), o porque si existe alguna diferencia, ésta igualmente está dentro del rango óptimo de temperaturas para la germinación.

El tejido de sombra que se colocó, junto con una adecuada ventilación, sirvió para regular las oscilaciones de la temperatura. También permitió proteger la emergencia de los plantines contra la acción predatora de las aves al momento de emerger los plantines.

Durante el transcurso del experimento de crecimiento y desarrollo de los plantines, las temperaturas del aire máximas y mínimas registradas estuvieron dentro del rango normal para el crecimiento del tomate, que según MARI et al, 1996 se sitúan entre 6 y 35°C, siendo que las temperaturas menores o mayores de este rango no manifiestan crecimiento fisiológico (cuadro N° 4.5.).

Calvert (1973) sugiere como temperaturas ideales de cultivo (día / noche) 20/18 °C; por otro lado Williams (1973) cifra en 20/16 °C las temperaturas ideales, con extremos de 27 °C de día y 13 °C de noche, ambos en condiciones de latitud noreuropea. En opinión de Bugbee y Withe (1984) las temperaturas ideales para el crecimiento serían de 25/20 °C día y noche respectivamente (todos citados por CASTILLA, 1995).

Las temperaturas óptimas del cultivo de tomate están relacionadas con la iluminación, siendo recomendable para el crecimiento una mayor temperatura con una alta radiación. En opinión de Harper et al., (1979) el régimen de temperaturas ideal para el crecimiento es de 22/18 °C (día / noche) en condiciones de alta iluminación, y de 20/16 °C (día / noche) cuando la iluminación es baja, mientras que Brooks, (1973) observó 25/17 °C con buena radiación y 21/15 °C con baja iluminación, día y noche respectivamente (todos citados por CASTILLA, 1995).

El crecimiento y la materia seca de la planta de tomate 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 de la parte aérea puede disminuir drásticamente (Picken et. al., 1981 CHAMARRO, 1995).

Cuadro N° 4.5.

Registro de las temperaturas máximas y mínimas del aire durante el periodo de los ensayos.

Fecha en días.	Temperatura ambiente		Fecha en días.	Temperatura ambiente	
	Mínima (en °C)	Máxima (en °C)		Mínima (en °C)	Máxima (en °C)
1/10	7.5	38.0	26/10	16.0	34.0
2/10	9.0	44.0	27/10	17.5	35.5
3/10	13.0	50.0	28/10	16.0	33.5
4/10	17.0	36.5	29/10	15.5	32.5
5/10	19.5	37.0	30/10	14.0	32.5
6/10	5.0	35.0	1/11	12.5	30.5
7/10	9.0	31.0	2/11	11.5	33.0
8/10	9.0	31.0	3/11	13.0	31.0
9/10	13.0	31.0	4/11	13.5	29.5
10/10	16.0	35.0	5/11	15.0	33.5
11/10	16.0	32.0	6/11	15.5	32.5
12/10	19.0	32.0	7/11	16.0	32.5
13/10	14.0	31.0	8/11	16.0	33.5
14/10	10.0	31.0	9/11	15.5	33.0
15/10	14.0	35.0	10/11	14.0	32.0
16/10	17.0	31.5	11/11	13.5	33.0
17/10	13.5	30.5	12/11	15.5	31.5
18/10	14.0	31.5	13/11	15.0	30.5
19/10	15.5	35.5	14/11	14.5	31.5
20/10	14.5	32.2	15/11	12.5	30.5
21/10	16.0	33.5	16/11	15.5	33.5
22/10	13.0	32.0	17/11	17.0	33.5
23/10	12.0	33.0	18/11	18.0	31.5
24/10	12.5	31.0	19/11	17.5	32.5
25/10	14.5	33.5			

 Fecha en la que se instaló una malla con 30% de sombra para evitar las altas temperaturas y la entrada de pájaros plaga. (foto de anexo 3)

4.4. ANALISIS DEL AGUA DE RIEGO.

Al comparar el resultado del análisis de agua del tajamar del C.R.S. con la tabla de clasificación usada por la Dirección de Suelos y Aguas del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (anexo N° 2), se constata que es un agua desde el punto de vista químico excelente para riego, con un bajo contenido en sales y no presenta ninguna restricción para ser usada en cualquier sistema de riego. (Cuadro N° 4.6.).

Cuadro N° 4.6.
Análisis químico del agua usada para riego.

PARAMETROS	VALORES
Conductividad eléctrica	0.591 mS / cm (a 25°C)
Potencial de hidrogeno	6.67
Calcio	2.69 meq / l
Magnesio	1.10 meq / l
Potasio	0.25 meq / l
Sodio	2.40 meq / l
Cloro	1.51 meq / l
Relación Adsorción de Sodio (RAS)	1.74 (meq / l) elevado al 1/2
Dureza	19.0 °F

mS / cm: miliSiemens por centímetro.

meq / litro: miliequivalentes por litro.

°F : grados franceses.

El agua es medianamente dulce excelente para riego (ver anexo N° 2)

4.5. EXPERIMENTO DE GERMINACION – EMERGENCIA.

4.5.1. Evolución de la emergencia de los plantines en el tiempo.

En la producción de plantines importa el número final de plantas emergidas y el tiempo que dura este proceso (tasa de emergencia). Ambas variables determinan la velocidad y uniformidad final de los plantines

El crecimiento en un espacio limitado hace que la competencia entre plantines sea importante, si por ejemplo un plantin emerge diez días después que sus vecinos (una tercera parte del tiempo de crecimiento total), probablemente sea una planta de mala calidad que se descarte cuando se trasplante al lugar definitivo de cultivo.

Los resultados obtenidos en todos los sustratos con respecto al número final de plantines emergidos por bandeja son muy buenos, ya que si se considera que la prueba de germinación del laboratorio fue de 94%, prácticamente cada semilla viable dio una planta emergida. No se encontraron tampoco diferencias significativas entre los distintos sustratos para las tres ultimas fechas evaluadas a la luz del análisis estadístico empleado. Esto se observa en los cuadros N° 4.14. y N° 4.15. y N° 4.16., y se representa en el gráfico N° 4.8., por lo que perfectamente se podría concluir que en esta variable todos los sustratos brindan el medio adecuado para el proceso de germinación y emergencia del tomate.

Si se analizan la evolución de la emergencia en el tiempo (tasa de emergencia) se observan diferencias de comportamiento según sea el sustrato y según sea la fecha analizada.

A partir del octavo día desde la siembra comenzó la emergencia de los plántines en los cuatro sustratos.

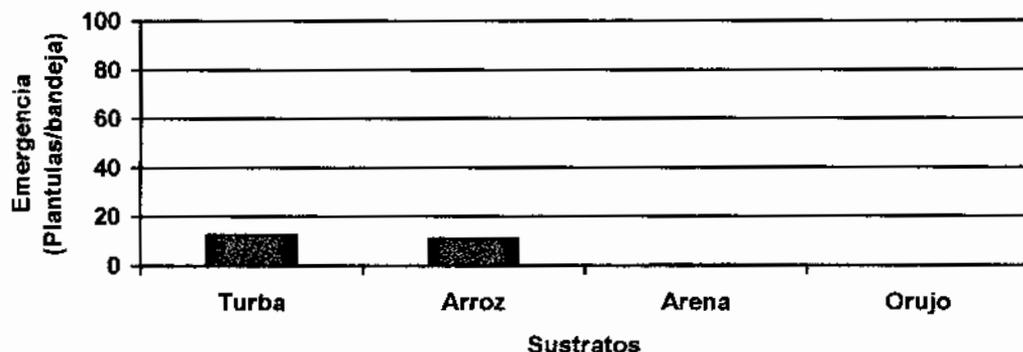
Del análisis de los datos al octavo día se observó que existieron diferencias significativas entre los sustratos, la Turba y el Arroz no fueron estadísticamente diferentes entre sí (test de Tukey), tampoco lo fueron los sustratos con Arena y con Orujo entre sí, pero sí hubo diferencias entre estos dos grupos. Es significativamente mayor el número promedio de plántines emergidos por bandeja de los sustratos con Turba y con Arroz si los comparamos con el grupo formado por los sustratos con Arena y con Orujo (cuadro N° 4.7. y gráfica N°4.3.).

Cuadro N° 4.7.
Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 8.

Sustrato	Emergencia	Nivel de significación
Con Turba	12.53	A
Con Arroz	10.87	A
Con Arena	0.24	B
Con Orujo	0.1	B

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). C.V.=20.25%

Gráfico N° 4.3.
Emergencia de los plántines de tomate al octavo día desde la siembra.



Para el noveno día desde la siembra la situación cambia (gráfica N° 4.4. y cuadro N° 4.8.), Los sustratos con turba y con arroz que siguen registrando la más alta cantidad de plantas emergidas por bandeja, Pero el sustrato con orujo difiere significativamente respecto al con arena, siendo este último en el que menos plantas emergidas por bandeja hay.

Cuadro N° 4.8.

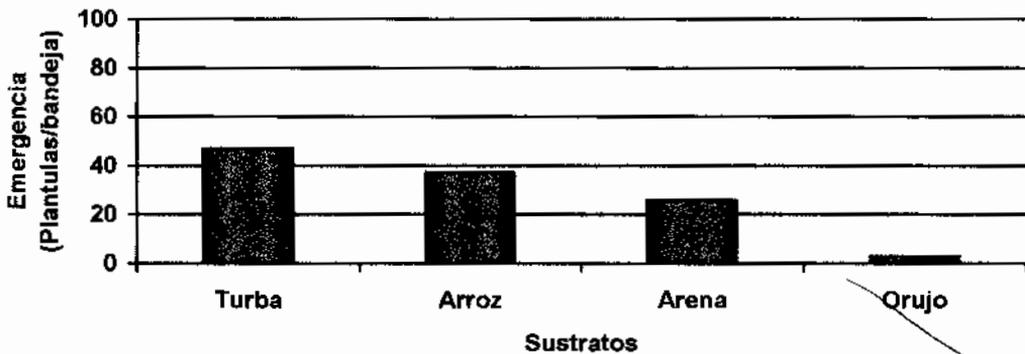
Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 9.

Sustrato	Emergencia	Nivel de significación
Con Turba	46.96	A
Con Arroz	37.1	A
Con Arena	25.84	B
Con Orujo	2.98	C

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). C.V.=12.35%

Gráfico N° 4.4.

Emergencia de los plantines de tomate al noveno día desde la siembra.



A partir del décimo día desde la siembra y hasta el día decimocuarto los sustratos con arroz, arena y turba se comportaron de la misma forma, no existiendo diferencias significativas entre ellos. El sustrato con orujo durante este periodo se comportó siempre con un promedio menor de plantas emergidas que el resto, con diferencia estadísticamente significativa (cuadros N° 4.9., 4.10., 4.11., 4.12. y 4.13. y los gráficos N° 4.5., 4.6., 4.7., 4.8., 4.9.)

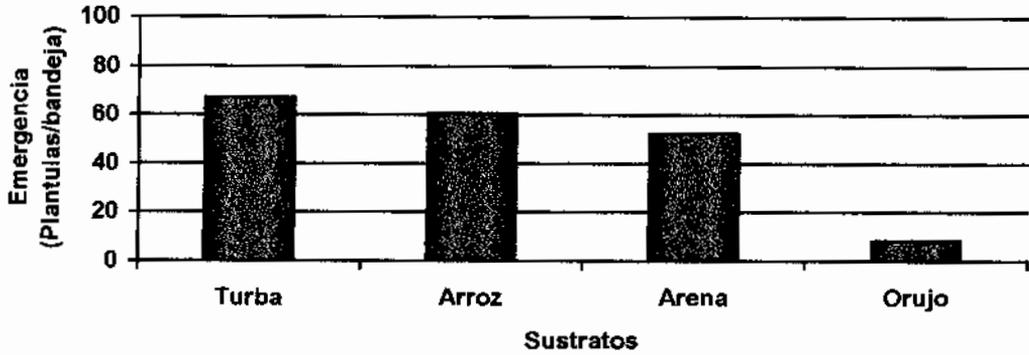
Cuadro N° 4.9.

Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 10.

Sustrato	Emergencia	Nivel de significación
Con Turba	67.21	A
Con Arroz	60.56	A
Con Arena	52.57	A
Con Orujo	8.29	B

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). C.V.=13.84%

Gráfico N° 4.5.
Emergencia de los plantines de tomate al décimo día desde la siembra.

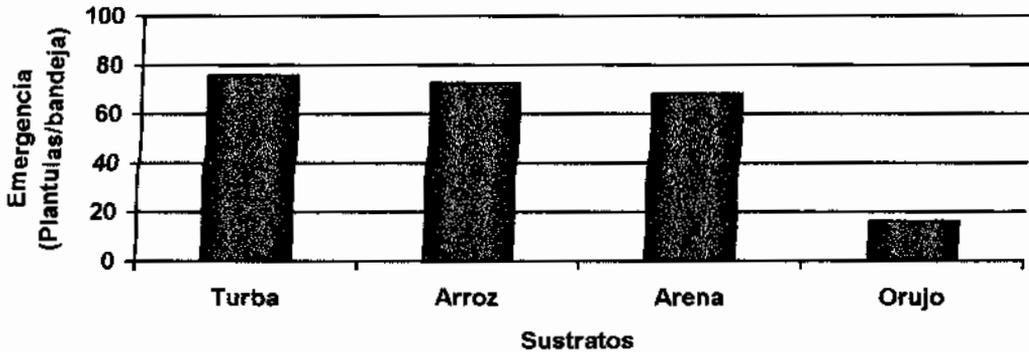


Cuadro N° 4.10.
Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 11.

Sustrato	Emergencia	Nivel de significación
Con Turba	75.67	A
Con Arroz	72.65	A
Con Arena	68.21	A
Con Orujo	16.16	B

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). C.V = 8.57%

Gráfico N° 4.6.
Emergencia de los plantines de tomate al decimoprimer día desde la siembra.

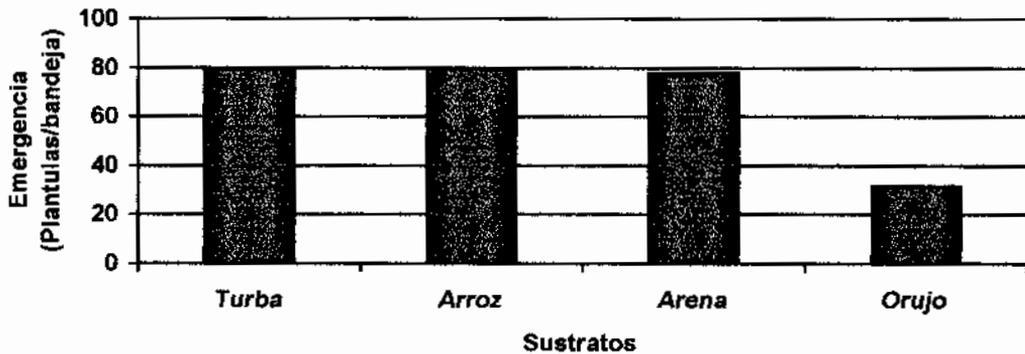


Cuadro N° 4.11.
Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 12.

Sustrato	Emergencia	Nivel de significación
Con Turba	79.42	A
Con Arroz	79.42	A
Con Arena	77.90	A
Con Orujo	31.71	B

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). C.V.=8.35%

Gráfico N° 4.7.
Emergencia de los plantines de tomate al decimosegundo día desde la siembra.



Cuadro N° 4.12.
Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 13.

Sustrato	Emergencia	Nivel de significación
Con Turba	89.09	A
Con Arena	87.80	A
Con Arroz	87.60	A
Con Orujo	61.23	B

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). C.V. =7.96%

Cuadro N° 4.13.
Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 14.

Sustrato	Emergencia	Nivel de significación
Con Turba	90.51	A
Con Arena	90.37	A
Con Arroz	88.87	A
Con Orujo	77.86	B

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). C.V. =6.82%

Gráfico N° 4.8.
Emergencia de los plantines de tomate al decimotercer día desde la siembra

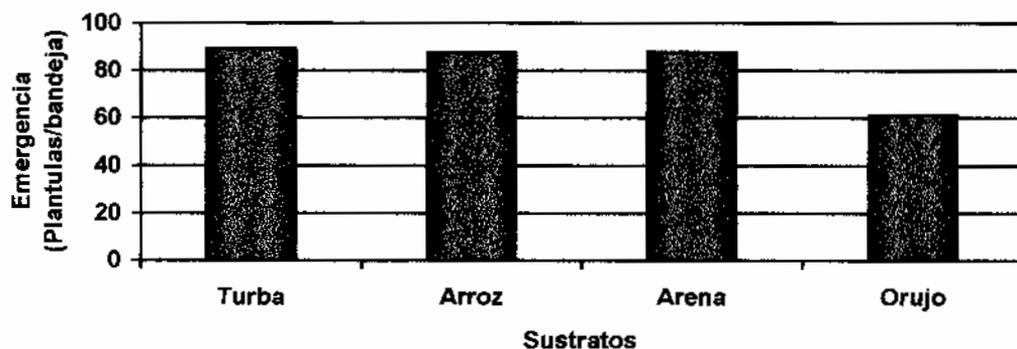
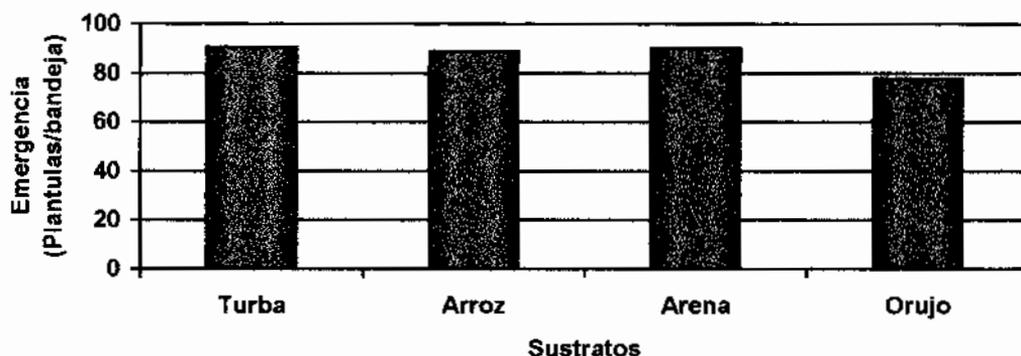


Gráfico N° 4.9.
Emergencia de los plantines de tomate al decimocuarto día desde la siembra.



A los quince, dieciséis y diecisiete días desde la siembra (cuando se consideró finalizado el experimento) todos los sustratos presentaron un comportamiento igual no encontrándose diferencias significativas entre ellos con respecto al promedio de plantas emergidas (cuadros N° 4.14., 4.15., 4.16. y gráfico N° 4.10.).

Cuadro N° 4.14.
Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 15.

Sustrato	Emergencia	Nivel de significación
Con Turba	92.22	A
Con Arena	91.55	A
Con Arroz	90.18	A
Con Orujo	88.48	A

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) C.V.=5.54%

Cuadro N° 4.15.

Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 16.

Sustrato	Emergencia	Nivel de significación
Con Arena	93.67	A
Con Orujo	92.60	A
Con Turba	92.49	A
Con Arroz	90.58	A

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). C.V.=5.49%

Cuadro N° 4.16.

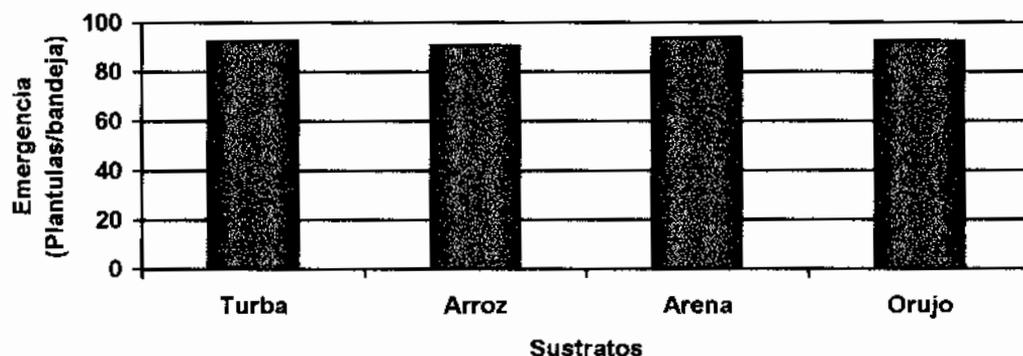
Promedio de plántulas emergidas por bandeja en el día 17.

Sustrato	Emergencia	Nivel de significación
Con Arena	94.10	A
Con Orujo	93.14	A
Con Turba	92.77	A
Con Arroz	91.21	A

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). C.V.=5.21%

Gráfico N° 4.10.

Emergencia de los plantines de tomate al decimoséptimo día desde la siembra.



4.5.2. Factores que explican el resultado del ensayo de germinación-emergencia.

Evolución de la conductividad eléctrica de los sustratos en el tiempo.

La temperatura del ambiente fue la misma para todos los sustratos, y la temperatura de los sustratos como ya se vio no registro diferencias que puedan explicar el comportamiento en

la emergencia descrito en el capítulo anterior. El régimen de luz y oscuridad fue el mismo para todos los sustratos, el contenido de aire y agua se manejó con el riego. El riego fue igual para todos los sustratos, y por los resultados de los análisis físicos, las condiciones de aireación y humedad de cada sustrato fueron diferentes pero estas diferencias no permiten explicar satisfactoriamente el comportamiento de la emergencia.

El contenido de sales de los sustratos varió a lo largo del desarrollo del experimento, factor que puede explicar gran parte del comportamiento de la germinación – emergencia de los plantines en los diferentes sustratos.

La conductividad eléctrica es un método rápido para medir el contenido de sales de un sustrato. Al momento de la siembra los sustratos presentaban altos contenidos de sales, se puede ver en el cuadro N° 4.17 que los contenidos de sales de todos los sustratos disminuyeron (se fue lixiviando) conforme al manejo de riego que se adoptó, esto coincidiendo con la bibliografía consultada (cuadro N° 2.3. y capítulo 2.1 sección Disponibilidad de agua y salinidad del sustrato). La conductividad eléctrica se midió en cada sustrato cada tres días desde la siembra.

Cuadro N° 4.17.

Variación del contenido de sales presentes en los sustratos, medido como conductividad eléctrica.

SISTRATOS	Conductividad eléctrica medida en mmhos /cm			
	Siembra	1ª Fecha de muestreo	2ª Fecha de muestreo	3ª fecha de muestreo
	31/10/99	3/11/99	6/11/99	9/11/99
Mezcla con arena	0.42	0.26	0.20	0.18
Mezcla con arroz	1.60	0.90	0.75	0.44
Mezcla con orujo	3.10	1.45	1.40	1.00
Mezcla con turba	1.40	1.10	0.98	0.80

Si los resultados presentados en el cuadro N° 4.17. se comparan con la clasificación que utiliza la Dirección de Suelos y Aguas del M.G.A.P.(anexo N° 1), se observa que al momento de la siembra la mezcla con Arena es un sustrato ligeramente salino y por lo tanto es de suponer que es apto para la germinación.

Por la misma comparación se puede afirmar que los demás sustratos no son aptos para la germinación, en especial la mezcla con orujo que clasificado dentro de la categoría como muy salino, con un valor de casi el doble del sustrato que le sigue.

En la primer fecha de muestreo (al tercer día desde la siembra) los sustratos con Turba, Arena y Arroz, perdieron la suficiente cantidad de sales como para bajar una categoría en la clasificación mencionada.

A continuación se mencionan algunos autores que explican como estas condiciones salinas de los sustratos y su permanencia en el tiempo afectan la tasa de emergencia y al proceso de germinación-emergencia.

El potencial osmótico tendrá un valor tanto mayor, cuanto mayor sea la concentración de iones disueltos en la solución del suelo. Si se eleva excesivamente dicha concentración, la planta puede llegar a padecer un déficit hídrico semejante al que se produce en condiciones de sequía (ANSORENA; 1994)

El aumento en la salinidad del agua del sustrato provoca una reducción en la intensidad de la fuerza de emergencia ejercida por la germinación. O sea se demora mas para emerger. (Benjamin, 1990 citado por MINAMI, 1995)

Las semillas que germinan en un medio salino no sólo reducen su porcentaje de germinación, sino que alargan el periodo de germinación (Ayers 1952 citado por CUARTERO et al, 1995)

La capacidad de emergencia de las plántulas también se ve disminuida por la salinidad (Mc Kimmie y Dobrenz, 1987 citados por CUARTERO et al, 1995).

Las semillas que no germinan por la concentración salina del medio que las rodea no pierden su facultad germinativa, de modo que si dicha concentración disminuyese como consecuencia de una lluvia o de un riego con agua de buena calidad, germinarían más del 50% de las semillas que no lo habrían hecho en el medio salino (Allegui et al., 1987 citado por CUARTERO et al, 1995).

Para ilustrar el comportamiento de cada sustrato en el tiempo de la emergencia descrito en el capítulo anterior, se presentan las gráficas N° 4.11., 4.12., 4.13. y 4.14., en las cuales se contrasta la emergencia de los plantines y la evolución de la salinidad para cada sustrato.

El gráfico N° 4.11. se observa que en el sustrato con arena se partió de un bajo contenido de sales que no afectó el proceso de germinación lo que se reflejó en una tasa de emergencia alta al comienzo de esta, y llegar a un porcentaje de emergencia superior al 90%.

En el gráfico 4.12. se observa que en el sustrato con arroz se partió de un alto contenido en sales que rápidamente se redujo con el agua de riego. Este hecho permitió tener una alta tasa de emergencia, satisfactoria si la comparamos con el sustrato con arena (gráfico anterior) que contenía mucho menos sales.

Gráfico N° 4.11.

Evolución comparada de la conductividad y la emergencia en el sustrato con arena.

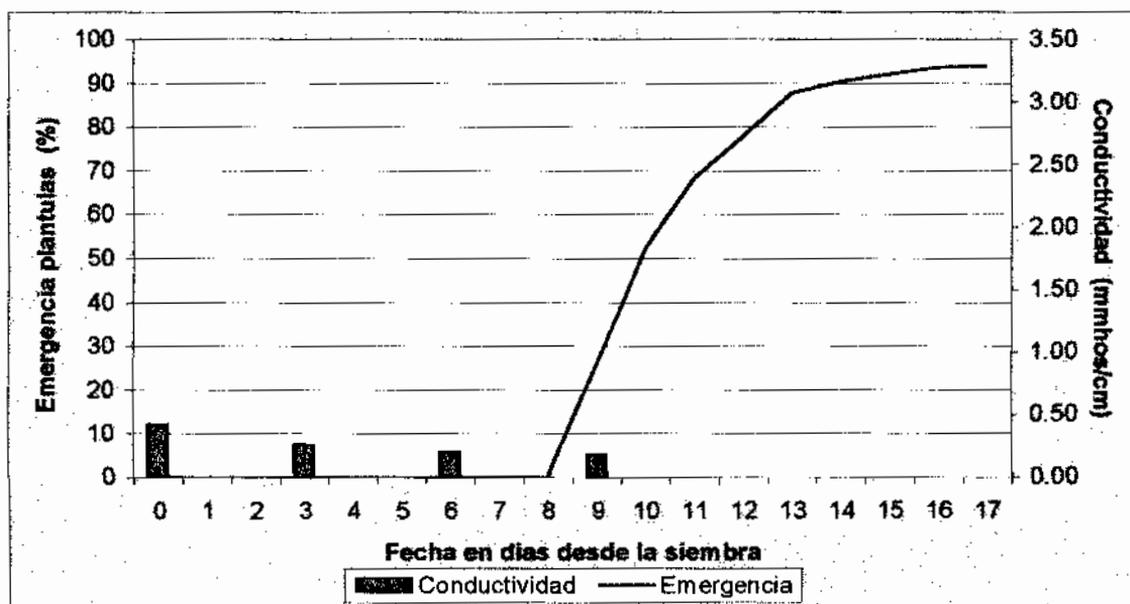


Gráfico N° 4.12.

Evolución comparada de la conductividad y la emergencia en el sustrato con arroz.

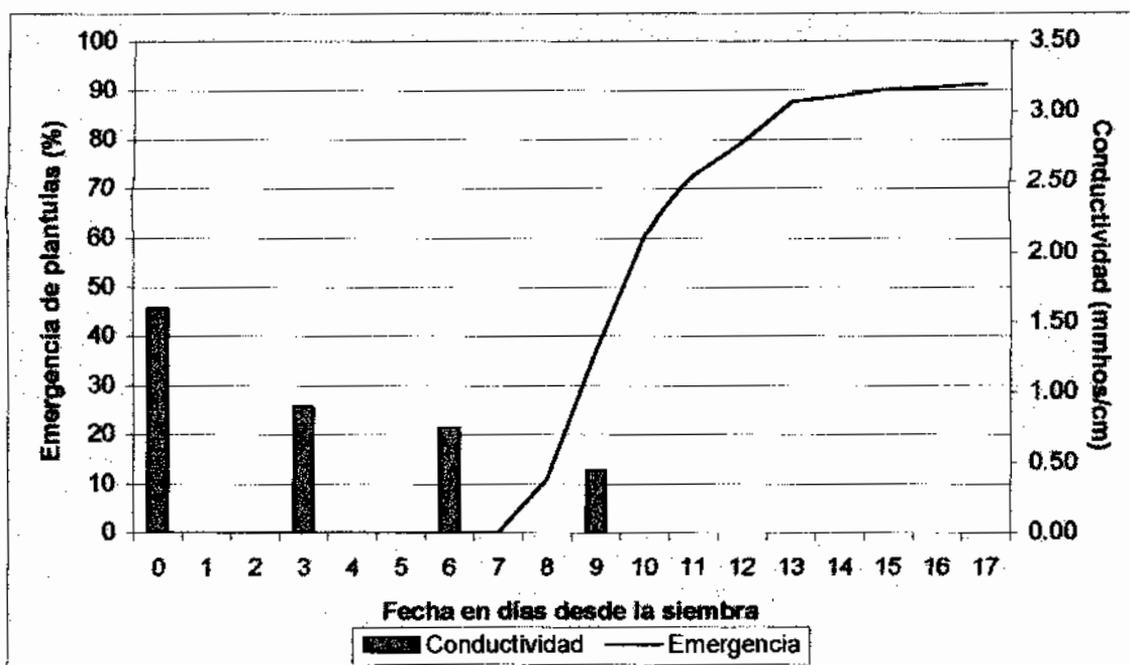
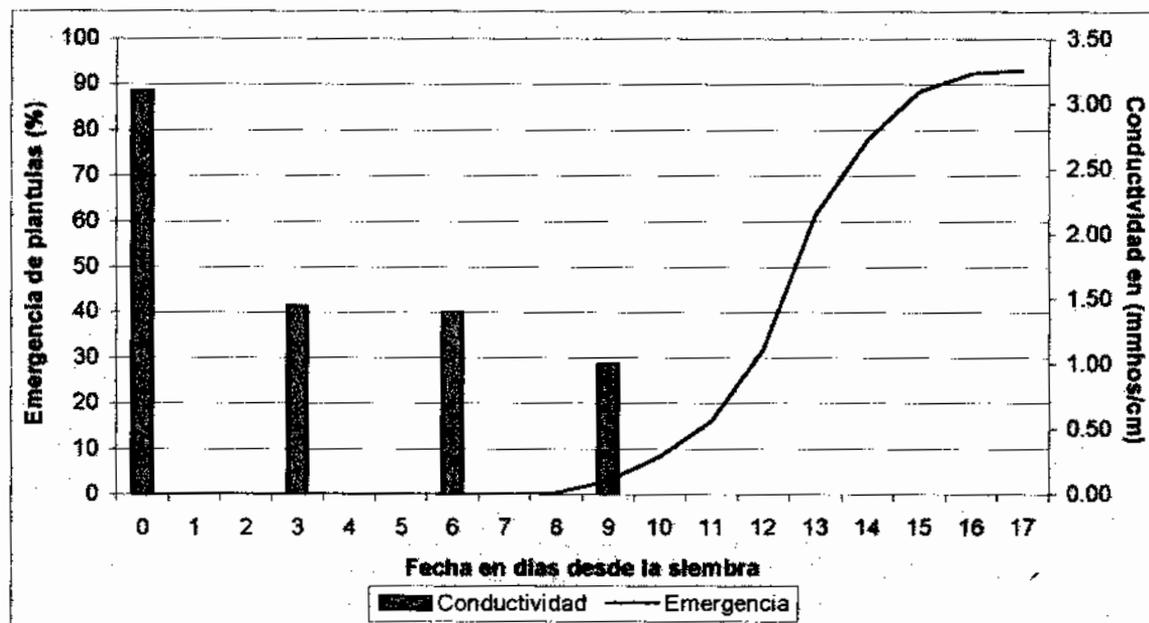


Gráfico N° 4.13.

Evolución comparada de la conductividad y la emergencia en el sustrato con orujo.

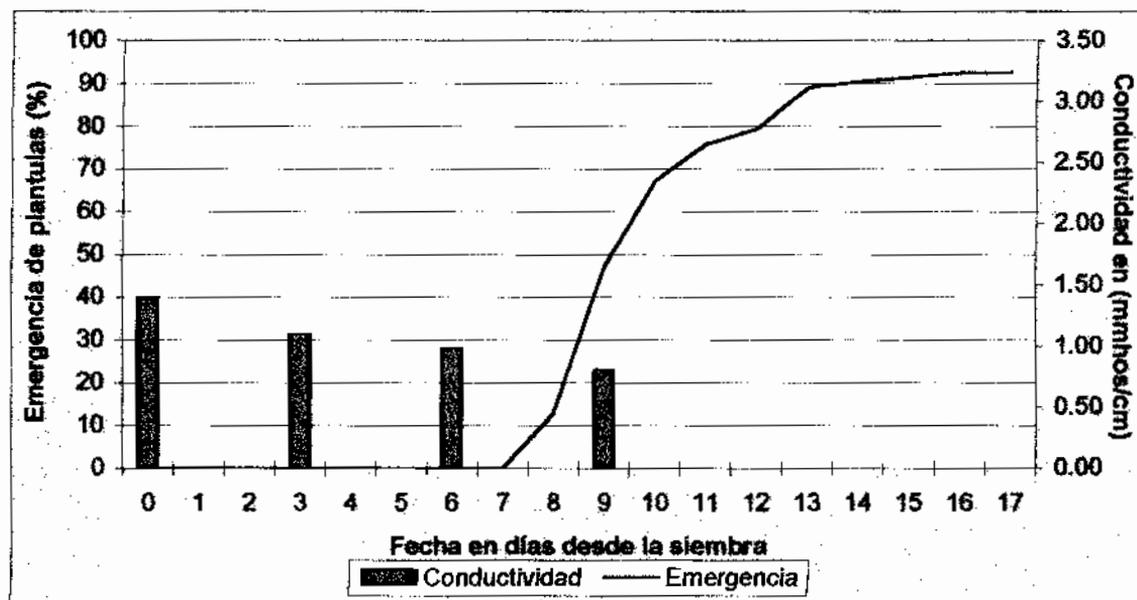


El sustrato con orujo si bien es el que más sales perdió, por partir de un valor inicial muy alto, se mantuvo en la categoría muy salino hasta la segunda fecha de muestreo (noveno día desde la siembra). Este ambiente adverso a la germinación se mantuvo por más tiempo que en los otros sustratos. El contenido de sales genera un alto potencial osmótico en la solución de este sustrato, con un gradiente negativo a la entrada de agua a la semilla lo que impide o retrasa el proceso germinativo, que es causa suficiente para explicar la baja tasa de emergencia ilustrada en el comienzo de la gráfica N° 4.13. coincidiendo con la bibliografía consultada y ya mencionada en este tema. Esta situación se reflejó en las grandes diferencias en edad entre los plantines al momento del trasplante.

En el gráfico N° 4.14. se ilustra el comportamiento de la emergencia y el contenido de sales en el sustrato con turba, este sustrato partió de un contenido alto de sales lo que se reflejó en la conductividad, a medida que se aplicaron los riegos la conductividad disminuyó. Este rápido cambio de las condiciones adversas del medio, permitió obtener una tasa de emergencia grande similar a la descrita por el sustrato con arroz y con arena, este último nunca presentó restricciones con relación al contenido de sales.

Gráfico N° 4.14.

Evolución comparada de la conductividad y la emergencia en el sustrato con turba.



El gráfico N° 4.15. ilustra la evolución comparada de la emergencia en el tiempo para los cuatro sustratos. La forma descrita por las curvas de emergencia es similar con la descrita para los procesos típicos de germinación (gráfica N° 2.1), se encontró, entonces, una correspondencia entre ambas curvas, los factores que controlan la germinación inciden muy estrechamente en los procesos de emergencia en la producción en contenedores.

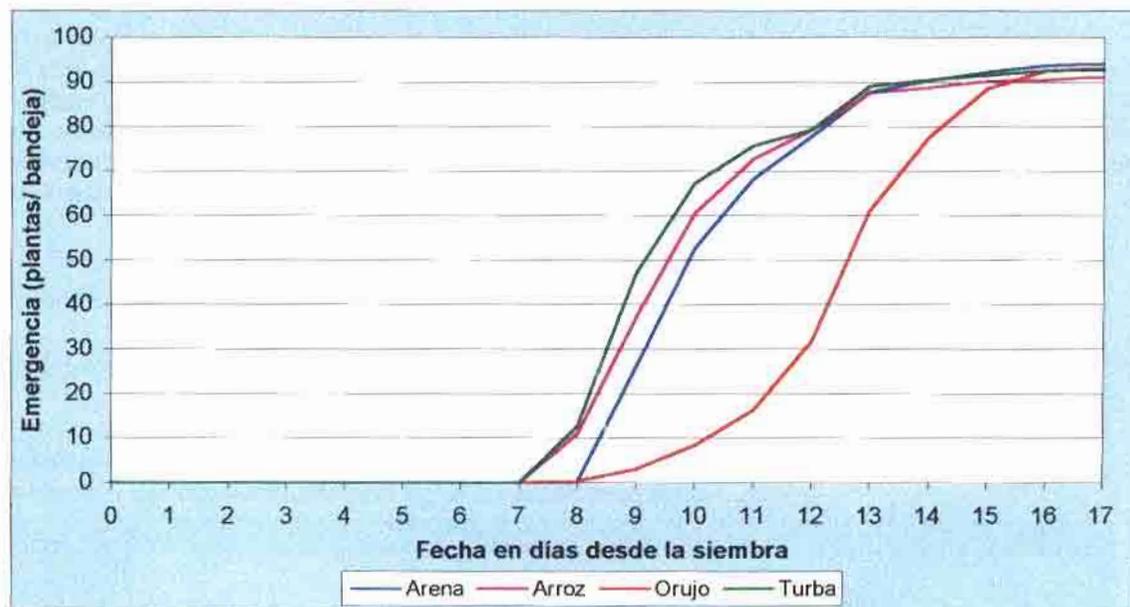
Al observar las curvas de la gráfica N° 4.15. se observa que al comienzo la tasa de emergencia es mayor en los sustratos con Arroz, Arena y Turba, que en el Orujo, lo que significa que la mayoría de las emergencias en los sustratos con Arroz, Arena, y Turba se concentraron en los primeros días (alrededor del 70% en los 4 primeros días), permitiendo una alta uniformidad en la edad de los plantines. Este hecho coincide con que son los tres sustratos con menor contenido inicial de sales, lo que no perjudicó el proceso de germinación de la semilla de tomate.

Con respecto al sustrato con arena las diferencias encontradas en las primeras fechas de emergencia (día 8 y 9) con relación a los sustratos con turba y arroz son más explicables a través de las diferencias encontradas en la densidad aparente y el contenido de material sólido (cuadro N° 4.2 y gráfico N° 4.2), donde el sustrato con arena es mucho más denso que los demás, y a igual profundidad de siembra el sustrato ejerce una resistencia mecánica mayor a la emergencia del plantin. El sustrato con arena tiene la menor capacidad de aireación por presentar la relación aire/agua más baja. Este factor se mantuvo constante a lo largo de todo el ensayo, lo que no explica que luego de un retraso de un día en la emergencia en relación con el arroz y la turba, la tasa de emergencia en la arena (representada por las pendientes de la curva en la gráfica N° 4.15) fue similar a la presentada por los sustratos con arroz y turba. Al final del

ensayo el porcentaje de emergencia se puede considerar como alto, y no presento diferencias estadísticas significativas entre los sustratos.

Gráfico N° 4.15.

Evolución comparada de la emergencia en los cuatro sustratos.



4.6. EXPERIMENTO DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL PLANTIN.

4.6.1. Evolución del diámetro del cuello del tallo del plantin.

Se ajustaron los modelos polinomiales del diámetro del cuello en función de la fecha, para cada sustrato en cada uno de los experimentos. A partir de ellos se obtuvieron las gráficas que describen el comportamiento del diámetro del cuello del tallo para cada sustrato en los experimentos con y sin fertilización.

Se encontró que un modelo polinomial de cuarto grado es la ecuación que describe mejor el comportamiento del diámetro del cuello del tallo en función del tiempo para todos los sustratos en el experimento con fertilización. Mientras que en el experimento sin fertilización, el modelo para los sustratos con Arena y Arroz es de tercer grado, y para el Orujo y la Turba es de cuarto grado (anexo N° 9).

Se van a utilizar los subíndices i, j , dónde i indica sustrato ($i = 1,2,3,4$, siendo 1 = Arena, 2 = Arroz, 3 = Orujo, y 4 = Turba) y j indica con o sin fertilización ($j = 0,1$, siendo 0 = sin, y 1 = con fertilización).

Sustrato con arena.

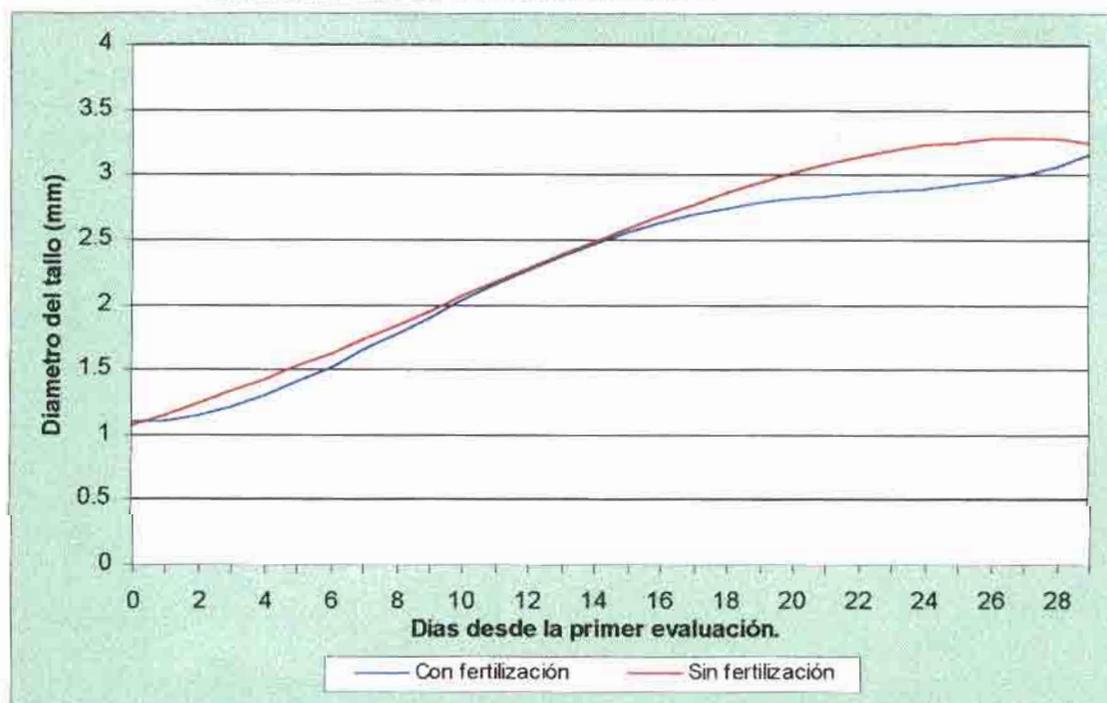
En este caso **Diámetro 10** es el diámetro del cuello del tallo en el sustrato con **Arena** y **sin** fertilización complementaria, y X representa la variable en todos los casos fecha en días desde que comenzó la evaluación hasta el último día del experimento. En el caso de **Diámetro 11** se representa la evolución del diámetro del cuello del tallo en el sustrato con **Arena** y **con** fertilización complementaria, los modelos estimados fueron:

$$\text{Diámetro}_{10} = 1.065545 + 0.078686X + 0.003272X^2 - 0.000117X^3$$

$$\text{Diámetro}_{11} = 1.106794 - 0.016643X + 0.020466X^2 - 0.001136X^3 + 0.000018X^4$$

Gráfico N° 4.16.

Evolución del diámetro del tallo en el sustrato con arena.



En el gráfico N° 4.16. se observa el comportamiento del diámetro del tallo de los plantines de tomate para el sustrato con arena en los experimentos con y sin fertilización complementaria. La evolución del crecimiento del diámetro es diferente en cada experimento

esto se observa en las formas de ambas curvas y en los modelos que dan origen a ellas. Las diferencias encontradas en valor absoluto para el diámetro del tallo en los dos ensayos en arena y para el período considerado, no permiten sacar conclusiones de cómo afecto cada ensayo a este parámetro. El diámetro máximo no llega a ser de cuatro milímetros, las diferencias son de décimas de milímetro. A pesar de utilizar un instrumento muy preciso con un calibre con un error de más menos una centésima de milímetro, el error generado por la metodología de evaluación y por las características muy variables del objeto evaluado, es sin dudas mayor que las diferencias encontradas.

Sustrato con arroz.

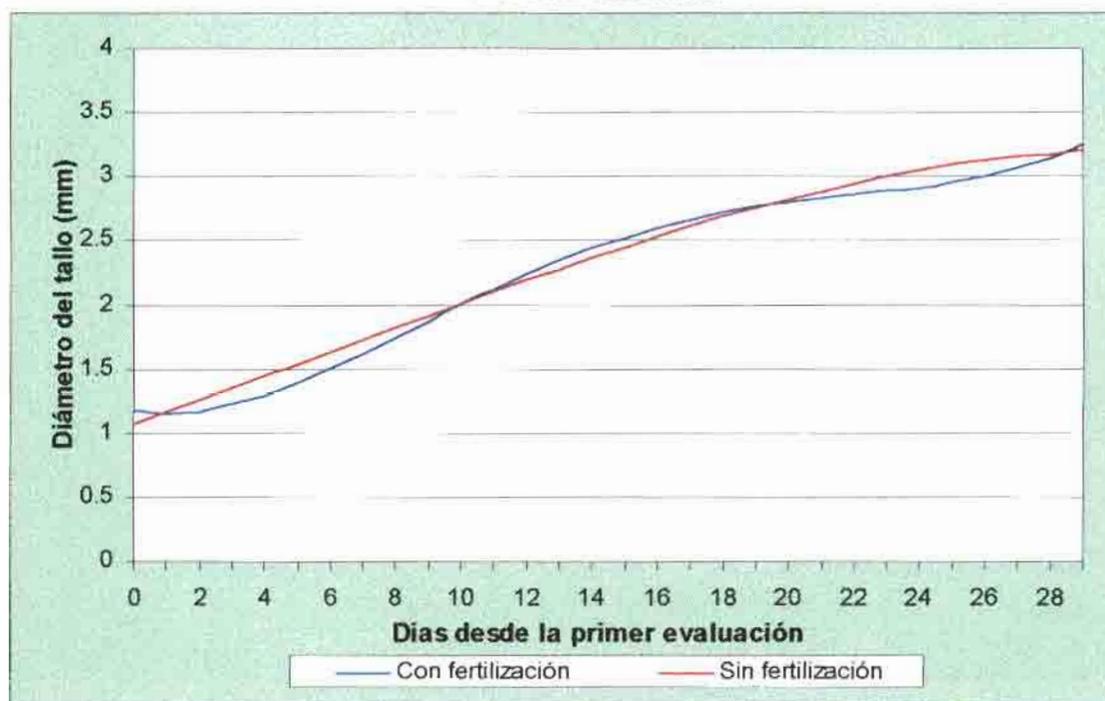
Las ecuaciones obtenidas para los tratamientos con arroz en los experimentos con y sin fertilización son las siguientes: En este caso **Diámetro 20** representa el diámetro del cuello del tallo en el sustrato con **Arroz y sin fertilización** complementaria, mientras que **Diámetro 21** representa el diámetro del cuello del tallo en el sustrato con **Arroz y con fertilización** complementaria. Los modelos estimados fueron:

$$\text{Diámetro20} = 1.073683 + 0.088944X + 0.000966X^2 - 0.000052X^3$$

$$\text{Diámetro21} = 1.176015 - 0.041005X + 0.022519X^2 - 0.001215X^3 + 0.000020X^4$$

Gráfico N° 4.17.

Evolución del diámetro del tallo en el sustrato con arroz.



Para el sustrato con arroz, (gráfico N° 4.17.) los modelos estimados que explican el comportamiento del diámetro del tallo son de diferente forma. Esto se ilustra en las curvas descriptas con formas diferentes para cada experimento, los valores encontrados difieren en décimas de milímetros, por lo que se puede inferir que esas diferencias no son atribuibles a los ensayos y que ésta variable no refleja en forma apreciable las diferentes condiciones de los experimentos (por las mismas razones que se precisaron al analizar el gráfico N° 4.16 del sustrato con arena).

Sustrato con orujo.

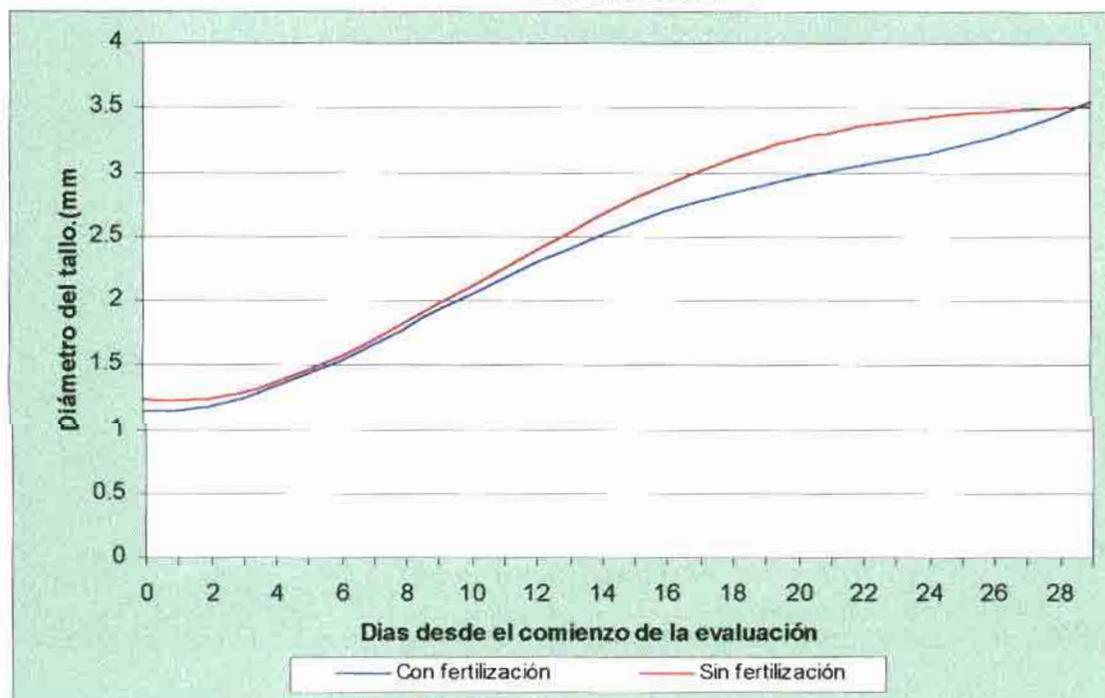
En este caso **Diámetro 30** representa el diámetro del cuello del tallo en el sustrato con **Orujo** y **sin** fertilización complementaria, mientras que **Diámetro 31** representa el diámetro del cuello del tallo en el sustrato con **Orujo** y **con** fertilización complementaria. Los modelos ajustados fueron:

$$\text{Diámetro30} = 1.239429 - 0.035524X + 0.020159X^2 - 0.000909X^3 + 0.000012X^4$$

$$\text{Diámetro31} = 1.143516 - 0.014668X + 0.018982X^2 - 0.001013X^3 + 0.000016X^4$$

Gráfico N° 4.18.

Evolución del diámetro del tallo en el sustrato con orujo.



Con respecto al diámetro del tallo en el sustrato con orujo (gráfico N° 4.18.) las curvas que describe cada ensayo son similares. Esto también se ve claramente si se comparan los modelos estimados que dan forma a las gráficas, son iguales y solo difieren en el valor de los coeficientes. Esto sigue confirmando que esta variable no es sensible para las condiciones de los experimentos y la metodología de evaluación.

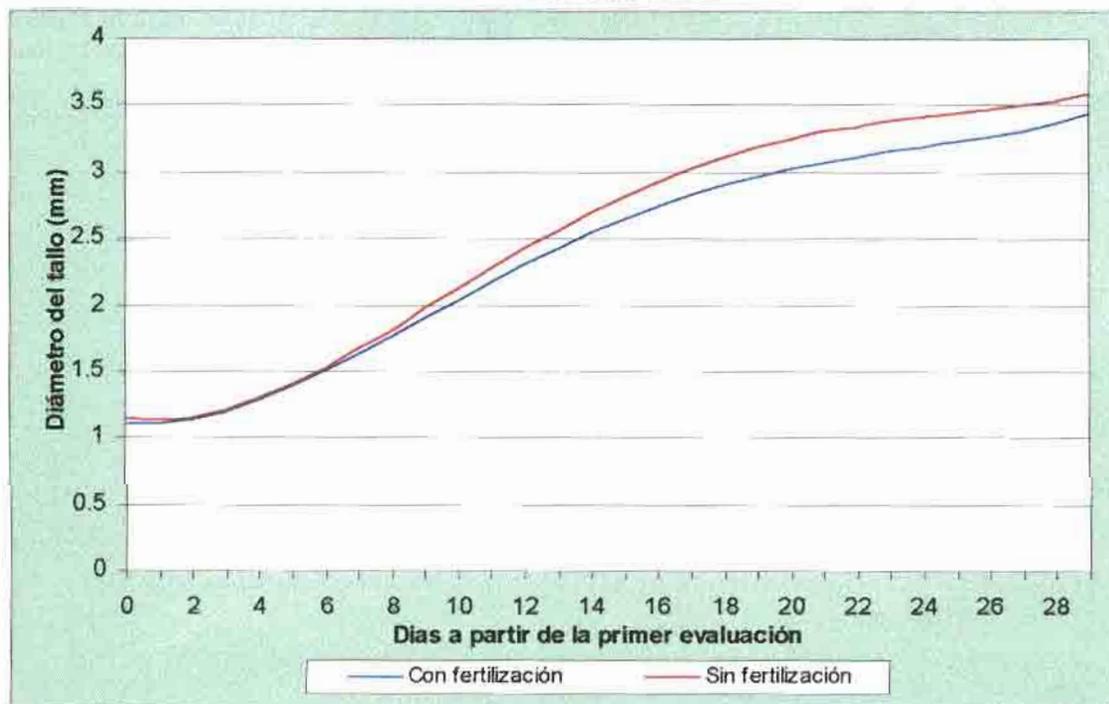
Sustrato con Turba.

En este caso **Diámetro 40** representa el diámetro del cuello del tallo en el sustrato con **Turba** y **sin** fertilización complementaria, mientras que **diámetro 41** representa el diámetro del cuello del tallo en el sustrato con **Turba** y **con** fertilización complementaria. Los modelos ajustados fueron:

$$\text{Diámetro40} = 1.151633 - 0.040485X + 0.023658X^2 - 0.001156X^3 + 0.000017X^4$$

$$\text{Diámetro41} = 1.104122 - 0.018805X + 0.019849X^2 - 0.001014X^3 + 0.000016X^4$$

Gráfico N° 4.19.
Evolución del diámetro del tallo en el sustrato con turba.



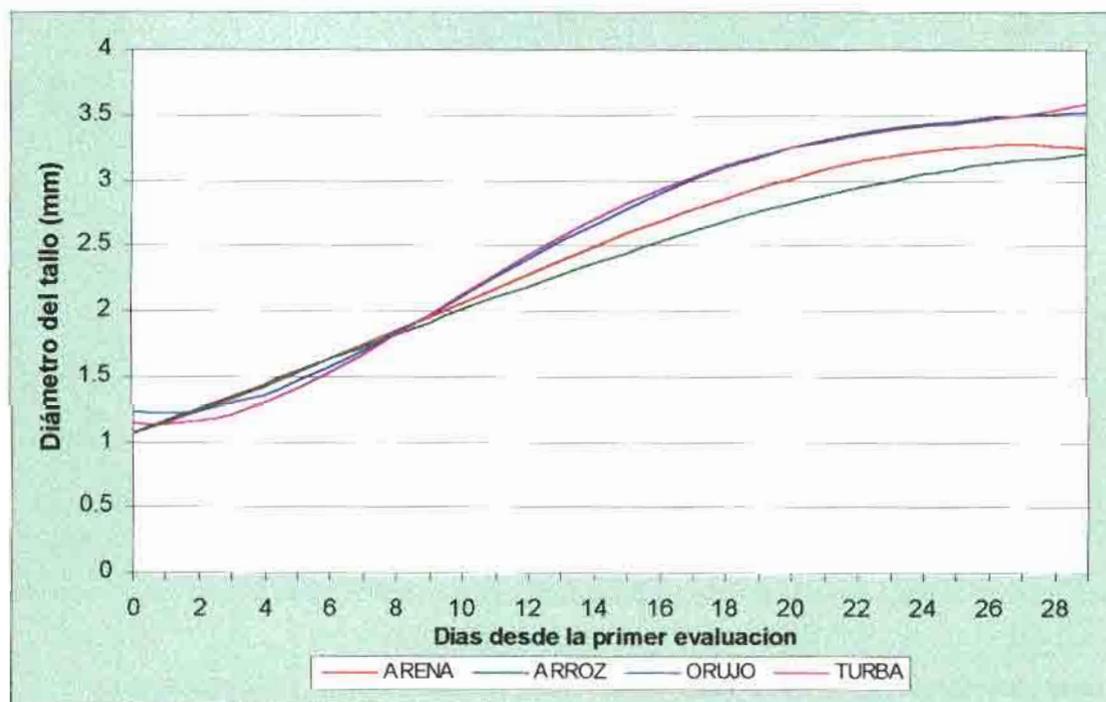
En el sustrato con turba para el diámetro del tallo, se ajustaron los modelos para los ensayos con y sin fertilización, que resultaron ser muy semejantes, variando apenas el valor de sus coeficientes. Esto se tradujo en la gráfica N° 4.19., donde se observa que la forma de las curvas es muy similar. Para el periodo que duro el ensayo, la mayor diferencia registrada entre el comienzo y el final del mismo en el diámetro del tallo, apenas supera los 2.5 mm, y la diferencia entre ensayos es de décimas de milímetro. Por las mismas razones comentadas anteriormente para los otros sustratos, relacionadas al error en la metodología de medición, lo poco que varió el parámetro a medir y a las características propias del objeto a medir, se puede considerar que el diámetro del tallo no expresa satisfactoriamente las diferentes condiciones de la turba que plantean los ensayos con y sin fertilización.

Consideraciones sobre el diámetro del tallo en cada experimento.

En el gráfico N° 4.20. en el experimento sin fertilización, se observan diferencias en la evolución del crecimiento del diámetro del cuello del tallo. Las diferencias en valor absoluto son muy pequeñas (aproximadamente 0.5 mm en el mayor de los casos). En valor relativo la mayor diferencia encontrada entre sustratos llega a ser mayor a un 20% del incremento total del diámetro desde el comienzo hasta el final del ensayo, este incremento en el mejor de los casos estuvo próximo a los 2.5 mm. en 29 días (un valor muy pequeño donde el error en la metodología de evaluación es relativamente muy importante).

Gráfico N° 4.20.

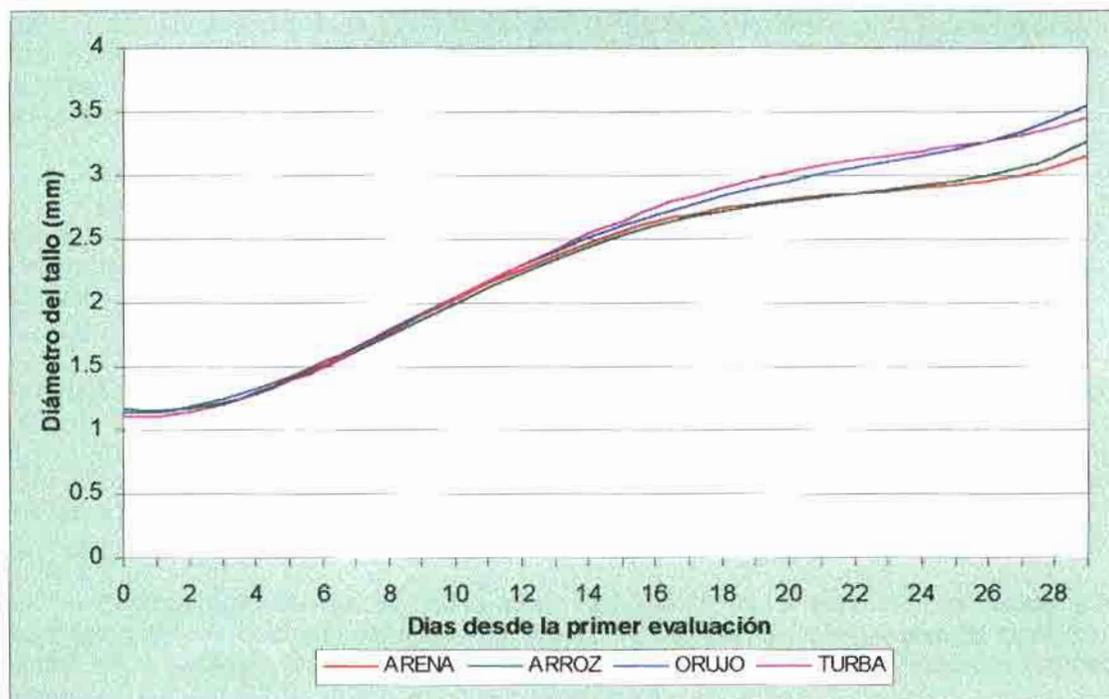
Evolución comparada del diámetro del tallo en los diferentes sustratos sin fertilización.



En relación con la forma descrita por las curvas en la gráfica N° 4.20. y a raíz de las diferencias relativas encontradas se pueden plantear una hipótesis del comportamiento del crecimiento del diámetro del tallo, que dice lo siguiente: existe una tendencia de mayor crecimiento relativo en los sustratos con turba y con orujo con respecto a los otros dos. En el crecimiento se dan periodos sucesivos de multiplicación celular y agrandamiento celular lo que se traduce en una forma sigmoide de la curva. Cuando en el medio se presentan restricciones al crecimiento (físico-químicas), los sucesivos ciclos de multiplicación y agrandamiento celular se vuelven más lentos, esto se traduce en un estiramiento de la forma sigmoide, describiendo la curva ondas más amplias, más chatas y siendo menos los ciclos que si lo comparamos con un medio sin restricciones en un mismo periodo. Si las mencionadas restricciones se mantienen por un largo periodo en el tiempo, la curva tiende a la horizontalidad.

Esta hipótesis se confirma al observar los sustratos con arena y con arroz que presentan mayores restricciones y los comparamos con los sustratos con orujo y con turba con mejores condiciones al crecimiento, en el gráfico N° 4.20.. También se confirma la hipótesis si observamos el ensayo con fertilización (gráfico N° 4.21.) en donde al eliminar buena parte de las limitaciones químicas de los sustratos, en cada uno de estos el diámetro del tallo crece describiendo una curva con similar forma.

Gráfico N° 4.21.
Evolución comparada del diámetro del tallo en los diferentes sustratos con fertilización.



El gráfico N° 4.21. ilustra la evolución del diámetro del cuello del tallo para cada sustrato en el experimento con fertilización, aquí se observa que la curva descrita por la variable considerada es muy similar en todos los sustratos. Al final del periodo considerado las

diferencias encontradas en el mayor de los casos del entorno de 0.5 mm, y al igual que en el experimento sin fertilización estas pequeñas diferencias no pueden ser atribuibles solo a los sustratos.

Para ambos experimentos en la variable que se está considerando, no existieron diferencias en valor absoluto al final del ensayo. Esto confirma que el diámetro del cuello del tallo en tomate no es un buen estimador que refleje las condiciones para el crecimiento de los sustratos, en las condiciones del experimento (volumen pequeño del contenedor) y para un periodo de crecimiento corto.

4.6.2. Evolución de la altura del plantín.

Se ajustaron los modelos polinomiales de altura del plantín en función de la fecha, para cada sustrato en cada uno de los experimentos. A partir de ellos se obtuvieron las gráficas que describen el comportamiento de la altura del plantín en el tiempo para cada sustrato en los experimentos con y sin fertilización.

Se encontró que un modelo polinomial de cuarto grado es la ecuación que describe mejor el comportamiento de la altura del plantín en función del tiempo para todos los sustratos en el experimento con fertilización. Mientras que en el experimento sin fertilización, el modelo para los sustratos con Orujo y con Turba es también de cuarto grado, para el sustrato con Arena es cúbico y para el que tiene Arroz es cuadrático (anexo N° 9).

Se van a utilizar los subíndices i, j , dónde i indica sustrato ($i = 1,2,3,4$, siendo 1 = Arena, 2 = Arroz, 3= Orujo, y 4 = Turba) y j indica con o sin fertilización ($j = 0,1$, siendo 0 = sin, y 1 = con fertilización). Para todos los casos X representa la variable independiente que en todos los casos equivale a la fecha en días que duro la evaluación en el experimento.

Sustrato con arena.

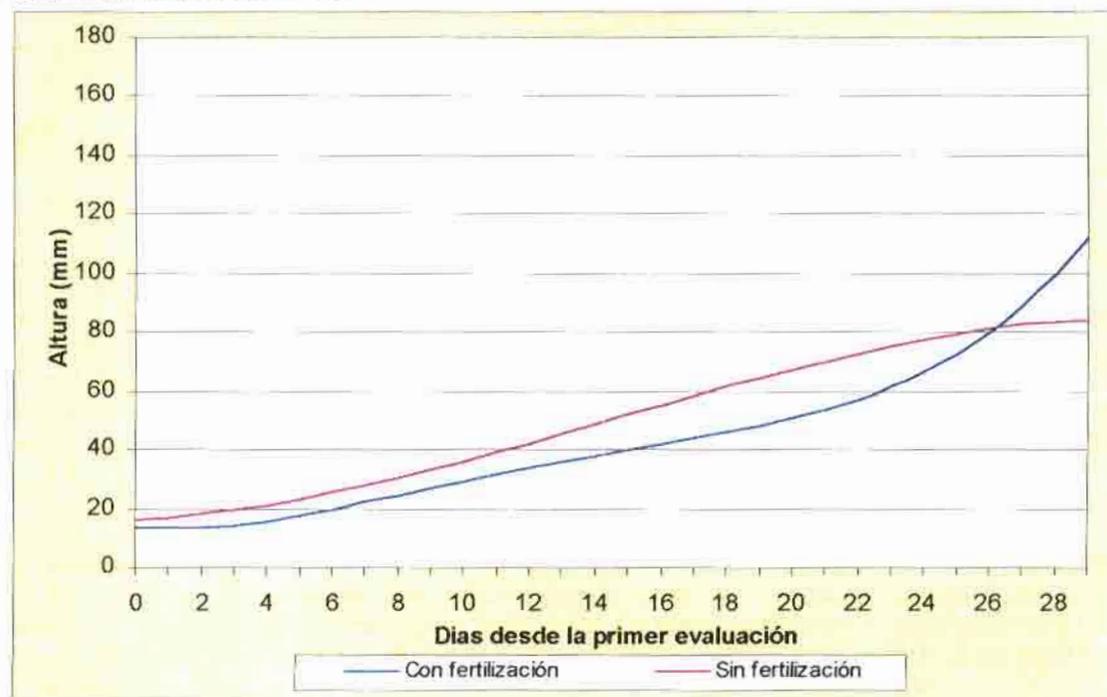
Las ecuaciones para los tratamientos con Arena en el experimento con y sin fertilización son las siguientes:

En este caso **Altura 10** es la altura del plantín en el sustrato con **Arena** y **sin** fertilización complementaria, mientras que **Altura 11** representa la evolución de la altura del plantín en el sustrato con **Arena** y **con** fertilización complementaria. Los modelos estimados fueron:

$$Altura10 = 16.422985 + 0.568143X + 0.183897X^2 - 0.004229X^3$$

$$Altura11 = 13.886869 - 1.096597X + 0.516504X^2 - 0.031776X^3 + 0.000666X^4$$

Gráfico N° 4.22.
Evolución de la altura del plantín en el sustrato con arena.



El sustrato con arena sin fertilización es el que mostró las mayores restricciones al crecimiento en altura. En el gráfico N° 4.22. se observa que la curva de crecimiento descrita tiene una pendiente muy pequeña, demostrando que desde un comienzo hubo condiciones que limitaron el crecimiento en altura. En el experimento sin fertilización a los 25 días del periodo considerado las restricciones fueron tan importantes, que la velocidad de crecimiento disminuyó cambiando la pendiente de la gráfica hasta casi horizontalizarse.

Este sustrato presentó en el análisis químico el menor contenido de nutrientes (cuadro N° 4.1.), que coinciden con la medida de la salinidad baja antes de comenzar el ensayo (cuadro N° 4.17). Con la excepción del fósforo del cual presentó un alto contenido. Según Ansorena (página 35 y 36) la capacidad de intercambio aniónica (c.i.a.) es máxima para el fósforo, y por la naturaleza del material que forma el sustrato, éste no posee c.i.a. o es muy pequeña, otros mecanismos de retención del fósforo según el mismo autor es la formación de fosfatos insolubles de aluminio o de hierro a valores bajos de pH, o de calcio a un pH superior a 7. El valor de pH del sustrato es de 6.9, y a pesar de no tener datos sobre el contenido de aluminio y de hierro, se puede suponer que no se forman fosfatos insolubles con estos cationes. El contenido de calcio es bajo por lo que es de esperar que esta vía de retención del fósforo no sea importante. Según Abad (pagina 32) para este sustrato la materia orgánica es la principal responsable de la capacidad de intercambio catiónico, y la capacidad tampón ante cambios rápidos en la disponibilidad de nutrientes, también es la principal fuente de nitrógeno. El sustrato con arena presentó un contenido bajo de materia orgánica (cuadro N° 4.1).

Por todo lo anteriormente expuesto, en el sustrato con arena rápidamente se lixivió el fósforo y el nitrógeno, y a corto plazo se agotaron los mecanismos de reposición de los mismos, visualizándose los síntomas de deficiencias en los plantines (sería recomendable en futuros ensayos realizar análisis de nutrientes sobre el tejido de los plantines) lo que limitó el crecimiento de los plantines.

La otra posible limitación detectada se relaciona con las propiedades físicas. Según el cuadro N° 4.2 el sustrato con arena se aparta de las propiedades físicas ideales citadas por Abad (en la pagina 57), el mismo presenta una baja porosidad total, poca aireación, adecuada retención de agua, y un alto contenido de material sólido. Por el manejo del riego aplicado a todos los sustratos generalmente un riego diario y abundante y las condiciones meteorológicas del ensayo de alta evapotranspiración, no se crearon condiciones prolongadas de anaerobiosis que afectaran el crecimiento en el sustrato (que sería de esperar ante los resultados del análisis físico). Todo esto se confirma en el ensayo con fertilización, que a pesar, de que la fertilización no fue la más adecuada a la baja c.i.c. del sustrato, igualmente los plantines crecieron mucho más hasta obtenerse plantines adecuados para el trasplante.

La mayor altura de los plantines en el comienzo del ensayo sin fertilización no tiene explicación posible con los elementos generados en este ensayo. Algunas teorías indicarían un efecto "mesada" no controlado (microclima) ya que los ensayos estaban colocados en mesadas contiguas, otra explicación estaría en la dirección de que, al existir un mayor crecimiento foliar (sin datos) este competiría con los meristemas de crecimiento en altura y generaría una diferencia en altura al comienzo del ciclo, que se mantendría hasta que se aplicara un fertirriego con nitrógeno. Otra teoría apuntaría a que las fertilizaciones foliares disminuyeron el crecimiento de los plantines.

En el experimento con fertilización su efecto se visualiza a partir del día 20 cuando la pendiente de la gráfica cambia, aumenta y comienza a verticalizarse (cuadro N° 4.28 se relaciona el momento de la fertilización con su respuesta). Al final, en el experimento con fertilización la tasa de crecimiento y la altura alcanzada fue mayor que en el experimento sin fertilización (anexo 3 y 4).

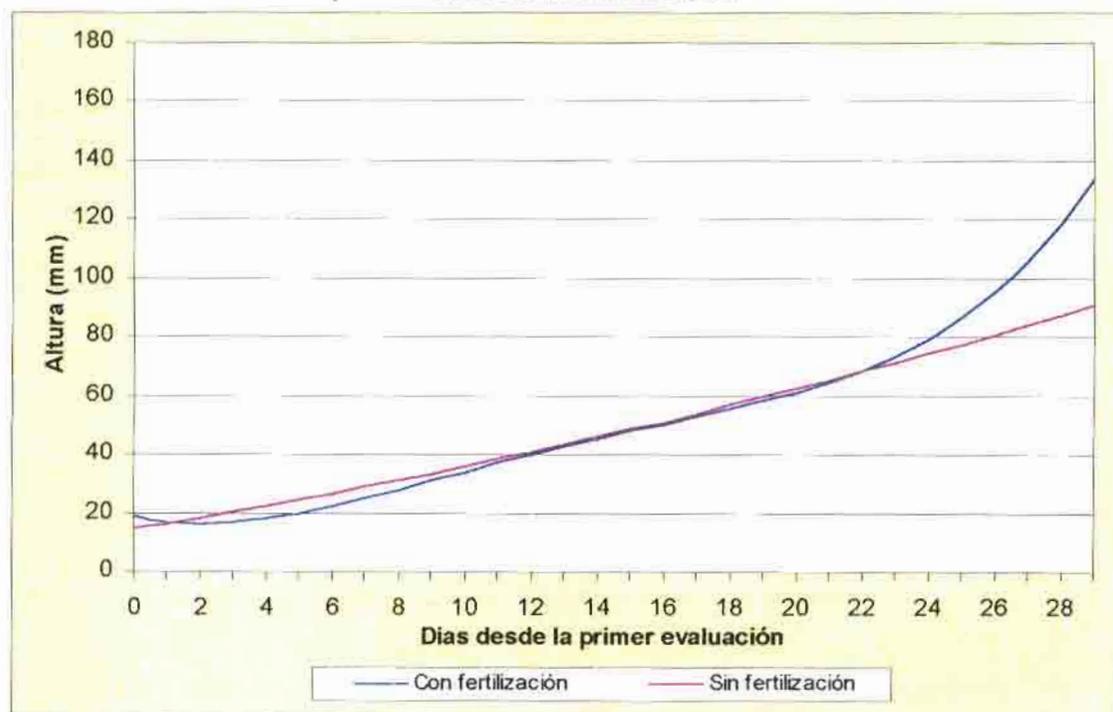
Sustrato con arroz.

En este caso **Altura 20** representa la evolución de la altura del plantin en el sustrato con **Arroz y sin** fertilización complementaria, mientras que **Altura 21** representa la evolución de la altura del plantin en el sustrato con **Arroz y con** fertilización complementaria. Los modelos estimados fueron:

$$Altura_{20} = 14.625543 + 1.876891X + 0.025834X^2$$

$$Altura_{21} = 19.209614 - 2.796865X + 0.789999X^2 - 0.045143X^3 + 0.000894X^4$$

Gráfico N° 4.23.
Evolución de la altura del plantin en el sustrato con arroz.



En lo que respecta a este tratamiento, el comportamiento general (gráfico N° 4.23.) es similar al ocurrido en el sustrato con arena. La diferencia más notoria, se relaciona con el comportamiento en el experimento sin fertilización, donde la velocidad de crecimiento tiene una pendiente, que sin serlo se asemeja a una constante del principio al final, por lo que podemos pensar que las restricciones al crecimiento no son del mismo tipo que en el sustrato con arena. El crecimiento en altura del experimento sin fertilización fue insatisfactorio y al momento del trasplante se obtuvieron plantas muy pequeñas para llevar al campo al igual que en el sustrato con Arena (anexo 3 y 4). Cuando se fertilizó, este efecto se noto a partir del día 20 que comenzó a aumentar la tasa de crecimiento y es en este periodo donde se manifiesta la diferencia en altura con respecto al otro experimento, esto esta muy relacionado con los fertirriegos (cuadro N° 4.28).

En relación con la explicación del comportamiento de los plantines en este sustrato, son validas las referencias hechas sobre los mecanismos de c.i.c., c.i.a. con relación al fósforo y nitrógeno y al contenido de materia orgánica, oportunamente hechas para el sustrato con arena. El sustrato con arroz por los resultados obtenidos en el cuadro 4.1., presentó un alto contenido de nutrientes, con mayor contenido de calcio que la arena, un pH de 7.1 y un alto contenido de materia orgánica. El mayor contenido en calcio junto con el valor de pH, permiten una mayor retención del fósforo, como fosfatos insolubles de calcio que en el sustrato con arena, y se evita así su rápida lixiviación. La mayor parte de la materia orgánica que compone este sustrato, no participa activamente en la c.i.c. por ser un material de granulometría gruesa (cascara de arroz) con poca superficie específica donde retener los cationes, y a pesar de presentar gran cantidad de nutrientes liberados luego de la carbonización, estos rápidamente se lixivian. La materia

orgánica de este origen tampoco desempeña una actividad tampón como reserva y suministro de nutrientes en el tiempo.

Con respecto a las propiedades físicas, el sustrato con arroz se aparta de ese ideal ya citado al analizar el sustrato con arena. En el arroz (cuadro N° 4.2.) la porosidad que contiene aire es muy alta, más de la mitad del volumen esta ocupado por aire (51.14%), y la retención de agua asimilable es muy baja, (apenas un 19.25% en volumen). Todas estas condiciones favorecen la lixiviación de los nutrientes. Como en el caso del ensayo de germinación donde indirectamente se evaluó el contenido de nutrientes del sustrato a medida que pasaban los riegos con la medida de la conductividad eléctrica, en el cuadro N° 4.17, y en el gráfico N° 4.12, se puede observar como en el sustrato con arroz, la gran cantidad de nutrientes (liberados probablemente luego de la carbonización) rápidamente se lixiviaron. Es de suponer que algo similar ocurra en el ensayo de crecimiento.

Como en todos los sustratos normalmente se aplica un riego abundante diario, y la cantidad de nutrientes repuestos a la solución por el medio sólido esta en función del equilibrio que logre el medio sólido (que apenas es un 1.48% en volumen) con la poca solución retenida por el medio. Estas condiciones (poca capacidad de reserva de nutrientes y momentos del día con escaso contenido de agua seguido de un riego lixiviante) dificultan el intercambio de nutrientes hacia la fase líquida donde esta disponible para los plántines.

Todas estas condiciones adversas desde el comienzo de las evaluaciones (seis días después del repique), explican el crecimiento en altura restringido descrito por los plántines para este sustrato, donde se observaron síntomas de deficiencia de fósforo y nitrógeno (ensayo sin fertilización), y cuando se fertilizó si bien no aparecen síntomas de deficiencia, el crecimiento en altura esta muy relacionado a las fertilizaciones principalmente con nitrógeno (cuadro N° 4.28.)

Sustrato con orujo.

En este caso **Altura 30** representa la evolución de la altura del plantín en el sustrato con **Orujo** y **sin** fertilización complementaria, mientras que **Altura 31** representa la evolución de la altura del plantín en el sustrato con **Orujo** y **con** fertilización complementaria. Los modelos ajustados fueron:

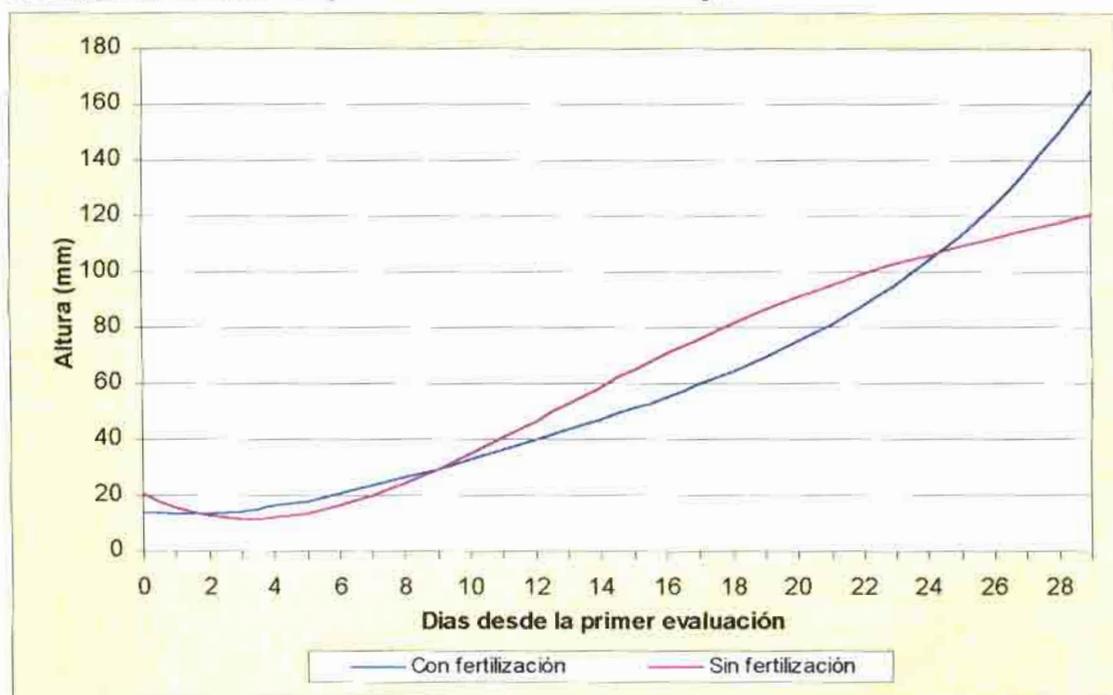
$$Altura30 = 20.674878 - 5.909504X + 1.103143X^2 - 0.042037X^3 + 0.000521X^4$$

$$Altura31 = 13.989511 - 1.049380X + 0.487647X^2 - 0.024811X^3 + 0.000533X^4$$

El crecimiento en altura en el sustrato con orujo se ilustra en el gráfico N° 4.24.. Se observa que la altura alcanzada al momento del trasplante en el experimento con fertilización fue mayor que en el otro experimento. También se ve que cuando se fertilizó la tasa de crecimiento aumentó en el último tercio del periodo considerado (coincidiendo con las

fertilizaciones nitrogenadas que se hicieron algo tardías en el ciclo), contrariamente cuando no se fertilizó la tasa de crecimiento disminuyó en el último tercio del periodo estudiado, y en la coloración del follaje se comenzaron a observar síntomas de deficiencia de nitrógeno (anexo 3 y 4). A pesar del menor crecimiento del experimento sin fertilizar, se obtuvieron plantines aptos para el trasplante.

Gráfico N° 4.24.
Evolución de la altura del plantin en el sustrato con orujo.



El sustrato con orujo según el cuadro N° 4.1. presentó al comienzo del ensayo altos contenidos de nutrientes, y en el cuadro N° 4.17 en el ensayo de germinación se observa como los nutrientes se fueron perdiendo con el riego, y a pesar de que al final del periodo evaluado era el sustrato que más nutrientes retenía fue el que más perdió mientras dura la evaluación. El contenido de materia orgánica es el más alto de todos los sustratos, junto con un pH adecuado hacen suponer una alta c.i.c.. En la materia orgánica se observa un gran número de semillas de las uvas, que por su naturaleza no aportan nada a la c.i.c. por lo que se puede concluir que la c.i.c. si bien es importante no es tan alta como la que se desprende de los análisis químicos, todo esto se refleja en el comportamiento del ensayo sin fertilizar donde aparecen síntomas de deficiencia de nitrógeno (cuadro N° 4.28).

El sustrato con orujo presentó buenas condiciones físicas (cuadro N° 4.2.) similares al rango ideal de propiedades físicas mencionado por Abad (en la pagina 57), y solo en el ensayo sin fertilización se observaron deficiencias de nitrógeno al final del ciclo que afectaron el crecimiento (cuadro N° 4.28.), que en el experimento con fertilización coincidió con el momento que se aplicaron los fertirriegos con Aminon Solo y se manifestó con un aumento en la tasa de

crecimiento de los plantines al final del ciclo. A pesar de que los plantines en el ensayo con fertilización al momento del trasplante tenían un mayor tamaño, que los mismos cuando no se fertilizó, en ambos ensayos se obtuvieron plantines aptos para el trasplante.

Sustrato con turba.

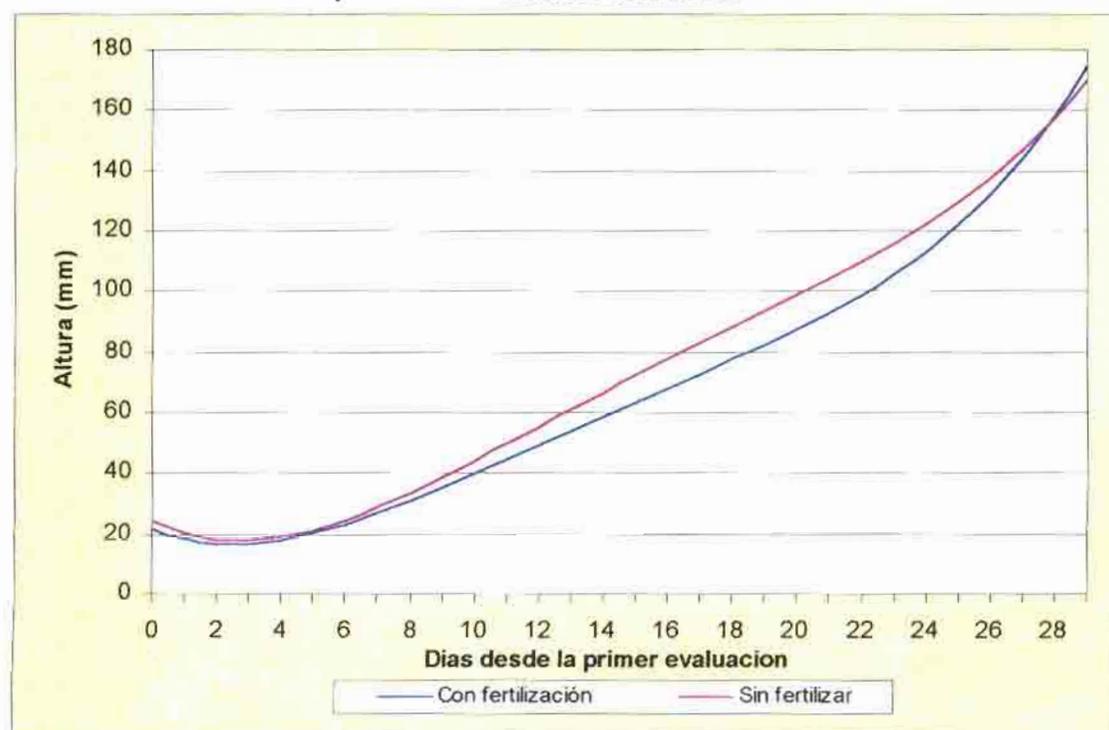
En este caso **Altura 40** representa la evolución de la altura del plantin en el sustrato con **Turba** y **sin** fertilización complementaria, mientras que **Altura 41** representa la evolución de la altura del plantin en el sustrato con **Turba** y **con** fertilización complementaria. Los modelos ajustados fueron:

$$\text{Altura40} = 24.134172 - 5.108284X + 1.153399X^2 - 0.052944X^3 + 0.000869X^4$$

$$\text{Altura41} = 21.617701 - 4.284936X + 1.033468X^2 - 0.051506X^3 + 0.000939X^4$$

Gráfico N° 4.25.

Evolución de la altura del plantin en el sustrato con turba.



En este gráfico (N° 4.25.) el crecimiento en altura tuvo una curva con una forma muy similar entre el experimento con y sin fertilización, y sobre el final del periodo considerado en el

experimento con fertilización aumento la velocidad de crecimiento al influjo del nitrógeno agregado (cuadro N° 4.28.).

En el tratamiento con turba y sin fertilización se obtuvieron plantines con un buen desarrollo a pesar de que sobre el final del ciclo comenzaron a tener una coloración verde clara, síntoma de deficiencia de nitrógeno, que no se reflejó en el crecimiento en altura al final del ciclo. En el ensayo sin fertilización el sustrato con turba es el unico que aumento su tasa de crecimiento en altura en el ultimo tercio. Cuando se fertilizó en todos los sustratos la tasa de crecimiento al final del período fue más alta.

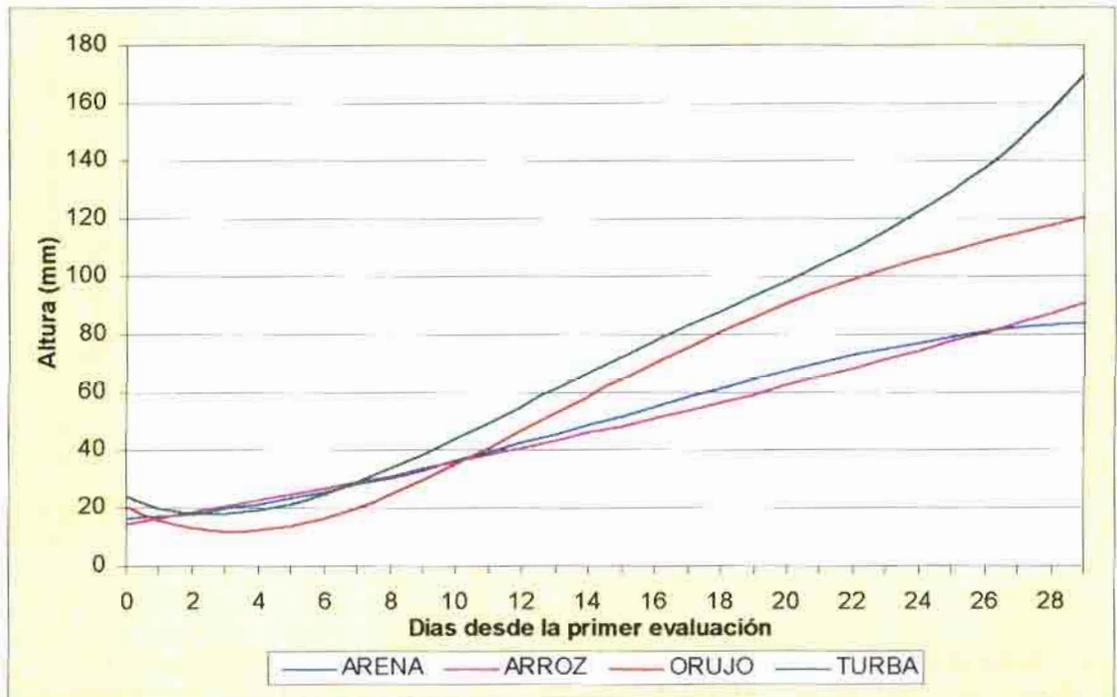
El sustrato con turba es el que presento buenas propiedades físicas y químicas (cuadros N°4.1. y N° 4.2.), por su contenido y origen de la materia orgánica, presenta una importante c.i.c. y también importante reserva de nutrientes, que le permitió obtener plantines de un tamaño similar a cuando se fertilizó.

Consideraciones sobre el crecimiento en altura de los plantines en cada experimento.

El grafico N° 4.26., describe el comportamiento del crecimiento en altura de los plantines, para todos los tratamientos en el experimento sin fertilización.

Gráfico N° 4.26.

Evolución comparada de la altura de los plantines de tomate en los sustratos sin fertilizar.



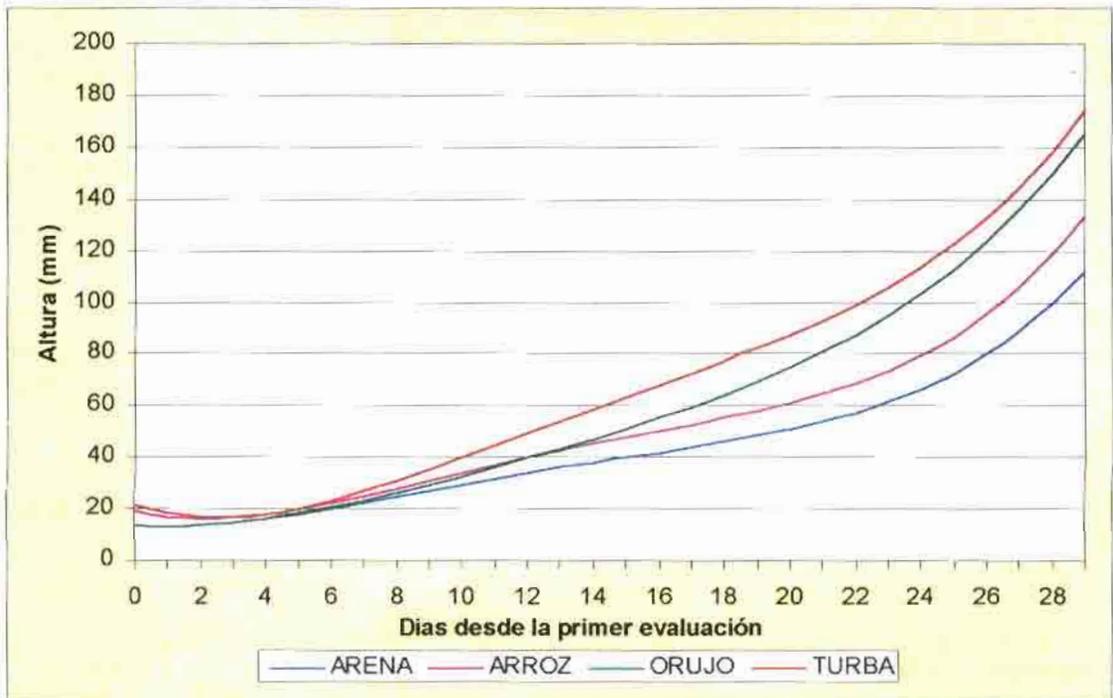
Los sustratos con arroz y con arena se comportan de manera similar, fueron los sustratos que mostraron las mayores restricciones al crecimiento, y éstas comenzaron más temprano en el ciclo de crecimiento, siendo las alturas finales las menores. (anexo N°3 y N° 4)

Si observamos los anexos N° 3 y 4 referidos a los sustratos con arroz y con arena se puede ver que los plantines en el experimento sin fertilización, mostraron ser pequeños en altura, con poco desarrollo del tamaño de las hojas, y se observaron coloraciones que indicaban deficiencias de nutrientes (claramente deficientes en nitrógeno y fósforo), comparados con el experimento con fertilización.

Los sustratos con orujo y con turba en el ensayo sin fertilizar, presentaron curvas de igual forma en el inicio. Sin embargo, en el último tercio del período la respuesta en la altura se hace diferencial para ambos sustratos. En el sustrato con orujo disminuye la tasa de crecimiento y los plantines presentaron colores verde pálidos, típico de deficiencia de nitrógeno. En el sustrato con turba, la tasa de crecimiento se incrementa y los colores verde pálidos solo aparecen los últimos cinco días del ensayo y no se reflejan en la tasa de crecimiento.

Gráfico N° 4.27.

Evolución comparada de la altura del plantin en los sustratos con fertilización.



En el gráfico N° 4.27. que describe la evolución de la altura de los plantines de tomate en el experimento con fertilización, se observa que las formas que describen las curvas son similares entre sí. Considerando el último tercio del periodo las alturas fueron en todos los

casos mayores, las tasas de crecimiento se incrementaron en este periodo y las diferencias entre los tratamientos fueron menores que en el otro experimento.

4.6.3. Evolución del número de hojas de los plantines.

Previo al experimento y según la bibliografía consultada se optó por evaluar el número de hojas de los plantines como un parámetro para evaluar los sustratos. Este parámetro no arroja diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo se pudo observar que aunque no se midió, sí existieron diferencias en el tamaño de las hojas (área foliar) (anexo N° 4) y en la coloración de las mismas, con diferentes tonos de verde entre los ensayos con y sin fertilización, esto se comenzó a notar en el último tercio del ensayo (anexo N° 3). Si se considera los ensayos con y sin fertilización por separado, en referencia al tamaño de las hojas (área foliar), prácticamente no se notaron diferencias en el experimento con fertilización, y fueron importantes en el experimento sin fertilización (anexo N° 4). Con relación a la coloración de las hojas, en el ensayo con fertilización no se apreciaron diferencias; contrariamente en el ensayo sin fertilización, las diferencias fueron notorias entre los tratamientos. Ya en la mitad del ciclo se comenzó a notar una coloración verde más clara en los sustratos con arena y arroz, notándose en el sustrato con arena coloraciones violáceas en el envés de las hojas y en el tallo. Cuando se cumplían dos terceras partes del ciclo, el sustrato con turba era el que tenía una coloración verde más oscura, en el sustrato con arroz se comienza a notar coloraciones violáceas en el envés de las hojas, y el sustrato con orujo comenzó progresivamente a tomar coloraciones verdes claro. En el final del ciclo todos los tratamientos tienen coloraciones verdes claro, y se encuentran coloraciones violáceas en los sustratos con arena y arroz, siendo éstas más intensas y extensas en el primero de estos dos tratamientos. Las observaciones citadas en este capítulo, se reflejan en parte en los pesos secos y frescos de la parte aérea del próximo capítulo.

En futuros ensayos, y atendiendo a las observaciones precedentes, es recomendable utilizar algún método práctico que mida el área foliar, y utilizar alguna forma objetiva de evaluar los tonos de verde o las deficiencias y o excesos de nutrientes.

4.6.4. Peso seco y fresco de la raíz y la parte aérea al momento del trasplante en el experimento sin fertilización.

Analizando los resultados obtenidos en el experimento sin fertilizar y al momento del trasplante, se puede ver en el cuadro N° 4.18. que para el peso húmedo (o fresco) de la raíz, el comportamiento de este parámetro muestra que el sustrato con turba pesa más con diferencia estadística significativa respecto a la arena, que es la que pesa menos. Los sustratos con orujo y con arroz se comportaron de forma intermedia entre estos dos extremos mencionados, no presentando diferencias significativas entre sí. El sustrato con turba que es el que más pesa, no difiere significativamente con el peso del sustrato con orujo, pero sí son significativas las

diferencias al comparar la mezcla con turba con la que tiene arroz, y a la vez este último sustrato no presenta diferencias estadísticas significativas con el peso del sustrato con arena.

Por lo anteriormente analizado, se puede afirmar que para el peso húmedo de la raíz en el experimento sin fertilizar, se dan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, y que éstas son graduales, dándose desde el más pesado al más liviano, comenzando por el sustrato con turba siguiendo con el que tiene orujo, el que contiene arroz y por último el sustrato con arena.

Cuadro N° 4.18.

Peso húmedo de la raíz al momento del trasplante en el experimento sin fertilización.

Sustrato	Peso medio (g).	Nivel de significación	
Con Turba	1.2768	A	
Con Orujo	1.0663	A	B
Con Arroz	0.8437	B C	
Con Arena	0.7072	C	

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) C.V.= 18.66%

Para el caso del peso húmedo (o fresco) de la parte aérea la tendencia es igual a la del peso fresco de la raíz, pero las diferencias son más marcadas, pudiéndose agrupar los sustratos en tres niveles que estadísticamente tienen diferencias significativas para el contraste elegido (cuadro N° 4.19.). En el nivel de más peso, están los plantines que crecieron en el sustrato con turba, en el siguiente nivel el sustrato con orujo, y por último, los sustratos con arroz y arena como los que registran menos peso para sus respectivos plantines, y no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí.

Cuadro N° 4.19.

Peso húmedo de la parte aérea al momento del trasplante en el experimento sin fertilización.

Sustrato	Peso medio (g).	Nivel de significación	
Con Turba	3.5583	A	
Con Orujo	2.2532	B	
Con Arroz	1.4057	C	
Con Arena	1.3175	C	

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) C.V.= 19.98%

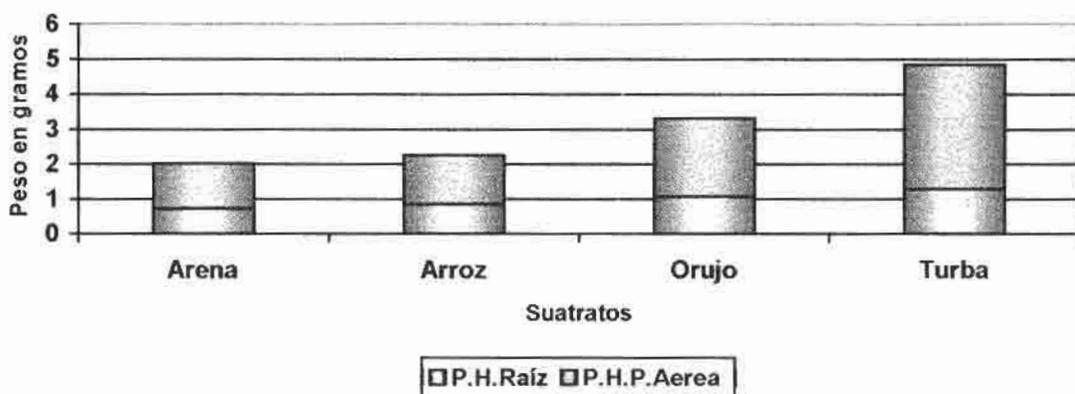
El peso fresco de la raíz en todos los tratamientos es menor que el peso fresco de la parte aérea. En el cuadro N° 4.22. en fondo gris, se presentan para el ensayo sin fertilización el aporte de los pesos frescos de la raíz y de la parte aérea al peso fresco total. Se destaca que sobre la turba donde los plantines pesaron más, el peso fresco de la parte aérea es casi de 3 a 1 (73.59%) con relación al mismo peso de la raíz. Sobre los sustratos donde el peso fresco de los plantines es menor, léase arena y arroz la misma proporción es casi de 2 a 1 (arena 65.17% y arroz 62.49%) el orujo tiene un comportamiento intermedio entre los casos mencionados.

Sobre la base de lo que se ha analizado hasta aquí, se puede inferir, que si bien se registran diferencias entre los tratamientos con respecto al peso fresco (húmedo) de la raíz, el aporte mayoritario a las diferencias registradas de peso fresco totales, son atribuibles al peso fresco (húmedo) de la parte aérea.

Considerando el peso fresco (húmedo) total del plantín, el sustrato con turba manifiesta el mayor peso, los tratamientos con arroz y arena son los que muestran menos peso, y en forma intermedia se comportan los plantines que crecieron en el sustrato con orujo (gráfico N° 4.28.).

Gráfica N° 4.28.

Peso húmedo de la raíz (P.H.Raiz) y la parte aérea (P.H.P.Aerea) al momento del trasplante, en el experimento sin fertilización.



En relación con el peso seco de la raíz al momento del trasplante, se observa (cuadro N° 4.20.) que en los sustratos con turba y con orujo se registra un peso mayor que los otros dos sustratos, pero estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre los cuatro tratamientos.

Cuadro N° 4.20.

Peso seco de la raíz al momento del trasplante en el experimento sin fertilización.

Sustrato	Peso medio (g).	Nivel de significación
Con Orujo	0.09217	A
Con Turba	0.09167	A
Con Arroz	0.06650	A
Con Arena	0.06133	A

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) C.V.= 27.03%

En el peso seco de la parte aérea (cuadro N° 4.21.), a diferencia del de la raíz presentan diferencias según el sustrato. El peso correspondiente a la turba es el mayor, y difiere estadísticamente respecto a los otros sustratos. Los pesos con arena y con arroz son los

menores, sin diferencias significativas entre sí y el sustrato con orujo se comporto de forma intermedia.

Cuadro N° 4.21.

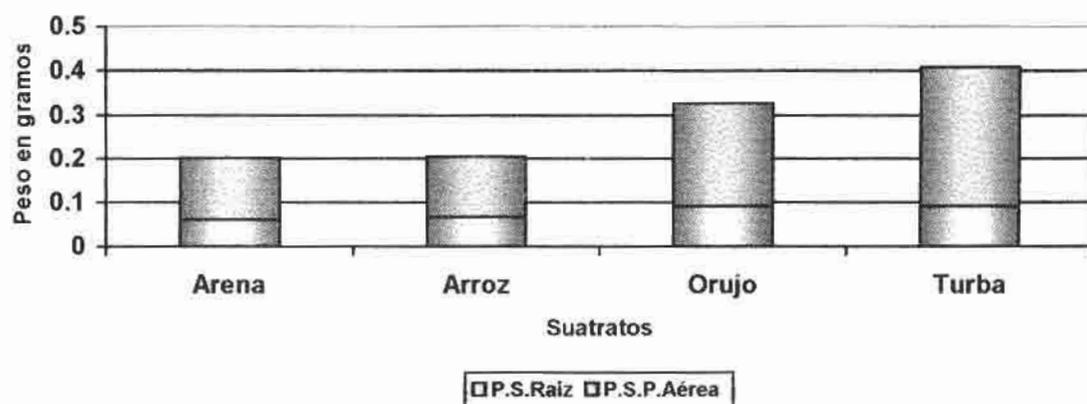
Peso seco de la parte aérea al momento del trasplante en el experimento sin fertilización.

Sustrato	Peso medio (g).	Nivel de significación
Con Turba	0.3162	A
Con Orujo	0.2342	B
Con Arena	0.1412	C
Con Arroz	0.1390	C

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) C.V.= 16.54%

Gráfica N° 4.29.

Peso seco de la raíz (P.S.Raíz) y la parte aérea (P.S.P.Aérea) al momento del trasplante en el experimento sin fertilización.



En el gráfico N° 4.29., se observa que las diferencias de peso seco total están dadas por los pesos en la parte aérea, marcando claramente los tres niveles de peso seco ya mencionado (turba con máximo peso, arroz y arena con mínimo peso, y orujo con un comportamiento intermedio). El peso seco de la raíz no presenta diferencias estadísticas *significativas en su comportamiento en este ensayo, por lo que no aporta a las diferencias en el peso total que se ilustran en el gráfico mencionado.*

En el cuadro N° 4.22. se presentan los pesos secos y frescos medios de la raíz y la parte aérea en los cuatro sustratos en el experimento sin fertilización. También se establecen proporciones entre los pesos frescos y secos de la parte aérea y la raíz y el porcentaje que estos pesos representan de los pesos secos y frescos totales del plantin. También se presenta el peso seco total del plantin (parte aérea + raíz), como porcentaje del peso total fresco.

En el mismo cuadro N° 4.22. en fondo gris, se presentan el aporte de los pesos secos de la raíz y de la parte aérea al peso seco total. Se destaca que sobre la turba donde los plantines pesaron más, el peso seco de la parte aérea es mayor de 3 a 1 (77.52%) con relación al mismo peso de la raíz. Sobre los sustratos donde el peso seco de los plantines es menor, léase arena y arroz la misma proporción es algo mayor de 2 a 1 (arena 69.76% y arroz 67.64%) el orujo tiene un comportamiento intermedio entre los casos mencionados

Cuadro N° 4.22.

Pesos promedio en gramos de la raíz y la parte aérea como peso seco y húmedo, y diferentes relaciones de los mismos. (experimento sin fertilización)

Pesos al momento del trasplante en g., % y proporción.	SUSTRATOS			
	Con Arena	Con Arroz	Con Orujo	Con Turba
Media PHR* (g)	0.7072	0.8437	1.0663	1.2768
Media PHA (g)	1.3175	1.4057	2.2532	3.5583
Media PSR (g)	0.0613	0.0665	0.0922	0.0917
Media PSA (g)	0.1412	0.1390	0.2342	0.3162
PHA / PHR	1.86	1.67	2.11	2.79
PSA / PSR	2.30	2.09	2.54	3.45
PST como % de PHT	10.00	9.14	9.83	8.44
PSR como % de PHR	8.67	7.88	8.65	7.18
PSA como % de PHA	10.72	9.89	10.39	8.89
PSR como % de PST	30.24	32.36	28.25	22.48
PSA como % de PST	69.76	67.64	71.75	77.52
PHR como % de PHT	34.83	37.51	32.12	26.41
PHA como % de PHT	65.17	62.49	67.88	73.59

*PHR Peso húmedo de raíz, PSR Peso seco de raíz, PHA Peso húmedo de la parte aérea, PSA Peso seco de la parte aérea, PHT Peso húmedo total, PST Peso seco total.

En el experimento sin fertilizar, el sustrato con turba es el que presenta un mayor peso absoluto fresco y seco, en la parte aérea y en la raíz de todos los sustratos, en proporción, sus tejidos tienen menor contenido de materia seca (cuadro N° 4.22.). Los sustratos con arena y arroz tienen pesos absolutos frescos y secos más bajos, lo que refleja su pequeño desarrollo (Anexo N° 4). Proporcionalmente los plantines que crecieron en el sustrato con arena tiene un menor contenido de agua.

Cuando se relacionan los crecimientos de la parte aérea y la raíz a través de sus pesos y se establece una proporción peso aéreo / peso raíz, se encuentra que para los cuatro sustratos la relación crece al pasar del arroz a la arena, y de éste al sustrato con orujo siendo máximo en el sustrato con turba y esto se cumple tanto para el peso seco como el fresco. La mencionada relación es mayor para los pesos secos, lo que indica que los tejidos de la raíz tienen un mayor contenido de agua que la parte aérea (esto se observa en la sección de color del cuadro 4.22.)

4.6.5. Peso seco y fresco de la parte aérea y la raíz al momento del trasplante en el experimento con fertilización.

En este ensayo cuando se analiza el peso húmedo (fresco) de la raíz, se puede ordenar los resultados de los pesos en forma decreciente comenzando por el sustrato con turba, le sigue el orujo, arroz y la arena (cuadro N° 4.23.). Desde el punto de vista del análisis estadístico, el peso medio del tratamiento con turba es el único que presenta diferencias significativas para el nivel contrastado, y por tanto es lo único que se puede afirmar que realmente se diferencia del resto de los tratamientos, pesando más que los demás.

Cuadro N° 4.23.

Peso húmedo de la raíz al momento del trasplante en el experimento con fertilización.

Sustrato	Peso medio (g).	Nivel de significación
Con Turba	0.8422	A
Con Orujo	0.7080	B
Con Arroz	0.6792	B
Con Arena	0.5925	B

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) C.V.= 11.08%

Los resultados obtenidos con los pesos frescos medios de la parte aérea al momento del trasplante, demuestran que se han encontrado diferencias que pueden ser atribuidas a los distintos tratamientos aplicados (cuadro N° 4.24.).

Claramente el sustrato con arena es el que menos pesa, y el que tiene arroz pesa más que el que tenía arena y menos que el sustrato que contiene turba, este último es el que obtuvo el mayor peso del ensayo. El peso medio del sustrato con orujo, al ser contrastado con los pesos medios de los sustratos que tienen turba y arroz, resulta que no existen diferencias significativas con los sustratos mencionados que puedan ser atribuibles a los tratamientos, por lo que podemos considerar que el orujo tiene un comportamiento intermedio entre los sustratos con arroz y con turba (cuadro N° 4.24.).

Cuadro N° 4.24.

Peso húmedo de la parte aérea al momento del trasplante en el experimento con fertilización.

Sustrato	Peso medio (g).	Nivel de significación
Con Turba	4.2405	A
Con Orujo	3.7228	A B
Con Arroz	3.1188	B
Con Arena	2.3440	C

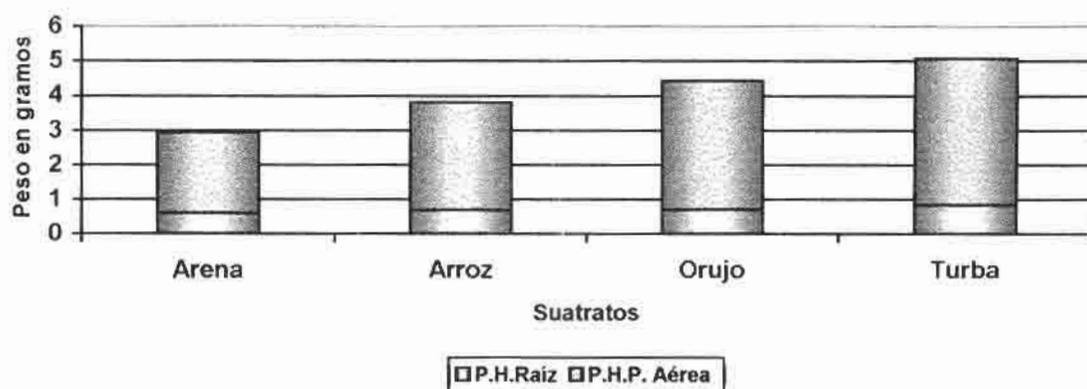
Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) C.V.= 10.90%

En el gráfico N° 4.30., se visualiza que cuando se fertilizó los pesos frescos de la parte aérea son quienes más aportan a las diferencias de los pesos totales frescos, (húmedos) y

éstos también tienen una mayor proporción con respecto a las raíces que los mismos pesos frescos del experimento sin fertilización (gráfico N° 4.28. y sección gris de los cuadros N° 4.22. y N° 4.27.) Para los pesos frescos de la raíz, la diferencia se observa en el sustrato con turba, que aparece con un peso mayor que el resto. El peso total (raíz mas parte aérea) en principio sigue la misma tendencia que la parte aérea y mirando el gráfico N° 4.30 se observa que todos los sustratos acentúan sus diferencias (al sumar diferencias de la raíz y de la parte aérea) y su representación es nitidamente escalonada.

Gráfico N° 4.30.

Peso húmedo de la raíz (P.H.Raíz) y de la parte aérea (P.H.P.Aérea) al momento del trasplante en el experimento con fertilización.



Los resultados de los pesos secos de la raíz con fertilización (cuadro N° 4.25.), muestran que el orujo presenta diferencias estadísticas significativas con la arena, que es la que produce el menor peso. En una situación intermedia están los sustratos con arroz y con turba, que sus pesos no mostraron diferencias significativas entre si, ni con el orujo, ni con la arena.

Cuadro N° 4.25.

Peso seco de la raíz al momento del trasplante en el experimento con fertilización.

Sustrato	Peso medio (g).	Nivel de significación	
Con Orujo	0.06450	A	
Con Arroz	0.05717	A	B
Con Turba	0.05633	A	B
Con Arena	0.04983		B

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) C.V.= 13.72%

En el cuadro N° 4.26. y para los pesos secos de la parte aérea, se observa que el resultado es el mismo que para el peso fresco de la parte aérea (cuadro N° 4.24.). El peso de la arena es el menor, con diferencia estadísticamente significativa respecto al resto de los tratamientos, la turba y el orujo registraron el mayor peso, sin diferencias estadísticas

significativas entre sí. El arroz se comportó en forma intermedia entre los dos casos anteriores, y no registró diferencias estadísticas significativas con el orujo.

Cuadro N° 4.26.

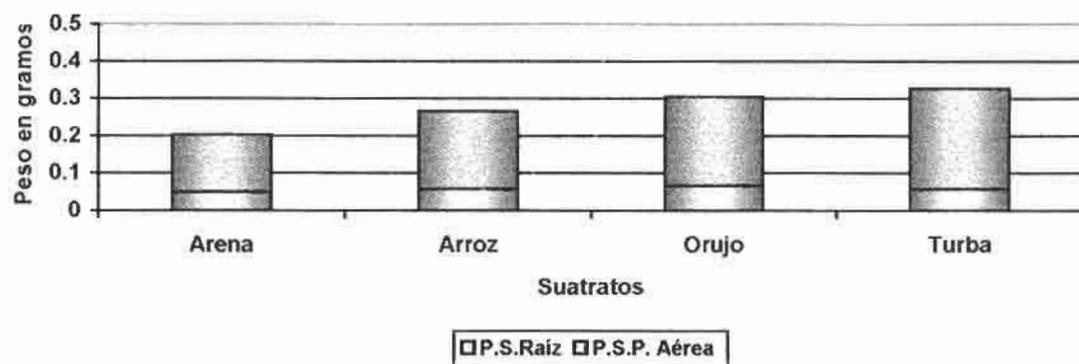
Peso seco de la parte aérea al momento del trasplante en el experimento con fertilización.

Sustrato	Peso medio (g).	Nivel de significación	
Con Turba	0.2723	A	
Con Orujo	0.2422	A	B
Con Arroz	0.2097		B
Con Arena	0.1522		C

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0.05$) C.V.= 9.95%

Gráfico N° 4.31.

Peso seco de la raíz (P.S.Raíz) y de la parte (P.S.P.Aérea) aérea al momento del trasplante en el experimento con fertilizante.



En el gráfico N° 4.31. se representan los pesos secos del experimento con fertilización. Al observar los pesos secos totales, se ve que se mantienen el comportamiento descrito en líneas generales para los pesos frescos (gráfico N° 4.30.), los puntos diferentes están dados en el sentido de que disminuyen las diferencias, y en especial las encontradas entre los tratamientos con orujo y turba. Este último punto se explica por el comportamiento del orujo cuyo peso seco de la raíz es mayor que el mismo peso en la turba, y del mayor aporte relativo del peso seco de las raíces al peso total, con respecto a lo que aportaban los pesos húmedos de las raíces (cuadro N° 4.26.y N° 4.27.)

Cuadro N° 4.27.

Pesos promedio en gramos de la raíz y la parte aérea como peso seco y húmedo, y diferentes relaciones de los mismos (experimento con fertilización).

Pesos al momento del trasplante en g., % y proporción	SUSTRATOS			
	Con Arena	Con Arroz	Con Orujo	Con Turba
Media PHR (g)	0.5925	0.6792	0.7080	0.8422
Media PHA (g)	2.3440	3.1188	3.7228	4.2405
Media PSR (g)	0.0498	0.0571	0.0645	0.0563
Media PSA (g)	0.1522	0.2097	0.2422	0.2723
PHA / PHR	3.96	4.59	5.26	5.04
PSA / PSR	3.06	3.67	3.76	4.84
PST como % de PHT	6.88	7.03	6.92	6.47
PSR como % de PHR	8.41	8.41	9.11	6.69
PSA como % de PHA	6.49	6.72	6.51	6.42
PSR como % de PST	24.65	22.24	21.03	17.13
PSA como % de PST	75.35	77.76	78.97	82.87
PHR como % de PHT	20.18	17.88	15.98	16.48
PHA como % de PHT	79.48	82.12	84.02	83.52

*PHR Peso húmedo de raíz, PSR Peso seco de raíz, PHA Peso húmedo de la parte aérea, PSA Peso seco de la parte aérea, PHT Peso húmedo total, PST Peso seco total.

Consideraciones generales sobre los experimentos relacionados al crecimiento y desarrollo de los plantines.

Si comparamos los pesos medios húmedos (frescos) y secos de los sustratos con y sin fertilización (cuadros N° 4.27. y 4.22.) se ve que los pesos medios secos y frescos de las raíces del experimento sin fertilización son mayores que los del otro experimento, y los pesos medios secos y frescos de la parte aérea del experimento sin fertilización son menores que en el otro experimento, con excepción de la turba cuyo peso seco es mayor cuando no se fertiliza. Y si comparamos los pesos totales de los plantines (suma de los antes mencionados), es el experimento con fertilización quien obtiene los mayores pesos. Por estas evidencias se puede concluir que la fertilización se tradujo en un aumento de crecimiento de la parte aérea y un mayor contenido de agua de los tejidos del plantín, el sistema radicular encuentra rápidamente los nutrientes y se desarrolla menos que cuando no se fertiliza. Para este último caso, las restricciones químicas inducen a un aumento en el crecimiento de la raíz, la planta dedica nutrientes y energía a explorar el medio antes de crecer en la parte aérea. En el sustrato con turba es el que menos restricciones químicas presenta solo apreciables por la coloración verde pálida de los últimos días del ciclo (anexo 3) y cuando no se fertiliza este sustrato no se afecta el crecimiento aéreo en forma apreciable.

De todo lo anteriormente analizado, se puede resaltar que el sustrato **con arena** es el que en todos los casos obtuvo los pesos frescos y secos menores.

El sustrato **con turba** siempre estuvo entre los mayores pesos en ambos experimentos, en la parte aérea, y la raíz.

Los pesos secos y frescos de los sustratos **con arroz y con orujo**, se comportan en forma intermedia entre los dos sustratos anteriores. El que tiene orujo, se acerca más al comportamiento del tratamiento con turba en ambos experimentos, dándose casos en los cuales no existieron diferencias significativas entre los tratamientos (principalmente cuando se fertilizó), mientras que en otras situaciones sí existieron estas diferencias (pesos de la parte aérea del experimento sin fertilizar y peso fresco de la raíz en el experimento con fertilización). En el caso del tratamiento **con arroz**, en el experimento sin fertilización, su comportamiento fue similar al sustrato con arena, y cuando se fertilizó el peso medio de los plantines que crecieron en el sustrato con arroz es significativamente mayor que con el sustrato con arena, y se aproximó al comportamiento del sustrato con orujo.

Tanto el peso seco como el fresco de **la parte aérea** y más aún este último, manifestaron en forma más marcada las diferentes condiciones para el crecimiento que proporcionaban los sustratos. Contrariamente en los pesos **de la raíz** las diferencias fueron más atenuadas.

En el experimento sin fertilización, es donde se manifestaron las propiedades físico - químicas de los sustratos, y esto se refleja a través del comportamiento de los plantines de tomate que manifestó las máximas diferencias.

En el experimento con fertilización, se manifestaron principalmente las propiedades físicas de los sustratos, y las diferencias en el comportamiento de los pesos de los plantines no se manifestaron o fueron más atenuadas que en el otro experimento.

Los resultados demuestran que los procesos de crecimiento en longitud del tallo, al igual que los pesos frescos y secos de la parte aérea, (que refleja en parte el área foliar de los plantines) son muy sensibles a las condiciones del medio. El diámetro del tallo de los plantines no refleja con sensibilidad las diferentes condiciones de cada sustrato y de los dos ensayos. El peso seco y fresco de la raíz a pesar de reflejar las condiciones de los diferentes medios y ensayos, refleja con poca sensibilidad dichas condiciones, y esto quizás responda al limitado y pequeño espacio que tienen para crecer.

En el experimento con fertilización, donde se levantan muchas de las deficiencias químicas, los plantines destinan energía y sustancias nutritivas en el crecimiento y desarrollo de los meristemas situados en la punta del tallo y en las hojas, lo que permite desarrollar un área foliar más adecuada, esto se refleja en los pesos de la parte aérea. Todo esto en detrimento de la velocidad de crecimiento de la raíz (ya que ésta encuentra los elementos nutritivos más fácilmente).

Los plantines que crecieron en el sustrato con orujo y sin fertilización llegaron a un crecimiento en general casi satisfactorio, mostrando coloraciones verde pálido, síntoma de deficiencias de nitrógeno sobre el final del ciclo (anexos N° 3 y 4). En el mismo sustrato con fertilización el crecimiento es satisfactorio obteniéndose plantines de buen desarrollo.

Según los análisis químicos, el sustrato con arroz posee altos niveles de nutrientes y alto contenido de materia orgánica, pero con una microporosidad muy reducida que repercute en una C.I.C. baja. Por todo esto se puede pensar que hay dos causas que generan las deficiencias: 1º) Un rápido lixiviado de los nutrientes por la alta infiltración y poca retención de agua del sustrato 2º) Una menor disponibilidad relativa de agua, que a la vez disminuirá la disponibilidad de nutrientes para la planta.

En todos los sustratos cuando se compara los experimentos con y sin fertilización se observa que en el experimento con fertilización los sustratos siempre obtuvieron una altura final de plantin mayor que el mismo sustrato sin fertilización. Las diferencias son importantes en los sustratos con orujo, arena y arroz, que son los sustratos que manifestaron mayores restricciones en el crecimiento cuando no se fertilizó, y es mínima en el sustrato con turba que es el sustrato que creció bien cuando no se fertilizó.

La aplicación de una fertilización complementaria a los plantines que crecían en los diferentes sustratos tenía el objetivo de lograr que se eliminaran las restricciones relacionadas con las propiedades químicas, y se manifestaran únicamente las diferencias correspondientes a las propiedades físicas de los sustratos.

La capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) como se desarrollo en el capítulo 2 es una propiedad química estrechamente relacionada con propiedades físicas (granulomería, microporosidad, superficie específica) del sustrato. Con la fertilización complementaria aplicada (al no ser un fertirriego con frecuencia diaria), no se saldó totalmente las deficiencias que afectaron el crecimiento de los plantines, y que eran causadas por la C.I.C. y anionica baja que particularmente se presento en el sustrato con arena.

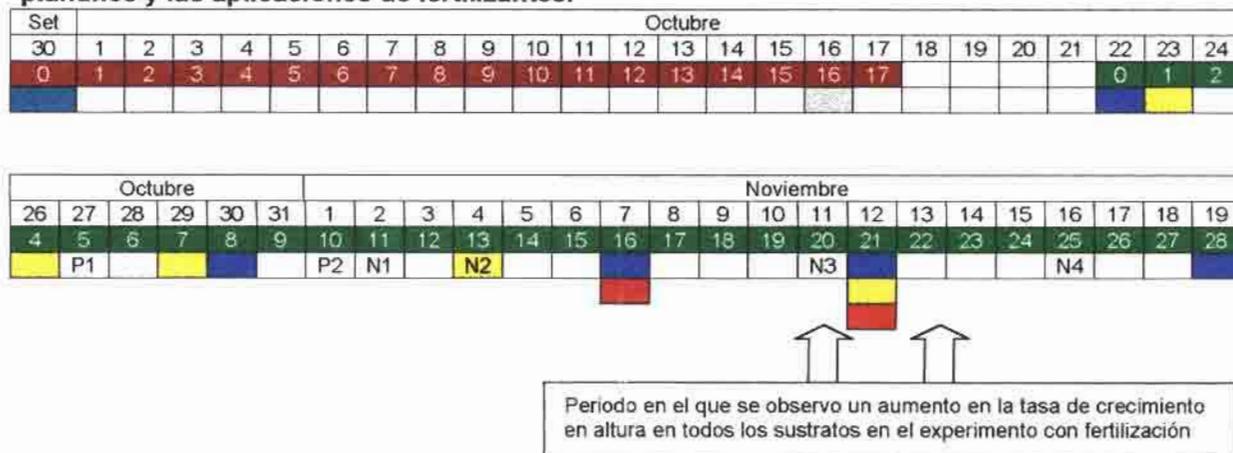
En principio por no poseer ni los medios, ni la capacidad de control de los cambios que se podrían provocar con una fertirrigación, sobre el pH y salinidad de los sustratos, o la toxicidad sobre los plantines por la forma de aplicación, se opto por la aplicación vía foliar de fertilizantes completos (tipo N – P – K – Ca – Mg + micronutrientes). Ante la posibilidad de que los altos requerimientos de nitrógeno de los plantines no fueran satisfechos por la fertilización foliar, y ya comenzado el ensayo, se decidió aplicar un fertilizante de tipo orgánico que no afecta la conductividad o el pH de los sustratos, que aporta fundamentalmente nitrógeno, y es de uso común entre los productores hortícolas que trabajan con plantines (teniendo la precaución de "lavar" con agua las hojas de los plantines inmediatamente luego de aplicar el fertirriego).

Por todo lo anteriormente mencionado se puede afirmar que las diferencias encontradas sobre los plantines en el experimento sin fertilización son debidas a las condiciones físicas y químicas que cada sustrato le brindó a los plantines de tomate. Por otro lado en el experimento con fertilización no todas las diferencias pueden ser atribuibles a las diferentes condiciones físicas de los sustratos, ya que como se aplicó el fertirriego no fue el método más adecuado para complementar un sustrato con baja c.i.c. y aniónica, y siendo el sustrato con arena el que presentó una c.i.c. pequeña, combinada con restricciones físicas como poca aireación, poca porosidad, y un alto contenido de materia solida (la mayor parte inerte), y el sustrato con arroz presentó una baja c.i.c., poca retención de agua disponible y más de la mitad del volumen

ocupado por aire. El sustrato con orujo, presentó una c.i.c. mayor que los otros sustratos y solo al final del ciclo cuando no se fertilizó se detectaron deficiencias de nitrógeno. El sustrato con turba no presentó restricciones al crecimiento.

Cuadro N° 4.28.

Esquema de los ensayos que relaciona, los periodos evaluados con la edad de los plantines y las aplicaciones de fertilizantes.



Referencias

- P1 Momento que se observan los síntomas de las deficiencias de **fósforo** en el sustrato con **ARENA** (ensayo sin fertilizar)
- P2 Momento que se observan los síntomas de las deficiencias de **fósforo** en el sustrato con **ARROZ** (ensayo sin fertilizar)
- N1 Momento que se observan los síntomas de las deficiencias de **nitrógeno** en el sustrato con **ARENA** (ensayo sin fertilizar)
- N2 Momento que se observan los síntomas de las deficiencias de **nitrógeno** en el sustrato con **ARROZ** (ensayo sin fertilizar)
- N3 Momento que se observan los síntomas de las deficiencias de **nitrógeno** en el sustrato con **ORUJO** (ensayo sin fertilizar)
- N4 Momento que se observan los síntomas de las deficiencias de **nitrógeno** en el sustrato con **TURBA** (ensayo sin fertilizar)
- 23 Día del mes
- 23** Día correlativo desde la primer fecha evaluada en los ensayos de crecimiento.
- Aplicaciones foliares de Wuxal 5 y 2.
- Momento de repique en los ensayos de crecimiento
- Siembra de las semillas para todos los ensayos
- Evaluación de los pesos frescos de los plantines y acondicionamiento para su secado
- Evaluación de la altura, diámetro de tallo y número de hojas sobre los plantines.
- Días correlativos al período del ensayo de germinación - emergencia
- Aplicaciones de Aminon Solo con el riego.

En el cuadro N° 4.28. se presenta un resumen de todo el experimento en general, mostrándose los momentos que se observaron las diferencias en el ensayo sin fertilización, los

momentos que se fertilizó y que tipo de fertilización se aplicó en el ensayo con fertilizante, todo esto se relaciona con la edad de los plántines, momentos de siembra, repique y evaluaciones realizadas sobre los plántines y el momento de las respuestas en el crecimiento en altura de los plántines en el ensayo con fertilización.

4.7. OBSERVACIONES SOBRE EL ESTADO SANITARIO Y FISIOLÓGICO DE LOS PLANTINES.

En lo referente al estado sanitario de los plántines, se puede afirmar que no hubo mayores problemas. La enfermedad conocida como mal de los almácigos o damping off, causada por hongos del tipo *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Verticillium*, no se observaron en los ensayos. Para el resto de las enfermedades causadas por organismos bióticos, se aplicaron tratamientos preventivos, y durante el tiempo que duró la evaluación no se observaron síntomas.

No se detectó el ataque de plagas, ni la presencia de malezas en el periodo considerado, y en todos los tratamientos. La excepción a lo anterior lo dio el tratamiento de la mezcla con turba, donde se encontró cúscuta que es una planta parásita que se alimenta del tomate, entre otras especies vegetales. Se contabilizaron a los 40 días del experimento, tres plantas de tomates afectadas por cúscuta de entre un total de más de 1600 plantas.

La presencia de esta planta parásita, pondría restricciones al uso de la turba como ingrediente de una mezcla de un sustrato, esto hace necesario emplear algún método de desinfección efectivo, lo que encarece su costo y hace más engorroso su manejo.

En el ensayo de germinación, se observó en los sustratos con cáscara de arroz carbonizada, una mayor incidencia de la permanencia de los tegumentos que recubren a la semilla sobre el plántin emergido, provocando daños mecánicos en los cotiledones, cortes, pérdidas de parte o todo un cotiledón, con la consecuencia de la pérdida de sustancias de reserva y promotores del crecimiento y desarrollo del plántin. Este fenómeno se explica a través de la densidad aparente de este sustrato (0.47 g/cm^3), que es muy liviano y la raíz rápidamente empuja a los cotiledones aun dentro del tegumento sin tener una resistencia que le permita a los cotiledones salir de los tegumentos antes de emerger. Al permanecer parte de los cotiledones dentro de los tegumentos de la semilla, disminuye el área que efectivamente puede comenzar a fotosintetizar, y alarga el periodo de transición hacia un autotrofismo total. La presencia de estos tegumentos, crea un microclima que predispone al plántin al ataque de enfermedades, principalmente hongos o bacterias, que es un hecho más común de lo que se cree en la producción de plántines. Sin embargo en este ensayo no se observó la presencia de enfermedades. Como hipótesis de manejo de este material sería aconsejable aumentar la profundidad de siembra para disminuir la frecuencia de aparición de este fenómeno.

5. CONCLUSIONES.

- Es posible obtener plantines de buena calidad, con buenas características agronómicas, utilizando mezclas de materiales que están disponibles en la región, prescindiendo del uso de suelos minerales. Para ello es importante ajustar el manejo del sistema de producción de plantines a las características físico-químicas de los sustratos.
- Se puede obtener un muy buen porcentaje de germinación – emergencia en todos los sustratos.
- El contenido salino de los sustratos afectó la tasa de emergencia, en el sustrato con orujo que mantiene por más tiempo las condiciones salinas, la tasa de emergencia es baja, en los otros sustratos, donde la salinidad se removió más rápidamente, la tasa de emergencia es alta.
- El sustrato con mejores condiciones físico-químicas (ensayo sin fertilización) es el que contiene turba en su composición, el sustrato con orujo a pesar de presentar plantines de calidad aceptables para el trasplante, los mismos manifiestan deficiencias de nitrógeno que afectan su crecimiento. Esto coincide con los análisis de laboratorio donde el sustrato con turba presentó las mejores propiedades físicas, la mayor capacidad de intercambio catiónico, y un contenido inicial alto de nutrientes. Mientras que el sustrato con orujo, y según los análisis de laboratorio el agua disponible y la capacidad de intercambio catiónica eran menores que el sustrato con turba.
- En el ensayo sin fertilización, sobre los sustratos con arena y con arroz no se obtuvieron plantin de calidad que fueran aptos para el trasplante, y según los resultados de los análisis de laboratorio presentaban las peores condiciones físico-químicas.
- Cuando se fertilizó en todos los sustratos, si bien se mantuvo la tendencia del ensayo sin fertilización, las diferencias de comportamiento disminuyeron y se obtuvieron plantines aptos para el trasplante en los cuatro sustratos.

- Para las condiciones en las que se desarrollo este experimento, los parámetros evaluados que mejor reflejaron los ambientes de los sustratos para el crecimiento de los plantines fueron pesos frescos y secos de la parte aérea, y la altura de los plantines. El número de hojas y el diámetro del tallo no fueron sensibles a las diferentes condiciones de los sustratos, y los pesos secos y frescos de la raíz, por tener un desarrollo limitado en el contenedor (un volumen de alvéolo de 55 ml), tampoco se manifestaron sensible a los diferentes ambientes de los sustratos.

6. RESUMEN.

El presente trabajo se desarrolló en el Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. En el mismo se evaluó agronómicamente la producción de plantines de tomate del híbrido Luxor en cuatro sustratos y en dos condiciones experimentales diferentes (con y sin fertilización). Los sustratos estaban formados por materiales que se encontraban fácilmente disponibles en la región (en cantidad, con uniformidad de suministro, y a bajo costo), y prescindiendo del uso del suelo. Los sustratos evaluados fueron el resultado de la mezcla en volumen de una tercera parte de un vermicompost de estiércol de aves, con dos terceras partes de turba, ó de arena de cantera, ó cáscara carbonizada de arroz, ó un compostado de orujo. Paralelamente se montó un ensayo de germinación – emergencia para cada sustrato.

El desarrollo de los plantines se evaluó a través de la altura, el número de hojas, el diámetro del cuello del tallo y los pesos seco y fresco de la raíz y la parte aérea, al momento del trasplante. Las condiciones para la emergencia de los sustratos se evaluaron contando el número de plantines emergidos diariamente. Los sustratos se caracterizaron mediante análisis físicos y químicos. Se monitoreo la salinidad de los sustratos y las temperaturas de los sustratos y del aire sobre las bandejas durante la germinación, y las máximas y mínimas temperaturas del aire. Se analizó el agua usada para riego y se hizo una prueba de germinación en laboratorio para las semillas.

En el ensayo de germinación se realizó el análisis de los datos obtenidos con el procedimiento G.L.M. del sistema SAS. En aquellos casos en que se rechazó la hipótesis nula del análisis de varianza se efectuaron pruebas Tukey de comparación de medias. Para los ensayos de crecimiento los resultados obtenidos se analizaron con el procedimiento G.L.M. del sistema SAS que permitió generar los coeficientes y el modelo matemático que mejor explica el comportamiento de las variables de crecimiento. Para el caso de los pesos secos y frescos que fueron una única medida y cuando se rechazó la hipótesis nula del análisis de varianza se efectuaron pruebas Tukey de comparación de medias.

Los resultados en el ensayo de germinación indican que en los cuatro sustratos el porcentaje de emergencia es alto, y en los sustratos con arena, con arroz y con turba se presenta una alta tasa de emergencia a pesar de que en algunos de ellos el contenido de sales al comienzo del ensayo era alto. En el sustrato con orujo, la tasa de emergencia es menor que en el resto de los sustratos, y la explicación de este comportamiento esta dada porque las condiciones salinas adversas a la germinación-emergencia se mantuvieron por más tiempo en este sustrato. En el ensayo de crecimiento cuando no se fertilizó, los plantines no logran un desarrollo satisfactorio en los sustratos con arena y con arroz, mientras que si es satisfactorio el crecimiento en el sustrato con turba, mientras que en el sustrato con orujo si bien el crecimiento es menor que en la turba, llega a tener un tamaño adecuado para el trasplante. En el ensayo de crecimiento cuando se fertilizó, disminuyen entre los sustratos las diferencias de crecimiento que se visualizan en los plantines, logrando un crecimiento satisfactorio que permite obtener plantines aptos para trasplantar.

7. BIBLIOGRAFIA.

1. ABAD, BERJON; Manuel.- 1995. Sustrato para el cultivo sin suelo. In El cultivo del tomate. Fernando Nuez. España. Mundi Prensa. pp 132 – 166.
2. AGUILA, Juan F.; ENLOW, Donald H. – 1993. Crecimiento Craneofacial, Ortodoncia y Ortopedia. 1ª edición. España. Aguiram S.L. 198 p.
3. ALDRIGHI, C. B.; DUARTE, C. B.; FERNANDES, H. S.; FORTES, D.; MARTINS, S. R. – 1999. Efeito do uso de vermicomposto de diferentes origens como substrato na producao de mudas de tomate, pimentao e beringela. In Encontro nacional sobre substrato para plantas. (1º, 22 al 24 de julho de 1999, Porto Alegre R S). UFRGS, SEBRAE, AFLORI.
4. ANDRÉ, C. M. G.; COSTA, D. B.; DA SILVEIRA, M. A.; DE SANTANA, W. R.; NOGUEIRA, S. R. – 1999. Avaliacao de diferentes substratos na producao de mudas de tomateiro. In Encontro nacional sobre substrato para plantas. (1º, 22 al 24 de julho de 1999, Porto Alegre R S). UFRGS, SEBRAE, AFLORI.
5. ANSORENA MINER, Javier.- 1994. Sustratos; Propiedades y caracterización. 1ª edición. España. Mundi Prensa. 172p.
6. BARBOZA FRANCO, Ruben; ELOLA CARLES! Sebastian.- 1997. Evaluación agronómica de sustratos orgánicos en la producción de plantines de tomate. Tesis Ing. Agr Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía.97p.
7. CASTILLA, PRADOS; Nicolás – 1995. Manejo del cultivo intensivo con suelo. In El cultivo del tomate. Fernando Nuez. España. Mundi Prensa. pp 190-225.
8. CHAMARRO, LAPUERTA; Jesús.- 1995. Anatomía y fisiología de la planta. In El cultivo del tomate. Fernando Nuez. España. Mundi Prensa. pp 44 – 91.
9. BRAZ, Leila T.; FERREIRA, Mariléia R.; PÁDUA, Joaquim G.; RIZZO, Adriana A. do N.- 1999. Efeito de diferentes sustratos na formacao e qualidade de mudas de tomateiro. In Encontro nacional sobre substrato para plantas. (1º, 22 - 24 de julho de 1999; Porto Alegre R.S.) UFRGS, SEBRAE, AFLORI, p 12 – 13.
10. COSTES, C.; REY, Ivette.-1965. La physiologie de la tomate. Francia. Editado por el I.N.R.A.146 p.

11. CUARTERO, ZUECO, Jesus; FERNANDEZ MUÑOZ, Rafael; GONZALEZ FERNANDEZ, José Jorge.-1995. Estreses abióticos. In El cultivo del tomate. Fernando Nuez. España. Mundi Prensa. Pp 352 – 383.
12. DALZELL, H. W.; BIDDLESTONE, A. J.; GRAY, K. R., THURAIRAJAN, K. – 1991. Manejo del suelo: producción y manejo del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Roma, FAO. 178p
13. DE BOODT, M.; VERDONCK, O.; CAPPAERT, I. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37:2054 – 2062
14. DIEZ, NICLOS; M^a. José. – 1995. Tipos varietales. In El cultivo del tomate. Fernando Nuez. España. Mundi Prensa. pp 95-129
15. DOMINGUEZ VIVANCOS, Alonso.- 1993. Fertirrigación. 1^a edición. España. Mundi Prensa. 217 p.
16. FASSBENDER Hans W.- 1978. Química de suelos; Con énfasis en suelos de América Latina. 1^a edición. San Jose de Costa Rica. IICA. 398 p
17. FOLQUER, Fausto.- 1979. El Tomate; Estudio de la planta y su producción comercial. 1^a reimpresión. Argentina. Hemisferio Sur. 105 p.
18. GIORGI, Elcio; SILVA JUNIOR, Antonio Amaury;- 1992. Substratos alternativos para a produção de mudas de tomate. 1^a edición. Brasil. GED / EPAGRI. 23 p.
19. HARTMANN, Hudson T.; KESTER, Dale E.;- 1974. Propagación de plantas. Principios y prácticas. 3^a edición en español. Mexico. Compañía Editorial Continental S. A.. 810p.
20. LIPTAY, A.; NICHOLLS, S.; SIKKEMA, p. 1992. Optimal mineral nutrition of tomato transplants in the greenhouse for maximum performance in the field. *Acta Horticulturae*, 319: pp 489 – 492.
21. MELTON, R. R.; DUFAULT, R.J.- 1991. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertility regimes affect tomato transplant growth. *Hortscience*, 26 (2): p 141 – 142.
22. MENEZES, J. 1992. Tomate. In Producción, post-cosecha, procesamiento y comercialización de ajo, cebolla y tomate. Izquierdo, J.; Paltrinieri, G.; Arias, C. Santiago de Chile, FAO. Pp 180 –197.

23. MINAMI, Keigo.- 1995. Producao de mudas de alta qualidade em horticultura. 1ª edición. Brasil. T. A. Queiroz. 128 p.
24. MODERNEI, Rogelio.- 1996. Guia uruguaya para la proteccion y fertilizacion vegetal. 6ª edición Uruguay. Altamira S.R.L. 367p.
25. PIZARRO, Fernando.- 1990. Riegos localizados de alta frecuencia; Goteo, microaspersión, exudación. 2ª edición. España. Mundi Prensa. 471 p.
26. RAVIV, M.; CHEN, Y.; INBAR, Y. – 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container – growth plants. In The role of organic matter in modern agriculture . Avnimelech, Y.; Chen, Y. Dordrecht, The Netherlands, Martinus Nijhof Publishers. Pp 257 - 285.
27. REHERMANN, César.- 2000. Evaluación agronómica de sustratos orgánicos en la producción de plantines de morrón. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Uruguay. Facultad de Agronomía. 97p.
28. RESH, Howard M.- 1992. Cultivos hidropónicos; Nuevas técnicas de producción. 3ª edición. España. Mundi Prensa. 369 p.
29. RODRIGUEZ, R.; TABARES, J.; MEDINA, J. 1989. El cultivo moderno del tomate. Madrid. Mundi – Prensa. 206p.
30. SILVA, A.- 1991. La materia orgánica del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 47p.
31. SUNIAGA QUIJADA, j. 1990. Nutrition azote de la tomate semee pendant la phase juvenile. Effets de diferentes concentrations d'azote sur la croissance et le developpment. Acta Horticulturae. 227: pp167 – 177.
32. TILLMAN, M.; PIANA, Z.; CAVARIANI, C.; MINAMI, K. – 1994. Efeito da profundidade de sementeira na emergencia de plântulas de tomate . Sci. Agric. Piracicaba. 51(2). Pp 260 – 263.
33. WIDDERS, I. E.; GARTON, W. 1992. Nitrogen and phosphorus preconditioning of small – plug seedlings influence processing tomato productivity. Hort Science. 25 (6). pp 655 – 657.