

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**USO DE ESPUMAS HIDROFILICAS PARA AUMENTAR LA
EFICIENCIA DE USO DEL AGUA EN EL CULTIVO DE TOMATE
(*Lycopersicon esculentum*) BAJO INVERNADERO.**

POR:

ELSY MARICELA PENAGOS DIAZ

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

**Buenavista, Saltillo, Coah. México
Noviembre del 2002**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**

**USO DE ESPUMAS HIDROFILICAS PARA AUMENTAR LA
EFICIENCIA DE USO DEL AGUA EN EL CULTIVO DE TOMATE
(Lycopersicon esculentum) BAJO INVERNADERO**

**POR:
ELSY MARICELA PENAGOS DIAZ
TESIS**

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como
requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

APROBADA POR:

Dr. Adalberto Benavides Mendoza M.C. Luis Miguel Lasso Mendoza

ASESOR PRINCIPAL

SINODAL

M.C. Reynaldo Alonso Velasco L.C.Q. Gabriela Padrón Gamboa

SINODAL

ASESOR EXTERNO

M.C. Leopoldo Arce González

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Buenavista, Saltillo, Coah. México

Noviembre del 2002

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme la vida iluminando siempre mi camino recorrido. A ti que eres el Creador de todo el Universo y que sin merecerlo, me tomaste en tus brazos para no caer en los momentos difíciles de mi vida. A ti que eres mi amigo Fiel y Verdadero.

A MIS PADRES: José Guadalupe Penagos López y Plácida Díaz Ramírez.

Por darme lo mejor de este mundo, la vida por su incondicional y constante apoyo, quienes con tanto esfuerzo me han hecho crecer. Por la confianza que han depositado en mi por todo esto y más Gracias.

A MIS HERMANOS: Erika Y Bertoni.

Por todo el amor, por los momentos maravillosos que pasamos juntos, porque a pesar de la distancia siempre estaremos unidos.

A MIS ABUELITOS: Javier y Angélica

Virgilio y Eufrosina

Por darme su amor y apoyo incondicional Gracias.

A MIS TIOS: Por su cariño Gracias.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:

Sandra, Saret, Inés, Yuyis, Erandi, Araceli, July, Cindy, Eva, Paty, Carmen, Irasema, Roger, Toño y Cabeza por su amistad y ayuda que me brindaron y animaron a seguir adelante. Y a todos mis compañeros de generación.

AGRADECIMIENTOS

A MI ALMA MATER: Con un eterno agradecimiento por los conocimientos y apoyo que de ella recibí para formarme como profesionalista.

Al Dr. Adalberto Benavides Mendoza: Por darme la oportunidad de trabajar y aprender bajo su asesoría y sobre todo por brindarme su amistad que para mi es lo mas importante.

Al MC. Luis Miguel Lasso Mendoza: Por brindarme su apoyo y asesoría en la revisión de la presente investigación.

Al M.C. Reynaldo Alonso Velasco: Por su colaboración en la revisión de este trabajo.

A la MC. Gabriela Padrón Gamboa: Por su desinteresado apoyo en la realización de este trabajo.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación.

Al Ing. Manuel A. Burciaga Vera: Por su amistad y apoyo durante mi estancia en la Universidad.

A Juan Manuel García Flores: Por su apoyo y amistad.

A todos los maestros, que de alguna u otra forma intervinieron en mi formación profesional. En especial a los del Departamento de Horticultura.

INDICE

INDICE DE CUADROS	I
INDICE DE FIGURAS	II
RESUMEN	III
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Hipótesis	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Generalidades de los sustratos	4
2.1.1. Historia	4
2.1.2. Definición de sustrato	4
2.2. Clasificación	5
2.2.1. Materiales orgánicos	5
2.2.2. Materiales inorgánicos	5
2.2.3. Materiales mixtos	6
2.3. Características de los sustratos	6
2.3.1. Características biológicas	6
2.3.2. Características físicas	7
2.3.2.1. Granulometría	7
2.3.2.2. Porosidad	8
2.3.3. Características químicas	8
2.3.3.1. Potencial de hidrógeno	9
2.3.3.2. Capacidad de intercambio catiónico	10
2.3.3.3. Relación Carbón - Nitrógeno	10
2.3.3.4. Conductividad eléctrica	11
2.4. Generalidades de los suelos salinos	12
2.4.1. Salinidad de los suelos	12
2.4.2. Origen de los problemas por salinidad	12
2.4.3. Factores que causan la salinidad en los suelos	12
2.4.3.1. Clima	12

2.4.3.2. Agua de riego de mala calidad y mal drenaje	13
2.5. Efecto de salinidad sobre las plantas	13
2.6. Plantas tolerantes a la salinidad	14
2.7. Efectos de la salinidad en la germinación	15
2.8. Características de los materiales más utilizados comercialmente	16
2.8.1. Turba	16
2.8.2. Turberas bajas	17
2.8.3. Turberas altas	17
2.8.4. Turberas de transición	17
2.8.5. Perlita	17
2.8.6. Pumita	18
2.8.7. Vermiculita	18
2.8.9. Gravas	19
2.8.10. Arenas	19
2.8.11. Lana de roca	19
2.8.12. Poliestireno	20
2.8.13. Poliuretano	20
 III. MATERIALES Y METODOS	 21
3.1. Ubicación del área experimental	21
3.2. Descripción del área experimental	21
3.2.1. Clima	21
3.2.2. Suelo	21
3.3. Material vegetal	21
3.3.1. Características de la variedad	21
3.4. Material utilizado	22
3.4.1. Espumas hidrofílicas	22
3.4.2. Poliacrilamida	22
3.5. Descripción de los tratamientos	23
3.5.1. Tratamientos evaluados	23
3.5.2. Diseño experimental	24

3.6. Establecimiento del experimento	24
3.7. Cronología experimental	24
3.7.1. Etapa de plántula	24
3.7.1.1. Labores culturales	24
3.7.1.1.1. Preparación de camas flotantes	24
3.7.1.1.2. Siembra	25
3.7.1.1.3. Riegos	25
3.7.1.1.4. Fertilización	25
3.7.1.1.5. Control fitosanitario	25
3.8. Variables evaluadas en plántula	25
3.8.1. Peso fresco	25
3.8.2. Peso seco	26
3.8.3. Número de hojas	26
3.8.4. Altura de plántula	26
3.9. Etapa de maceta	26
3.9.1. Tratamientos Evaluados	26
3.9.2. Diseño Experimental	27
3.9.3. Labores Culturales	27
3.9.3.1. Preparación del Terreno	27
3.9.3.1.1. Llenado de Macetas	27
3.9.3.1.2. Suelo regional	27
3.9.3.1.3. Poliacrilamida	27
3.9.3.1.4. Espumas hidrofílicas biodegradables en polvo	27
3.10. Trasplante	28
3.11. Riegos	28
3.12. Fertilización	28
3.13. Control Fitosanitario	28
3.14. Deshierbe	28
3.15. Variables Evaluadas	28
3.15.1. Altura de Planta	29
3.15.2. Numero de Hojas	29

3.15.3. Peso Fresco	29
3.15.4. Peso Seco	29
3.15.5. Determinación de la Conductividad Eléctrica	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. Etapa de plántulas	30
4.2. Etapa de planta en maceta	31
V. CONCLUSIONES	35
VI. LITERATURA CITADA	36

INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1.	Porosidad total de distintos materiales utilizados como sustratos.	8
Cuadro 2.2.	Relación Carbono/Nitrógeno de algunos materiales orgánicos	11
Cuadro 2.3.	Grado de tolerancia a la salinidad de algunos cultivos.	15
Cuadro 3.1.	Formulaciones empleadas en la preparación de espumas hidrofílicas biodegradable.	23
Cuadro 3.2.	Tratamientos evaluados en el cultivo de tomate en etapa de plántula.	23
Cuadro 3.3.	Tratamientos evaluados en el cultivo de tomate en etapa de maceta.	26
Cuadro 4.1.	Valores promedios de peso fresco, seco y total de las plántulas en los dos muestreos.	30
Cuadro 4.2.	Valores promedio de la plántula en altura y número de hojas en el primer muestreo.	31
Cuadro 4.3.	Valores promedio en biomasa con el 50 % de agua de riego en etapa de maceta.	31
Cuadro 4.4.	Valores promedio en biomasa con el 100 % de agua de riego en etapa de maceta.	32
Cuadro 4.5.	Altura de planta y número de hojas.	33

INDICE DE FIGURAS

Figura 4.1.	% de humedad en los perfiles en cada uno de los sustratos	33
Figura 4.2.	Conductividad eléctrica en los perfiles de cada uno de los sustratos	34

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro que se localiza al sur de Saltillo, Coahuila, en los meses de junio a octubre del 2001. El objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta de las plántulas y plantas de tomate a diferentes sustratos, espumas y compuestos hidrofílicos (poliacrilamida, espuma hidrofílica más poliacrilamida, espuma hidrofílica, espuma hidrofílica más cacao). Se buscó entonces verificar si la presencia de los polímeros modificaba de alguna forma la respuesta de las plantas en suelos salinos bajo condiciones de agua controlada y fertilización adecuada. El experimento se realizó en invernadero con un diseño experimental completamente al azar para plántula y maceta. En plántula se utilizaron cinco tratamientos con cuatro repeticiones obteniendo un total de 20 unidades experimentales con 63 plantas por unidad; en maceta se utilizaron cinco tratamientos con 10 repeticiones obteniendo un total de 50 unidades experimentales. A los resultados obtenidos se les aplicó un análisis de varianza (ANVA).

En plántula para las variables biomasa fresca - seca de raíz y parte aérea obtuvo mejores resultados las espumas hidrofílicas y la poliacrilamida mientras que en altura de planta y número de hojas el mejor tratamiento fue las espumas hidrofílicas + poliacrilamida comercial seguida por espuma hidrofílica + cacao. En el estudio con plantas en macetas se aplicó para las variables biomasa fresca y seca de la raíz y parte aérea (2 muestreos), de los cuales se obtuvieron diferencias significativas para las variables peso fresco aéreo y total, no así para el peso fresco de la raíz. Los mejores resultados fueron obtenidos con la espuma hidrofílica + cacao y en altura y número de hojas (cada semana) los mejores resultados se obtuvo con el testigo y la espuma hidrofílica. En el muestreo de suelo en porcentaje de humedad el mejor tratamiento fue la espuma hidrofílica ya que retuvo mayor cantidad y una mejor distribución de agua.

En cuanto a conductividad eléctrica el mejor tratamiento fue espuma hidrofílica + cacao por tener la mejor estabilidad y distribución de sales.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años en México la producción de hortalizas ha cobrado un gran auge desde el punto de vista de superficie sembrada, divisas generadas y mano de obra requerida, lo cual obliga a la generación de tecnología propia y adecuada a esta evolución tecnológica.

Uno de los problemas que sufren los productores de hortalizas son los altos costos de la semilla certificada, por lo que se ven en la necesidad de dejar de utilizar la siembra directa y modernizarse con el uso de transplante para la optimización de semilla. En este aspecto los sustratos juegan un papel importante porque de ellos depende una buena germinación y desarrollo de las plántulas. En la actualidad los sustratos comúnmente utilizados, provienen de países como Canadá y Estados Unidos, lo que nos convierte en un país dependiente de dicho material, ya que para 1997 la importación de musgo de pantano (Peat moss) proveniente de Canadá fue de 7 785 515 toneladas y de Estados Unidos 602 035 toneladas.

La Sociedad Internacional de Ciencias Hortícolas (ISHS) cuenta con un programa para la obtención de sustratos alternativos bien sea en forma pura o en formas de mezcla. Entre los posibles sustitutos tradicionales se encuentran los subproductos de café y cacao así como los biopolímeros derivados de la biomasa vegetal que pueden incluir materiales en base a celulosa, ligninas y almidón.

Por otro lado, en las regiones áridas y semiáridas los productores se enfrentan a suelos con problemas de fertilidad o salinidad, así como la necesidad de generar esquemas de producción con alta eficiencia en el uso del agua. Los biopolímeros y polímeros hidrofílicos son potenciales para la solución parcial de los problemas de eficiencia de uso de agua, una vez que sean resueltos algunos problemas asociados con el desempeño de estos materiales. Como ejemplo, tanto los biopolímeros hidrofílicos como las poliacrilamidas comerciales pierden

rápidamente su habilidad hidrofílica al elevarse la conductividad eléctrica de la solución de agua del sustrato o suelo. Por otra parte, los biopolímeros hidrofílicos representan una fracción del costo de las poliacrilamidas que se cotizan en el mercado hasta por \$3,500.00 M.N. por hectárea. Lo anterior nos dice que, tomando en cuenta el factor costo del material, las oportunidades asociadas a los biopolímeros hidrofílicos son muy amplias.

El uso de biopolímeros hidrofílicos híbridos de poliuretano-almidón, llamados “espumas hidrofílicas biodegradables”, en el trasplante y cultivo de hortalizas es una nueva técnica, por tal motivo la información con la que se cuenta y que está disponible es muy poca. El presente trabajo de investigación, tiene como fin aumentar nuestro conocimiento sobre la utilización potencial de las espumas hidrofílicas biodegradables como sustratos para uso comercial e investigaciones futuras. Para ello se plantearon los siguientes:

OBJETIVOS

1. Evaluar la respuesta de las plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) germinadas en charola de poliestireno, utilizando peat moss como sustrato base así como peat moss acondicionado con poliacrilamida comercial y distintas espumas hidrofílicas biodegradables.
2. Estudiar la respuesta en crecimiento y desarrollo posterior al trasplante de plantas de tomate en un suelo calcáreo de alta conductividad eléctrica en donde se añadió una poliacrilamida comercial y diferentes espumas hidrofílicas en combinación con dos niveles de riego.

HIPÓTESIS

1. El peat moss acondicionado con los materiales hidrofílicos proporciona mejores condiciones para la germinación y desarrollo de semillas de tomate, que las proporcionadas por el sustrato convencional.
2. Bajo condiciones de suelo calcáreo y salino las espumas hidrofílicas biodegradables presentan un mejor desempeño que la poliacrilamida comercial incrementando el crecimiento de la planta en cualquiera de los dos niveles de riego aplicados.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades de los Sustratos

Historia

El uso de sustratos es propio de cultivo en maceta. La práctica de cultivar plantas en maceta tiene probablemente el mismo origen que la jardinería. Desde hace cerca de 4,000 años, los egipcios cultivaban árboles en contenedores de madera o piedra, dejando constancia de ello en sus pinturas murales, pudiéndose afirmar que sus elementales sistemas de cultivos han perdurado casi hasta nuestros días. (Bures, 1997).

Dos hechos influyeron en la evolución del concepto de sustrato distinto del suelo natural. El primero fue el descubrimiento de que todas las plantas tienen los mismos requerimientos básicos. El segundo fue el darse cuenta de que el medio de cultivo solo proporciona soporte, humedad, aireación, y nutrientes minerales, llevando, en consecuencia a definir sustratos que no contenían suelo natural, (Bures, 1997).

Definición de Sustrato

Bajo la denominación de sustratos se encuentran todos los soportes que sirven para el cultivo de las plantas, independientemente de una mayor o menor productividad. Desde la antigüedad se comprobó que la aportación de materia orgánica a los suelos, éstos mejoraban. Así se utilizó el estiércol, los restos de cosecha, la turba, las algas, los residuos industriales (orugas, escorias, etc.) y basuras urbanas. Siempre utilizando materiales abundantes y baratos para crear la composta y a partir de la composta componer los distintos sustratos. (Gordilo y Treviño, <http://www.adiho.es>).

El sustrato ideal es aquel que sea económico que este disponible inmediatamente, que sea uniforme y completamente libre de patógeno, semillas de maleza o sustancias químicas peligrosas. (Carpenter, 1995).

La elección del sustrato es de gran importancia en cuanto a sus requisitos físico y químicos, ya que pueden influir directa o indirectamente en el crecimiento de las plantas, (Alpi *et al*, 1991).

Los productores han cambiado la siembra directa por el transplante, por que de ellas se obtienen poblaciones homogéneas, cosechas tempranas, maduración uniforme de las plantas; para esto hay que seleccionar la semilla adecuada, el medio de crecimiento y calidad del agua, (Hassell, 1994).

Clasificación

El número de materiales que pueden ser utilizados como sustratos es muy amplio y estos pueden ser empleados solos o en mezclas. Una de las clasificaciones mas frecuentes es orgánicos, inorgánicos y mixto. (Nava, 2002).

Materiales orgánicos

Existen dos tipos de materiales orgánicos, los de origen natural y los de síntesis. Los materiales orgánicos de origen natural están sujetos a descomposición biológica y pueden ser utilizados como sustratos después de sufrir una serie de procesos biológicos ya sea artificial como el compostaje o bien natural como el caso de las turbas. Los materiales orgánicos de síntesis son polímeros orgánicos no biodegradables que se obtienen mediante procesos químicos como el poliestireno o las espumas de poliuretano, que por sus características las clasifican erróneamente como inorgánicos, (Bures, 1997).

Materiales inorgánicos

Los materiales inorgánicos se obtienen a partir de rocas o minerales de distintos orígenes e incluyen los suelos naturales. Estos materiales pueden modificarse ligeramente, sin alterar la estructura interna del material, mediante fragmentación, tamizado o bien puede trasformarse mediante procesos físicos o químicos que convierten las propiedades del material original. (Bures, 1997).

Materiales mixtos

Este grupo comprende subproductos minerales de origen diversos según el proceso industrial al que han sido sometidos, como los residuos de filtración, calcinación. Muchas veces es útil mezclar sustratos que sean complementarios, es decir, que aporten lo que les falta a otros teniendo en cuenta los aspectos siguientes:

- retención de humedad
- permitir buena aireación
- estabilidad física
- químicamente inerte
- biológicamente inerte
- tener buen drenaje
- tener capilaridad
- ser liviano
- ser de bajo costo
- estar disponible

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUSTRATOS

Características biológicas

Abad (1993), dice que las propiedades biológicas son parte fundamental en el estudio de las propiedades de sustratos hortícola. Por que la población microbiana es la responsable de la degradación biológica de los sustratos orgánicos, lo que puede resultar desfavorable ya que los microorganismos consumen nutrimentos (oxígeno y nitrógeno principalmente) en competencia con el cultivo, además de liberar sustancias fitotóxicas y alterar las propiedades físicas del sustrato. La velocidad de descomposición esta determinada por la disposición de compuestos biodegradables (carbohidratos, ácidos grasos y proteína); disposición que puede reducirse mediante el compostaje y el mantenimiento de suficientes niveles de nitrógeno asimilable.

Por otro lado, a los ácidos húmicos y fúlvicos, productos finales de la degradación biológica de la lignina y la hemicelulosa se les atribuyen muchos efectos sobre una gran variedad de funciones vegetales, tanto el nivel de célula como de órgano. Estos compuestos actúan como transportadores de micronutrientes para las plantas, y se les ha conferido un efecto sinergista con las auxinas producidas naturalmente por el cultivo o aplicadas exógenamente.

Características Físicas

La estructura física de un sustrato esta formado básicamente por un esqueleto sólido que conforma un espacio poroso, estos espacios pueden estar llenos de agua o de aire, que están situados entre las partículas de sustratos o dentro de las mismas. Los sustratos a diferencia de los suelos tienen mayor porosidad, puesto que la mayoría de los materiales que se utilizan como sustratos tienen poros interparticulares, lo que permite aumentar el espacio poroso comparado con un suelo, donde los poros se encuentran situados solamente entre las partículas.

Las propiedades físicas de los sustratos son de gran importancia; debido que cuando se utilizan como medio de cultivo en charolas o contenedores, ocurre la germinación, y la planta posteriormente crece en él, ya no es posible modificar las características físicas básicas de dicho sustrato. (Abad, 1993).

Granulometría

Ansorena (1994), publica que es común que los sustratos estén formados por la mezcla de partículas (corteza, arena, etc.) o fibras (turba, lana de roca) de diferentes tamaños que constituyen la porosidad interna del sustrato. Pero, además, quedaran huecos entre cada partícula (el espacio del hueco es directamente proporcional al tamaño de la misma), es decir, entre mas grande es el hueco, más grande es el tamaño de la partícula que componen el sustrato, que dan lugar a la porosidad interparticular. De ahí la importancia de la granulometría de los sustratos.

Porosidad

Denominado también como espacio poroso o espacio vacío, es la cuantificación del espacio ocupado por poros en un sustrato. Generalmente los sustratos tienen dos tipos de porosidad: interna y externa, la porosidad externa es aquella que se genera por el propio empaquetamiento de las partículas y depende de la manera en que fue empacada, tamaño y forma del contenedor, así como la naturaleza de las partículas. La porosidad interna depende de la naturaleza de las partículas, estado e interconexión de los poros. En la Cuadro 2.1 se observa la porosidad total determinada partir de la densidad real.

Cuadro 2. 1. Porosidad total de distintos materiales utilizados como sustratos.

Sustrato	Porosidad total (%+ Vol.)
Turba	94.44
Tierra de bosque	83.85
Corteza de pino	79.89
Orujo de uva	87.65
Grava volcánica	70.94
Perlita(expandida)	95.47
Vermiculita(exfoliada)	95.09
Arena	38.20

Ansorena (1994), define a la porosidad de un sustrato como el porcentaje de volumen que no se encuentra ocupado por la fase sólida, es decir el cociente entre el volumen de poros y el volumen total que el sustrato ocupa en el contenedor.

Características químicas

Desde el punto de vista químico se pueden definir dos tipos de sustratos.

- Sustratos químicamente inertes. Que son aquellos que no se descomponen química o bioquímicamente, no liberan elementos solubles de forma notable

ni tienen capacidad de absorber elementos añadidos a la solución del sustrato. En los sustratos químicamente inertes no existe transferencia de material.

- b) Sustratos químicamente activos o no inertes. Estos reaccionan entre si liberando elementos, debido a su degradación, disolución, reacción de los compuestos que forman el material sólido del sustrato, o bien absorbiendo elementos en su superficie que se pueden intercambiar con los elementos del sustrato que se encuentran disueltos en la fase líquida del mismo.

Potencial de Hidrógeno (pH)

Es una medida de la concentración de iones de hidrógeno (un valor de pH 7.0 indica el punto neutral, debajo de este punto es ácido y por arriba es alcalino), si bien no influye directamente en el crecimiento de las plantas, tiene varios factores indirectos, como son: la disponibilidad de varios nutrientes y la actividad de la flora microbiana benéfica, es decir, algunos nutrientes o elementos deben de tener un pH adecuado para ser absorbidos por la planta, igualmente un rango de pH entre 5.5 y 7.0, permite mejor desarrollo de la mayoría de las plantas. Para reducir el pH de un suelo alcalino, se recomienda utilizar sulfato de amonio, y para elevar el pH de suelos ácidos, se exhorta a usar nitrato de calcio, ambos como fertilizante. (Hartmann y Kester, 1998).

Abad (1993), señala que bajo condiciones de cultivo intensivo es aconsejable mantener un intervalo de pH de 5.2 a 5.3; ya que la mayoría de los nutrimentos mantienen su máximo nivel de asimilación a pH entre 5.0 y 6.0. A pH menores de este rango pueden presentarse deficiencias de N, K, Ca, Mg, B, etc. Mientras que a pH mayores se ve afectado el aprovechamiento de elementos como son Fe, P, Mn, B, Zn y Cu. Los óxidos metálicos de (Fe, Mn, Cu y Zn principalmente) son altamente solubles al disminuir el pH, por debajo de 5.0, pudiendo llegar a excesos de estos que resulten tóxicos para las plantas.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Es la capacidad que tiene un sustrato de absorber e intercambiar iones (cationes). Se expresa generalmente en miliequivalentes por 100 gramos de sustrato. La CIC es la suma de todo los cationes intercambiables o que tienen el complejo de intercambio saturado. Los cationes divalentes generalmente están absorbidos con más fuerza que los monovalentes y se intercambian con mayor dificultad excepto el H^+ . La capacidad de intercambio catiónico se ve influenciada por el pH, debido a que los materiales fuertemente ácidos, liberan iones H^+ que se intercambian con los cationes que se encuentran en la solución.

Los materiales orgánicos poseen una elevada capacidad de intercambio catiónico, lo que representa un depósito de reserva de los nutrimentos, mientras que los materiales con baja capacidad de intercambio catiónico, como lo son la mayoría de los sustratos minerales, que requieren una aplicación mas frecuente de fertilizante, pues retienen cantidades reducidas de nutrimentos.

Relación Carbón / Nitrógeno (C/N)

Abad (1993), menciona que la relación carbón-nitrógeno nos indica el índice de madurez y estabilidad de la materia orgánica. Cuando se utilizan materiales orgánicos inmaduros como sustrato, existe una inmovilización del nitrógeno y baja disponibilidad de oxígeno, provocada por la actividad degradadora de los microorganismos del mismo. Esto trae como consecuencia daños irreversibles en las plantas cultivadas en este tipo de material. La relación C/N optima en sustratos para cultivos hortícolas debe ser menor a 20, debido a que el material orgánico en este rango se considera maduro y estable.

Ansorena (1994), propone intervalos óptimos de la relación C/N, para turbas, como sigue:

< 20	Buena
20 – 25	Aceptable
25 – 30	Deficiente
> 30	Mala

Ansorena (1994) afirma que, cuando se preparen medios de cultivo orgánicos a partir de materiales naturales, es necesario tener en cuenta los valores de la relación C/N. En la Cuadro 2.2 se muestran algunos valores de la relación C/N de algunos materiales orgánicos.

Cuadro 2.2. Relación C/N. de algunos materiales orgánicos.

Tipo de materia orgánica	C/N
Estiércol de vacuno	28
Estiércol de ovino	23
Estiércol de cultivos de setas	19
Basuras frescas	30
Composta 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 compostada	92

Conductividad eléctrica

Abad (1993), define a la salinidad, como la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato, menciona también que existen tres causas que provocan un incremento en la salinidad del sustrato cuando se utiliza en contenedores, éstas son:

- La presencia de fertilizantes insolubles, como los de lenta liberación, liberación de sales mediante difusión, o agregarlos en exceso que impide que dichas cantidades sean absorbidas o lixiviadas.

- Cuando la cantidad de sales aportadas en el agua de riego o solución nutritiva son mayores que las que pueden ser absorbidas por las plantas o por la lixiviación.
- Cuando el sustrato presenta una elevada CIC provocando que al mismo tiempo ocurra la descomposición del cultivo al paso del tiempo, liberando nutrientes en exceso.

GENERALIDADES DE LOS SUELOS SALINOS

Salinidad de los suelos.

Los suelos salinos se caracterizan por concentraciones excesivas de sales solubles de calcio, magnesio y sodio en la capa superficial. Las características de los suelos salinos son las siguientes:

- a) superficie acostada, agrietado y aparición de cristales o capas de sal
- b) el pH de los suelos salinos es hasta de 8.5
- c) crecimiento irregular de las plantas.

Origen de los problemas por salinidad

La salinización de los suelos ocurre por la acumulación de las sales solubles en agua. Las sales son transportadas por el movimiento y se depositan en la superficie del suelo cuando el agua se evapora. Coexisten tres factores principales que causan la salinización de los suelos: el clima, principalmente si éste es seco que generalmente se localiza en las zonas áridas y semiáridas; el mal drenaje; y la mala calidad del agua de riego. A continuación se describen cada uno de ellos.

Factores que causan la salinidad en los suelos

Clima

Varios autores señalan que el clima es un factor importante, debido a que, los suelos salinos se localizan principalmente en los climas áridos y semiáridos. En condiciones húmedas, las sales solubles originalmente presentes en los

materiales del suelo se solubilizan y son llevadas a las capas inferiores del mismo. En las zonas áridas no ocurre esto, pues la poca precipitación presente no puede llevar las sales a las capas inferiores y además a consecuencia de la elevada evaporación y altas temperaturas, las sales forman lo que comúnmente llamamos “impermeabilización de minerales”, que es la concentración las sales en los suelos en la superficie u horizontes inferiores (Oseguera, 1986).

Agua de riego de mala calidad y mal drenaje.

Oseguera (1986), señala que la formación de un suelo salino surge por causas naturales, tales como, agua saladas del subsuelo asociado a un drenaje inadecuado, una mala permeabilidad del suelo; o bien, por causas propiciadas por el hombre tales como: la aplicación de cantidades excesivas de agua de riego, utilizar agua de mala calidad, no contar con instalaciones adecuadas de drene, practicas inadecuadas de manejo del suelo, y la combinación de varios de estos factores.

El personal de laboratorio de salinidad de los estados unidos (1973) y Shalhevet (1986) explican que el agua que se utiliza como agua de riego puede contener de 0.1 a 5 toneladas de sal por hectárea, en una lámina de 30 cm de agua y la aplicación anual puede llegar hasta 1.50 metros o más. La concentración total de las sales en el agua de riego se puede expresar en términos de conductividad eléctrica (CE); la mayoría de las aguas para riego contienen normalmente una CE de 2.25 dS m^{-1} .

Efecto de salinidad sobre las plantas

Los efectos de las sales sobre las plantas y los suelos son muy variados, manifestándose de diferente forma de acuerdo al cultivo y al tipo de sales presentes en el suelo (Olmedo, 1991).

Las sales disueltas en la solución del suelo afectan a las planta a través de dos mecanismos: mediante un aumento de la presión osmótica y por su efecto

toxico. A medida que aumenta la concentración salina de la solución del suelo, lo hace la presión osmótica, debido que, el fenómeno de ósmosis es el paso de las sales a través de una membrana semipermeable que trata de igualar la presión interna a la externa, llega un momento en que las raíces de las plantas no tienen fuerza de succión necesaria para contrarrestar esa presión y por consecuencia, no pueden absorber el agua del suelo. El otro mecanismo por el que las sales afectan el desarrollo de las plantas es la toxicidad. La toxicidad de las sales no es debido al efecto directo de sus iones, sino que estos inducen alteraciones en el metabolismo de la planta ocasionando la acumulación de productos tóxicos dentro de la planta (Oseguera, 1986).

Plantas tolerantes a la salinidad

Con lo que respecta a la tolerancia salina de las plantas, difieren marcadamente, ya que, los efectos de la presencia de sales en las plantas varían grandemente en cada una de ellas. El personal de laboratorio de salinidad de los estados unidos, (1973) en 1906 fue el primero en reconocer el significado de ciertas plantas nativas tolerantes a la salinidad (Cuadro 2.3) como indicadores de las características de los dichos suelos; asimismo, las empleó en la agricultura utilizando suelos salinos y sódicos.

Cuadro 2.3. El grado de tolerancia a la salinidad de algunos cultivos.

Alta tolerancia	Tolerancia moderada	Poca tolerancia
Palma datilera Cebada Remolacha Algodón Zacate bermuda Zacate Rhodes	Higuera Olivo Vid Trigo Sorgo Arroz Alfalfa Tomate Col Zanahoria Cebolla Lechuga Rye Grass perenne	Limonero Manzano Peral Albaricoque Durazno Almendro Aguacate Rábano Melón Apio Frijol Trébol blanco Trébol rojo Trébol seco Cirricera Broma Sudán Trébol de color Chícharo

Fuente: Graetz et al. , 1982

Los diferentes tipos de sales en exceso se consideran materiales tóxicos. Las plantas han desarrollado varios mecanismos a fin de evitar o tolerar la tensión por este exceso. Tenemos al mangle, también conocido como regulador de sales que evita la acumulación de las mismas, pues poseen un mecanismo para excluir las sales de sus raíces. Las plantas tolerantes (acumuladores de sal) como *Atripex spp* poseen jugo celular de muy bajo potencial (aproximadamente –200 bars, comparados con los –20 y –30 bars de las hojas normalmente), por lo que son capaces absorber agua de alta concentración salina. Estas plantas toleran altas concentraciones internamente y eliminan el exceso secretándola a través de glándulas especiales en sus hojas (Bidwell, 1979).

Efectos de la salinidad en la germinación

En general, la mayoría de las plantas son mas sensibles a la salinidad durante la germinación, que en las ultimas etapas de su desarrollo (Guerra, 1993). La salinidad produce una disminución en el porcentaje de semillas germinadas y

un aumento en el tiempo de germinación y emergencia, así como una disminución de la tasa de absorción de agua por la semillas en proceso de germinación (Guerra , 1993).

Aceves (1979) recomienda practicas de manejo para asegurar un alto porcentaje de germinación bajo condiciones de ensalitramiento, éstas son:

- a) aumentar la dosis de semilla por hectárea. Esto compensara la reducción en el porcentaje de germinación causado por las sales.
- b) sembrar en seco y después regar. Esto asegura que la semilla estará mayor tiempo en contacto con un contenido de agua elevada o sea una solución diluida y como consecuencia se tendrá mayor porcentaje de germinación.
- c) si usan surcos, sembrar en el talud. Esto asegura que la semilla no estará en contacto con una alta concentración de sales.
- d) seleccionar cultivos tolerantes a la salinidad.
- e) Otras medidas de manejo recomendables para asegurar que la planta no muera en las primeras etapas de su desarrollo, seria tomar en cuenta el tipo de suelo, método de riego, clima, condiciones de drenaje y todos los factores que contribuyen a la acumulación de sales en las capas superficiales del suelo.

Características de los Materiales más Utilizados Comercialmente.

Los sustratos comerciales son mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos y aditivos como la piedra caliza, fertilizantes, nutrientes, etc.

Turba.

La turba esta formada por restos de vegetación acuática procedente de pantanos o de los mares, que han sido conservadas debajo del agua en estado de descomposición parcial. La falta de oxigeno en el pantano hace más lenta la descomposición bacteriana y química del material vegetativo. La descomposición

de los diversos depósitos de turba varia mucho, dependiendo del origen de la vegetación, grado de descomposición, y contenido de minerales.

Turberas bajas.

También llamadas solígenas o eutróficas, son turbas fuertemente descompuestas que no son aptas para la agricultura, pues poseen una baja porosidad, deficiente retención de agua y aire pudiendo contener materiales fitotóxicos en su complejo de intercambio.

Turberas altas.

Conocidas como ombrogenas u oligotróficas, son las turberas que se forman en las regiones frías con altas precipitaciones y humedad relativa elevada. Están constituidas principalmente por *Sphagnum spp.* que representa el 90 % de su composición. Estas turbas retienen elevadas cantidades de agua. Su formación empezó hace unos 10,000 años. Conforme a su grado de humificación distinguimos dos tipos: Turba rubia, que es una turba ligeramente descompuesta, es altamente utilizada en la agricultura puesto que posee excelentes propiedades físicas (estructura mullida, elevada capacidad de retención de agua y aire); y Turba negra, que es una turba fuertemente descompuesta, de color oscuro no es tan apreciada debido a su alto grado de descomposición, esto ocasiona la pérdida de muchas de sus propiedades.

Turberas de transición.

Presentan características intermedias entre las turbas altas y bajas.

Perlita.

La perlita es un compuesto binario y esta constituida por ferrita y cementita, que se obtiene por los desechos de procesos metalúrgicos. Se trata de un sustrato inerte de color blanco. Químicamente es inerte a pH 7-7.5, pero a pH ácidos pueden liberar aluminio, que es uno de sus componentes. Existen dos tipos

de perlita en función de su estructura microscópica, que puede ser laminar o granular. Cuando la perlita granular se calienta a $1,000^{\circ}\text{C}$, se expande adquiriendo una forma esferoidal muy ligera, su diámetro oscila entre los 2-6 mm, y su densidad aparente es del orden $130\text{-}180\text{ kg/m}^3$. Este material expandido se utiliza en agricultura solo o mezclado con otros sustratos, para el cultivo fuera del suelo o en contenedor. A menudo se utiliza en mezclas con turba con la finalidad de aumentar el drenaje y la aireación de la turba.

Pumita.

La pumita al igual que la perlita es un material, silíceo de origen volcánico, pudiendo utilizarse después de haber sido molido y tamizado sin necesidad de calentarse. Esencialmente tiene las mismas propiedades de la perlita aunque es más pesado y no absorbe tanta agua, puesto que está hidratado. Se utiliza en mezclas de turba y arena para el cultivo de plantas en maceta. (Resh, 1987).

Vermiculita.

Se trata de un mineral del grupo de los silicatos (silicatos, magnesio hidratado); que al igual que la perlita, si elevamos rápidamente su temperatura a 300°C , se expande y alcanza volúmenes de hasta cuatro veces su tamaño original.

Desde el punto de vista agrícola la vermiculita es arcilla expandida y exfoliada; sus dimensiones oscilan entre los 5-10 mm. Se trata pues, de un material de baja densidad, con buena capacidad de retención de agua, conjuntamente por proceder de un material arcilloso, conserva las propiedades de absorción de iones propios de las arcillas. Su principal desventaja es que con el tiempo se compacta y pierde sus propiedades de retención hídrica.

Gravas.

En el mercado existen tres tipos de gravas: las de cuarzo, las de piedra pómez y las de río. Las gravas de cuarzo no deben contener gránulos muy grandes y sus aristas no sean muy agudas. Tienen mala retención de agua, pero tiene buen comportamiento químico, puesto que son inertes y no aportan o absorben algún elemento. Las gravas de piedra pómez, presentan muy buenas propiedades, puesto que su granulometría es de 2-15 mm. El volumen de poros es de 85% sobre el total. Por ultimo, las gravas de río también se pueden utilizar pero presentan el mismo problema que las gravas de cuarzo.

Arenas.

Las arenas son sustratos naturales que suelen utilizarse en la agricultura. Frecuentemente se emplean las de río (silíceas), mientras que las arenas de playas (calcáreas) nunca se manejan para este fin. El diámetro de las arenas se sitúa alrededor de 2.05-2 mm. Con el tiempo la arena se meteoriza y pierde su capacidad de aireación, su precio es alto por lo que suele usarse en cultivos de alta rentabilidad.

Lana de roca.

Es un material inorgánico obtenido de la mezcla fundida a 1600° C de dolerita (60%), roca calcárea (20%) y carbón (20%). Se le considera un sustrato artificial no del todo químicamente inerte, puesto que aporta pequeñas cantidades de hierro, magnesio, manganeso y sobre todo calcio. Su pH es ligeramente alcalino, oscila entre valores de 7-9, aunque con el tiempo tiende a la neutralidad. Su presentación comercial es una forma granulada, su densidad aparente es baja lo que le confiere una gran capacidad de retención de agua a potenciales hídricos bajos y además el agua retenida aumenta poco a poco desde la parte superior del contenedor hasta la parte inferior. Suele mezclarse con otros sustratos para asociar distintas propiedades. (Bures, 1997).

Poliestireno

Se trata de un material termoplástico obtenido de la polimerización del estireno. Su pH es de 6-6.5. Es un substrato artificial formado por partículas redondas blancas cuyo diámetro oscila entre 4-12 mm. Presenta poco peso y poca capacidad de retención de agua y una gran aireación.

Poliuretano

Denominación genérica de diversos polímeros sintéticos que contienen grupos uretanos. Al calentarse, se expanden y toman la forma de espuma, materiales rígidos, elastómeros, entre otros. Es totalmente inerte, ligero de estructura, estable y de gran porosidad (98%), por lo que su capacidad de retención de aire es muy elevada. Su principal desventaja es que su capacidad de retención de agua es nula; suele utilizarse como lecho de siembra para la germinación de semillas.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del Área experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Departamento de Horticultura perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), geográficamente se localiza a 25°22' latitud norte y 101° longitud oeste, contando con 1742 msnm. Dicha investigación se ejecutó en dos etapas, la primera en charolas de poliestireno y la segunda en maceta bajo invernadero.

Descripción del Área Experimental.

Clima.

El tipo de clima es BsoKW (e), que significa seco, con verano cálido y lluvias en verano, con temperaturas extremosas.

Suelo.

La textura de los suelos varia de migajón arenoso a migajón arcilloso, localizados sobre un sustrato calcáreo duro y continuo denominado petrocálcico.

Material vegetal.

Para la siembra se utilizo semilla de tomate (*Lycopersicon esculentum*), variedad floradade, la cual es de polinización libre.

Características de la variedad.

Esta variedad es de tipo determinado presentando resistencia a R1R2 de *Fusarium* y *Verticillium*, frutos medianos a grandes, de consistencia firme, hombros verdes y pedúnculo sin coyuntura (Carácter jointless).

Material Utilizado

El material que se experimentó fue una serie de poliuretanos híbridos (espumas hidrofílicas biodegradables) que cuentan con una parte sintética (PU) y una parte natural (almidón, cáscara de cacao). El peat moss se utilizó como sustrato para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum*). Las espumas hidrofílicas biodegradables y la poliacrilamida se emplearon para modificar las propiedades del sustrato convencional (peat moss).

Espumas hidrofílicas

Las formulaciones empleadas en este estudio se muestran en la tabla 4. En un recipiente de 1.0 L, provisto de un agitador mecánico Lightnin L1U08F de General Signal Corp., se adicionaron el poliol, el almidón, la cáscara de cacao molida y tamizada a 200 mallas, el surfactante, el catalizador de estaño, el catalizador de gelación, el negro de humo y el agua. La mezcla se puso en agitación por 4 minutos a 1800 rpm. Transcurrido este tiempo se añadió el isocianato. El contenido de isocianato se calculó tomando como base la relación de hidroxilos del poliol y agua empleados en la formulación de acuerdo a la siguiente ecuación: $\text{NCO base poliol (ppc)} = \frac{\Sigma[(\text{poliol (ppc)} * \text{funcionalidad del poliol}) / \text{Mw}] * \text{Peso Equivalente NCO}}{\text{en donde la funcionalidad del poliol} = (\text{Mw poliol} * \text{contenido de OH}) / (\text{Mw KOH} * 1000)}$, y el peso Equivalente del NCO para el TDI es de 87.10078. El proceso de espumado se dejó llevar a cabo en el mismo recipiente. Lo anterior fue descrito por Padrón, (2000).

Poliacrilamida

Otro de los materiales utilizados fue la poliacrilamida que es un nuevo polímero que se emplea en cultivos de alta rentabilidad. Esto da como resultado una mejor aireación, penetración y retención del agua. La poliacrilamida es un material granular de fácil manejo.

Cuadro 3.1. Formulaciones empleadas en la preparación de espumas de poliuretano biodegradable. La concentración esta dada en partes por cien (ppc) base poliol.

Reactantes	Espuma poliuretano-almidón	Espuma poliuretano-almidón-poliacrilamida	Espuma poliuretano-almidón-tierra de cacao
Arcol 3022	100	100.00	100.00
Tierra de cacao	0.00	0.00	30.00
Poliacrilamida	0.00	1.00	0.00
Almidón	50.00	50.00	50.00
DC-5460	0.40	0.40	0.40
T-9	0.01	0.01	0.01
BL-33	0.01	0.01	0.01
Agua	8.0	8.0	8.0
Negro de humo	0.01	0.01	0.01
TDI	86.13	86.13	86.13

Descripción de los tratamientos

Tratamientos Evaluados.

Cuadro 3.2. Tratamientos evaluados en el cultivo de tomate en etapa de plántula.

Tratamiento	Descripción
Peat moss (T)	Testigo
Poliacrilamida (PAA)	Poliacrilamida molida en peat moss al 0.1 %(V/V)
Espuma Poliuretano-almidón	Espuma de poliuretano-almidón en peat moss al 1% (V/V)
Espuma Poliuretano-almidón-PAA	Espuma de poliuretano-almidón acondicionada con poliacrilamida en peat moss al 1% (V/V)
Espuma Poliuretano-almidón-tierra de cacao	Espuma de poliuretano-almidón acondicionada con tierra de cacao en peat moss al 1% (V/V)

Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue completamente al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones, dando un total de 20 unidades experimentales.

Establecimiento del experimento.

La parte experimental se realizó en el verano del 2001 bajo invernadero. La especie utilizada fue tomate (*Lycopersicon esculentum*). Se utilizaron siete charolas de poliestireno con 200 cavidades, en cada charola se colocaron 3 tratamientos (5 tratamientos con 4 repeticiones). Una vez que se efectuaron las mezclas respectivas conforme a lo descrito en el cuadro 3.2, se procedió a la siembra de la semilla. Posteriormente las charolas se colocaron sobre plástico negro y madera formando camas flotantes fertilizando 1 vez por semana aplicando solución nutritiva Douglas al 50% en agua durante un día. Posteriormente se aplicó agua de riego con regadera teniendo cuidado de usar la misma cantidad en cada charola. Para la prevención de enfermedades se aplicó captan (1.5g/lts) una vez por semana.

Llegando el tiempo del transplante se seleccionaron las mejores plántulas de cada tratamiento y se colocaron en macetas de 6 litros llenas con suelo calcáreo cribado. Se tuvieron 50 macetas, con dosis de 0.0 (solamente suelo regional), 6 ml de poliacrilamida y 60 ml de espumas hidrofílicas biodegradables (EH, EP, EC). En términos de porcentaje los tratamientos fueron 0, 0.1 y 1% V/V, del cual se obtuvo un total de 5 tratamientos con 4 repeticiones.

Cronología Experimental.

Etapas de plántula.

Labores culturales

Preparación de camas flotantes.

La preparación de las camas flotantes se realizó a finales del mes de junio de 2001. Acondicionándose el lote experimental utilizado, procediéndose a la formación de las camas flotantes las cuales se ubicaron en la parte Norte del

invernadero, empleándose madera y plástico negro de polietileno para construir el contenedor.

Siembra.

La siembra se realizó en seco el 31 de junio del 2001. Una vez que estas emergieron se procedió a colocar las charolas en las camas flotantes, las cuales se les aplicaron con regadoras el agua de riego, teniendo cuidado de aplicar la misma cantidad a cada charola.

Riegos.

Los riegos se llevaron a cabo con una regadera convencional, teniendo el cuidado de aplicar la misma cantidad de agua a cada charola.

Fertilización.

Se aplicó solución Douglas al 50% en agua de riego durante un día, ésta se realizó una vez por semana, así mismo, se aplicó Foltron Plus los días 15 y 21 de julio.

Control fitosanitario.

En el control de enfermedades no hubo problemas, sin embargo para prevenirlas, se realizaron aplicaciones de captan una vez por semana, y en el caso de plagas no se hubo problemas.

Variables Evaluadas.

Las variables evaluadas fueron: biomasa fresca y seca de la raíz, parte aérea, altura de la planta y número de hojas.

Peso fresco.

Para la determinación de peso fresco se eligieron 8 plántulas por tratamiento al azar. Estas fueron marcadas y se procedió a separar la parte aérea de la raíz. La raíz fue lavada para eliminar las partículas. Las muestras fueron

pesadas en una balanza analítica OHAUS modelo TS120. Esta labor se realizó el 8 y 21 de agosto.

Peso seco.

Para la determinación del peso seco las muestras utilizadas para el peso fresco fueron secadas a 60° C por 24 horas en una estufa MAPSA modelo ADP334.

Número de hojas.

Para determinar esta variable se procedió a contar el número de hojas y se tuvieron dos muestreos que fueron los mismos días que en la variable de peso seco y altura de plántula.

Altura de la plántula.

Para determinar esta variable se procedió a medir con una regla desde la base del tallo hasta el ápice, estos se realizaron en dos muestreos los mismos días que en peso fresco.

Etapas de Maceta

Tratamientos Evaluados.

Cuadro 3.3. Tratamientos evaluados en el cultivo del tomate en etapa de maceta.

Tratamiento	Descripción
Suelo(T)	Testigo
Poliacrilamida (PAA)	Poliacrilamida molida en suelo al 0.1 % (V/V)
Espuma Poliuretano-almidón (EH)	Espuma de poliuretano-almidón en suelo al 1% (V/V)
Espuma Poliuretano-almidón-PAA (EP)	Espuma de poliuretano-almidón acondicionada con poliacrilamida en suelo al 1% (V/V)
Espuma Poliuretano-almidón-tierra de cacao (EC)	Espuma de poliuretano-almidón acondicionada con tierra de cacao en suelo al 1% (V/V)

Diseño Experimental.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos y diez repeticiones, con un total de 50 unidades experimentales.

Labores Culturales

Preparación del terreno.

En una superficie de 18 m² (4.5 m x 4 m) se formaron 5 filas con una distancia entre filas de 100 cm, cada fila estaba formada por 10 macetas. La distancia entre maceta fue de 50 cm.

Llenado de macetas.

El llenado de macetas (6 kg de suelo por maceta) se realizó el 15 de agosto del 2001. Los diferentes tratamientos fueron preparados de la siguiente manera:

Suelo regional.

En el caso del testigo se utilizó suelo del cual se encuentra ubicado a un lado del laboratorio del departamento de horticultura para poder comparar el comportamiento de las plantas.

Poliacrilamida.

La poliacrilamida molida se colocó en un recipiente con agua, se dejó por cinco minutos. Una vez realizado esto se procedió a colocarla en la parte central de cada maceta.

Espuma Hidrofílica biodegradable en polvo.

Los bloques de espuma se molieron hasta formar una mezcla homogénea de los mismos y se colocaron en la parte central de cada maceta conteniendo el suelo regional cribado.

Transplante.

El transplante se realizó el 16 de agosto del 2001. Los tratamientos utilizados en etapa de maceta se describen en la Cuadro 3.3, utilizando únicamente plántulas del tratamiento testigo.

Riegos.

Otro factor que se tomó en cuenta fue la cantidad de agua aplicada a cada uno de los tratamientos, esto debido a que, 25 macetas se les aplicó el 100 % de agua de riego y a las otras 25 macetas solo se les aplicó el 50 % con un rango de 300 ml y 150 ml.

Fertilización.

Se aplicó fertilización de presembrado esto se hizo el día que se prepararon las macetas y aplicaciones de solución nutritiva Douglas como fue requiriendo el cultivo

Control fitosanitario.

Para el control de mosquita blanca se aplicó confidor 20 ml en 10 litros de agua, para el control de hojas cloróticas que se presentaron en las hojas nuevas de las plantas testigos, se aplicó oxiclورو de cobre en los días 11,13 y 28 de septiembre, así como el 12, 17 y 19 de octubre.

Deshierbe.

Esta actividad se llevó a cabo manualmente cada 15 días.

Variables Evaluadas.

se tomaron lecturas de biomasa fresca y seca de la parte aérea y radicular, se midió altura, número de hojas y determinación de conductividad eléctrica. Las variables tomadas se describen a continuación cada una con su fecha correspondiente.

Altura de planta.

Se obtuvo con una regla, midiendo desde la base del tallo, hasta el ápice de la planta. El dato obtenido fue en cm. Las evaluaciones se realizaron cada 20 días después del trasplante teniendo un total de 6 medidas y se realizaron en las fechas 8 y 21 de agosto, 7 y 27 de septiembre, 5 y 19 de octubre de 2001.

Número de hojas.

En lo que respecta a esta variable se realizaron cada semana, pero en este caso se hacia contando el número de hojas planta por planta. Llevándose un registro, obteniendo un total de 12 conteos se realizaron los días 8, 21, 27 y 30 de Agosto, 7, 14, 21 y 27 de septiembre, 5, 12, 19 y 29 de octubre de 2001.

Peso fresco.

Para la determinación de peso fresco se eligieron dos plantas por tratamiento y repetición. Las plantas fueron marcadas y se procedió a separar la parte aérea de la raíz. La raíz fue lavada para eliminar partículas adheridas del sustrato. Las muestras fueron pesadas en una balanza analítica OHAUS modelo TS120. Esta labor fue realizada 4 veces en las fechas siguiente 8 y 21 de agosto, 7 y 20 de noviembre de 2001.

Peso seco.

Para la determinación del peso seco las muestras utilizadas para el peso fresco fueron secadas a 60° C por 24 hora en una estufa MAPSA modelo HDP334.

Determinación de conductividad eléctrica

Para la determinación de la conductividad eléctrica se tomaron muestras de suelo de los diferentes tratamientos, tomándose de la parte superior, media e inferior de la maceta y se analizaron en el laboratorio de química de suelos del Departamento de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO

ETAPA DE PLÁNTULA

Cuadro 4.1. Valores promedios de peso fresco, seco y total de las plántulas en los dos muestreos.

TRATAMIENTOS	PFA	PFR	PFT	PSA	PSR	PST
TESTIGO	0.9645 a	0.3174 a	1.2820 a	0.1534 a	0.0463 a	0.1998 a
PAA	1.3977 c	0.4486 a	1.8464 b	0.1983 bc	0.0605 b	0.2588 bc
EH	1.4125 c	0.4990 a	1.9115 b	0.2231 c	0.0683 b	0.2915 c
EP	1.3495 bc	0.4548 a	1.7044 b	0.1889 abc	0.0623 b	0.2513 abc
EC	1.1206 ab	0.4069 a	1.5275 ab	0.1660 ab	0.0586 ab	0.2246 ab

Los promedios seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes según una prueba DMS ($\alpha=0.05$). PFA- peso fresco aéreo; PFR- Peso fresco raíz; PFT- Peso fresco total; PSA- Peso seco aéreo; PSR- Peso seco raíz; PST- Peso seco total.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas para las variables peso fresco aéreo y total, no así para el peso fresco de la raíz (Cuadro 4.1). Los mejores resultados fueron obtenidos con las espumas hidrofílicas y la poliacrilamida comercial, no obteniéndose sin embargo diferencia entre el testigo y la espuma con cacao. En cuanto al peso seco fue posible observar prácticamente los mismos resultados, con la diferencia de que en el peso seco de la raíz si se tuvieron diferencias estadísticas entre el testigo y los tratamientos con poliacrilamida y espumas, exceptuando la espuma con tierra de cacao. Nava, (2002), realizó un trabajo análogo pero con plantas de melón. Los resultados del mismo indicaron que el mejor material para añadir al peat moss fue la poliacrilamida comercial, seguido de las espumas hidrofílicas y por último el testigo con peat moss. Esta diferencia en resultados puede provenir del diferente comportamiento de las especies mencionadas ya que, como se sabe, el melón y el tomate tienen diferentes mecanismos de solubilización y absorción de nutrientes minerales (Brown y Jolley, 1989).

Cuadro 4.2. Valores promedios de la plántula en altura y número de hojas en el primer muestreo.

TRATAMIENTOS	ALTURA	No. DE HOJAS
TESTIGO	8.4187 a	3.8125 ab
PAA	9.0687 a	3.9375 b
EH	8.9312 a	3.7500 ab
EP	10.4000 b	3.6250 ab
EC	9.1062 a	3.4375 a

Los resultados obtenidos (Cuadro 4.2) se observaron diferencias estadísticamente significativas para las variables altura y número de hojas en plántula . Los mejores resultados fueron obtenidos en las espumas hidrofílicas + poliacrilamida comercial y la espuma Hidrofílica + cacao, no obteniéndose sin embargo diferencia entre el testigo y la espuma con cacao. Nava, (2002) realizo un trabajo análogo pero con plantas de melón. Los resultados del mismo indicaron que no obtuvo resultados significativos. Por lo que se concluye que en los biopolímeros hidrofílicos con base de almidón no tienen ningún efecto sobre altura y número de hojas en plántula de melón.

Etapas de Planta en Maceta

Cuadro 4.3. Valores promedios en biomasa con el 50% de agua en la etapa de maceta.

TRATAMIENTOS	PFR	PFA	PFT
TESTIGO	2.345 a	3.971 a	6.316 a
PAA	1.874 a	4.482 a	6.356 a
EH	3.704 a	6.628 ab	10.333 ab
EP	5.800 a	13.705 b	19.505 bc
EC	4.854 a	10.208 ab	15.062 b

Se observaron diferencias estadísticamente significativas para la variable peso fresco aéreo y total, no así para el peso fresco de la raíz (Cuadro 4.3). Los mejores resultados fueron obtenidos con las espumas hidrofílicas + cacao, obteniéndose diferencia entre el testigo y la espuma de cacao. En cuanto al riego con el 100% de agua (cuadro 4.4) fue posible observar diferencias estadísticas significativas para la variable peso fresco raíz y peso fresco aéreo y en cuanto al peso fresco total también se observan diferencias estadísticas. Los mejores resultados fueron obtenidos en la espuma Hidrofílica + cacao y el testigo, obteniéndose sin embargo diferencia entre el testigo y la espuma con cacao. Haciendo una observación entre el 50% y 100% de agua podemos observar claramente diferencias estadísticamente significativa para las dos variables, obteniéndose los mejores resultados en PFR, PFA y PFT observándose claramente con el tratamiento espuma Hidrofílica + cacao con el 100% de agua. Nava, (2002) expresa en su trabajo con plantas de melón, los resultados del mismo indicaron que el material con mejor resultado fue el testigo y el material para añadir al suelo fue la poliacrilamida comercial seguido de las espumas hidrofílicas.

Cuadro 4.4 Valores promedios en biomasa con el 100% de agua en la etapa de maceta.

TRATAMIENTOS	PFR	PFA	PFT
TESTIGO	5.091 ab	11.157 ab	16.249 bc
PAA	1.855 a	4.616 a	6.472 a
EH	1.688 a	4.057 a	5.745 a
EP	3.766 ab	7.304 ab	11.070 b
EC	8.931 b	12.538 b	21.469 c

ETAPA DE MACETA

Cuadro 4.5. Altura de planta y número de hojas.

TRATAMIENTOS	ALTURA cm	No. DE HOJAS
TESTIGO	20.1500 c	9.0166 c
PAA	13.9750 a	6.3851 a
EH	14.2206 a	8.4527 bc
EP	14.8731 a	7.3333 a
EC	15.7325 ab	7.9583 ab

Se observaron diferencias estadísticamente significativas para las variables Altura de la planta y Número de hojas (cuadro 4.5). Los mejores resultados fueron obtenidos con el Testigo y la Espuma Hidrofílica + Cacao. Nava, (2002) realizó un trabajo análogo pero con plantas de melón. Los resultados del mismo indicaron que el mejor material para añadir al suelo es la Espuma Hidrofílica + Cacao seguido por la Poliacrilamida comercial.

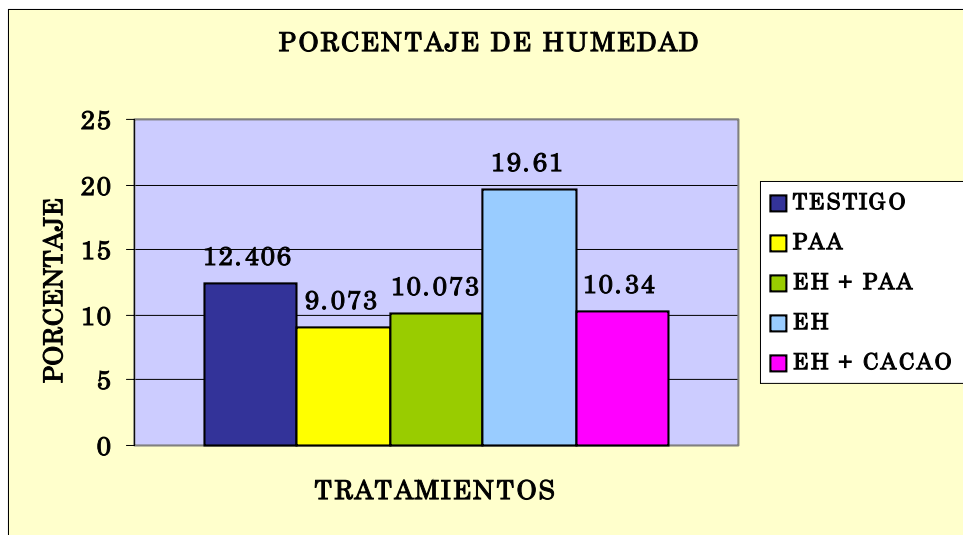


Figura 4.1. Conductividad eléctrica en los perfiles de cada uno de los sustratos.

Como se muestra en la figura 4.1 el mejor tratamiento fue la EH ya que retuvo mayor cantidad y una mejor distribución del agua y posteriormente se observa la PAA la cual retuvo menos humedad.

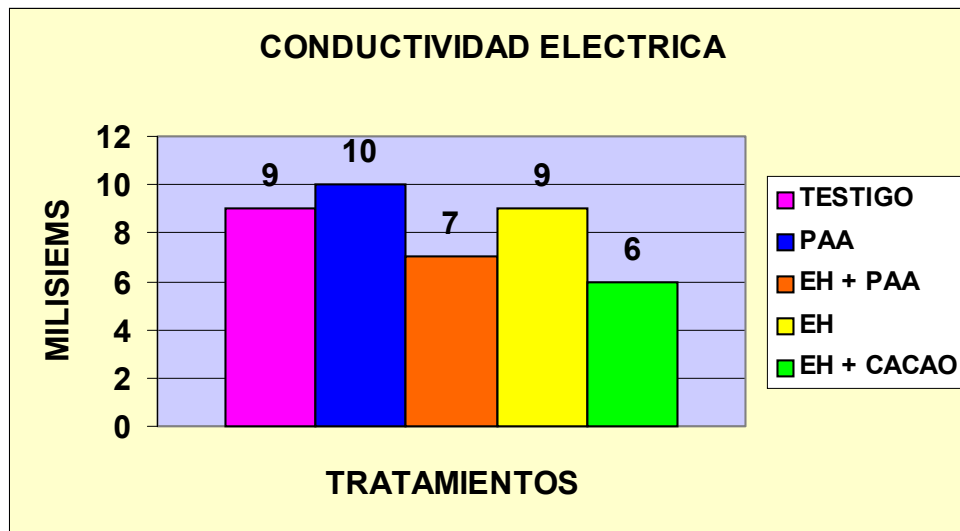


Figura 4.2. Conductividad eléctrica en los perfiles de cada uno de los sustratos.

Como se muestra en la Figura 4.2 el mejor tratamiento fue la EC por tener la mejor estabilidad y distribución de sales y el tratamiento que obtuvo menos efecto en la distribución fue la PAA.

CONCLUSIONES

Los sustratos adicionados con poliacrilamida comercial o espumas hidrofílicas aumentaron de manera significativa el crecimiento de las plántulas.

El crecimiento de las plántulas en el sustrato con poliacrilamida comercial fue significativamente más alto que el de aquellas que crecieron en sustratos con las espumas hidrofílicas.

En cuanto al número de hojas en plántula la poliacrilamida fue superior a los demás tratamientos; y en altura fue mayor en los tratamientos con espuma Hidrofílica más poliacrilamida.

En las plantas desarrolladas en maceta con restricciones de agua las espumas hidrofílicas permitieron un crecimiento significativamente mayor que el observado en el tratamiento testigo o con poliacrilamida comercial.

En las plantas desarrolladas en maceta sin restricciones de agua las espumas hidrofílicas no mostraron diferencia frente al testigo.

En altura y número de hojas en maceta la espuma Hidrofílica más cacao y la poliacrilamida fueron superiores a los demás tratamientos.

LITERATURA CITADA

- Abad, B. M. 1993a. Sustratos. Características y Propiedades. Curso Superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo. FIAPA. Almería, España.
- Aceves, N. E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Colegio de Postgraduados. Chapingo México.
- Alpi, A. y F. Tognoni. 1991. Cultivo en Invernadero. Tercera edición; Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 347 p.
- Ansorena, M, J. 1994 Sustratos. Propiedades y Caracterización. Ed. Mundi-prensa, España.
- Bidwell, R.G.S. 1979. Fisiología Vegetal. 1ª. Edición. Ed. Agt. S.A.; México,D. F.
- Brown, J. C. And V.D. Jolley. 1989. Plant metabolic responses to iron-deficiency stress. BioScience 39.546-551
- Bures, S. 1997. Sustratos, Ediciones Agrotécnicas S. L., Madrid, España.
- Carpenter, T. 1995. Obtenga la Mejor Mezcla de Medios de Cultivo. Productores de Hortalizas, Año 4, No. 5, pp 10-12.
- Guerra, H. M. 1993. Tolerancia a la Salinidad en el Mejoramiento Y la Producción Agrícola. Seminarios de Postgrado, Especialidad Fitomejoramiento, División de Agronomía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- Hartmann, H.T. y D.E. Kester. 1995. Propagación de Plantas: Principios y Prácticas. Cuarta reimpresión; CECSA. México. 760 p.
- Hassell, R. 1994. El Camino de la Prosperidad Comienza con Trasplantes Sanos. Productores de Hortalizas. Año 3, No. 5 pp 11-13.
- Nava, Salazar, I. 2002. Usos de espumas hidrofílicas para aumentar la eficiencia de uso del agua en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) bajo invernadero. Tesis Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Olmedo, B., M. Del C.; Robledo S., E; Cajuste C., L. J. 1991. Estudio de la Tolerancia a la Salinidad de 8 Variedades de Frijol. XXIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Pachuca, Hgo. Noviembre de 1991.
- Oseguera, C., Moisés. 1986. Salinidad y Fertilidad del suelo agrícola irrigado con aguas negras en Ramos Arizpe, Coahuila. Tesis de Licenciatura.

Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Noviembre de 1986.

Padrón, G. G.; Romero, G. J.; Benavides, M. A.; De Alba, S. H.; Saadi, C. A.; Zamora, R. J.; Solís, R. J. 2000. Diseño y Aplicación de Poliuretanos Biodegradables para Aumentar la eficiencia del Agua en la Horticultura. Memorias del XIII Congreso Nacional de Polímeros. Sociedad Polimérica de México. Instituto de Sociedades Nucleares, UNAM. Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM. Cuernavaca, Morelos del 16 al 18 de Noviembre del 2000. pp. 77-80.

Personal de Laboratorio de los Estados Unidos. 1973. Editor Richards L.A. Diagnostico y Rehabilitación de los Suelos Salinos y Sódicos. Ed. LIMUSA. 6ta.Edición.

Resh, H.M. 1987. Cultivos Hidropónicos. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa, España.

Shalhevet, J. 1986. Arid Zone Irrigation, Springer Verlag, New York; Herdelberg; Berlin.

<http://www.adiho.es> Gordilo y Treviño.