

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO.**

DIVISIÓN DE AGRONOMIA



**Evaluación de diversos sustratos y soluciones nutritivas
en la producción de plántulas de
Lechuga (Lactuca sativa Var. Greets Lakes).**

Por:

JORGE ANTONIO ORDOÑEZ PENAGOS.

TESIS

**Presentada como requisito parcial para
obtener el título de:**

Ingeniero Agrónomo en Horticultura.

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Diciembre del 2002**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISION DE AGRONOMIA

**Evaluación de diversos sustratos y soluciones nutritivas
en la producción de plántulas de
Lechuga (*Lactuca sativa* Var. *Greys Lakes*).**

**TESIS
Presentada por:**

JORGE ANTONIO ORDOÑEZ PENAGOS

**Que somete a consideración del H. jurado Examinador
como requisito parcial para obtener el título de:
Ingeniero Agrónomo en Horticultura.**

Dr. ADALBERTO BENAVIDES MENDOZA
Presidente del jurado

M.C. LUIS M. LASSO MENDOZA
Sinodal

MC. JOSE HERNANDEZ DAVILA
Sinodal

L.C.Q GABRIELA PADRON GAMBOA
Asesor Externo

M.C. LEOPOLDO ARCE GONZALEZ
Coordinador de la división de agronomía.
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Diciembre del 2002

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**: Por darme la oportunidad de vivir, la capacidad de seguir adelante, alcanzar mis metas trazadas y por estar presente en todo momento de mi vida. Gracias.

A mi **Alma Terra Mater**: Por brindarme la oportunidad como institución, en la educación profesional y formarme como profesionalista.

Al M.C. **Luis Miguel Lasso Mendoza** por su amistad y motivación para seguir siempre adelante y por la asesoría, paciencia y sugerencia para la planeación de esta tesis.

Al Dr. **Adalberto Benavides Mendoza** por su apoyo en la planeación, conducción y aportación de sus conocimientos para la realización de esta investigación y por haberme brindado su amistad y confianza.

Al ING. **José Hernández Dávila** por la valiosa participación en la revisión del presente trabajo así como el asesoramiento brindado.

A la L.C.Q **Gabriela Padrón Gamboa** por su orientación y opinión en la revisión de esta investigación.

DEDICATORIAS

A la memoria de mi padre Sr. **Jorge Enrique Ordoñez Montes De Oca** con el mas profundo cariño y agradecimiento.

A mi querida madre **Maria Elena Penagos de Ordoñez** con el más profundo cariño y agradecimiento que junto con mi padre pudieron darme una formación a base de trabajo, ejemplo y amor y por mostrarme que la honestidad y el esfuerzo propio son cosas por las que vale la pena esforzarse.

A mis hermanos.

Juan Carlos

Lorena Guadalupe

Víctor Manuel

Por el apoyo moral que me brindaron y la seguridad de que llegaría hasta el final. Gracias.

A mi abuelita.

Adriana

Que siempre me apoyo. Gracias.

A mis cuñados.

Mariana

José Luis

Rocío

A mis sobrinas.

Diana Laura

Jimena

A mis amigos: Josué, Antonio, Juan Carlos, Martín, Sandra, Néstor, Paco, Héctor, Araceli, Cindy, Palafox y muchos más a quienes les agradezco su amistad y apoyo.

A unos amigos muy especiales al Sr. Modesto Hernández y su esposa Sra. Esmeralda De La Rosa Vargas así como a sus hijos. Por su amistad y apoyo. Gracias.

INDICE GENERAL

-AGRADECIMIENTOS.....	I
-DEDICATORIAS.....	II
-INDICE GENERAL.....	III, IV
-INDICCE DE CUADROS.....	V
-INDICE DE FIGURAS.....	VI
-INTRODUCCION.....	1
-OBJETIVOS.....	2
-HIPOTESIS.....	3
-Revisión de literatura.....	3
Producción de transplante.....	3
Cultivo de lechuga.....	4
Origen e historia.....	4
Importancia.....	4
Características botánicas y taxonómicas.....	5
Esterilización del suelo.....	7
Esterilización de bandejas.....	7
Cultivo en sustratos como categoría del cultivo hidropónico.....	8
Aplicaciones.....	8
Ventajas.....	8
Desventajas.....	8
Soluciones nutritivas.....	9
Aplicaciones de las soluciones.....	9
Método para preparar soluciones nutritivas.....	10
Método de la solución madre.....	10
Método normal.....	10
Método de adición de fertilizantes mezclados en seco.....	10
Control técnico de las soluciones nutritivas.....	11
Soluciones nutritivas típicas.....	11
Sustratos.....	14
Definición.....	15
Clasificación de los sustratos.....	15
El uso de los sustratos dentro de los sistemas de cultivos.....	16
Propiedades del sustrato para una optima producción vegetal.....	16
Propiedades físicas.....	17
Propiedades físico-químicas y bioquímicas.....	17
Otras propiedades.....	17
características físicas.....	18
Características químicas.....	19
Criterios para la elección de un sustrato.....	20
Turbas.....	22
Características y propiedades.....	22
Ventajas e inconvenientes de su utilización.....	23
Perlita.....	23
Origen y composición.....	23
Propiedades y características.....	24
Ventajas e inconvenientes de su utilización.....	24

Nuevos materiales utilizados como sustratos o componentes- en los sustratos en el cultivo sin suelo.....	25
Materiales alternativos y/o sustratos.....	25
Espuma de poliuretano-almidon.....	27
Principio de las mazclas.....	28
Metodología de la formulación.....	28
-MATERIALES Y METODOS.....	30
Localización del área experimental.....	30
Descripción del área experimental.....	30
Clima.....	30
Viento.....	30
Vegetación.....	30
Material u utilizado.....	31
Soluciones nutritivas.....	31
Poliacrilamida.....	31
Metodología de la formulación.....	31
Las soluciones nutritivas y sus respectivos pH.....	32
Establecimiento del experimento.....	33
Descripción de tratamientos.....	34
Diseño experimental.....	35
Cronología experimental.....	35
Siembra.....	35
Riego.....	35
Fertilización.....	35
Control fitosanitario.....	35
Evaluación del cultivo.....	36
Variables evaluadas.....	36
Longitud de planta.....	36
Longitud de raíz.....	36
Diámetro de tallo.....	36
Numero de hojas.....	36
Peso fresco.....	37
Peso seco.....	37
RESULTADOS.....	38
DISCUSION.....	43
	49
CONCLUSION.....	51
BIBLIOGRAFIA CITADA.....	52
	53
	54

INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1.....	5
Cuadro 2.2.....	12
Cuadro 2.3.....	13
Cuadro 2.4.....	14
Cuadro 2.5.....	20
Cuadro 2.6.....	26
Cuadro 3.1.....	32
Cuadro 3.2.....	34
Cuadro 4.1.....	38
Cuadro 4.2.....	44

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	39
Figura 2.....	40
Figura 3.....	41
Figura 4.....	42
Figura 5.....	45
Figura 6.....	46
Figura 7.....	47
Figura 8.....	48
Figura 9.....	50
Figura 10.....	50

INTRODUCCION.

La lechuga es la planta más importante del grupo de las hortalizas de hoja; es ampliamente conocida, se cultiva casi en todo los países del mundo y se consume generalmente en ensaladas los sistemas de producción de lechuga en México son sencillos, pudiendo encontrar diferentes tipos y cultivares.

En los últimos años debido al crecimiento de la población humana, los industriales y los agricultores compiten ampliamente por el agua, en la agricultura se presenta el problema del suministro de este recurso para el establecimiento y desarrollo de los cultivos en algunas regiones, limitando al productor a desarrollar sus actividades únicamente a cultivos de temporal. Ello es un problema típico del norte de México, en cuyo entorno se encuentra, en su mayor parte, el desierto mexicano.

El cultivo de lechuga exige mucho cuidado ya que crece con tanta rapidez que en sus cortos intervalos de cambio pueden producir diversos daños irreversibles para la cosecha, que la invalidan para su comercialización y consumo.

Las hortalizas requieren un cuidado intensivo, por lo que exigen una gran cantidad de mano de obra por unidad de superficie cultivada. Estos cultivos son perecederos; además los transportes refrigerados y los envíos en avión encarecen su distribución.

El mundo de las hortalizas es básico en la gastronomía de cualquier país o cultura. Dentro de éstas la lechuga ha sido pieza fundamental del arte culinario, por su utilización en todo tipo de comida, aunado a la gran demanda que tiene en la época actual por sus características de alto valor nutritivo y equilibrio orgánico.

Esta hortaliza es típica de ensaladas, siempre ha sido considerada como una planta de propiedades tranquilizantes. Su alto contenido en vitaminas la hacen una planta muy apreciada en la dietética moderna (Moroto,1992).

La lechuga se encuentra en cualquier época del año y como el resto de las hortalizas, es un buen abastecedor de vitaminas, minerales y sales indispensables para el ser humano. La conciencia que existe por mantener la salud a través del mayor consumo de vegetales y frutas, ha provocado un mayor consumo de éstas, como es el caso de la lechuga, que por lo que corresponde a México, ha crecido constantemente en el campo de las exportaciones de dicho producto, principalmente hacia los Estados Unidos.

Debido a que esta región presenta suelos pobres en nutrientes y una baja retención de agua lo cual hace una ineficiente adaptabilidad de las plántulas, por lo cual se pretende llevar al campo plántulas con mejores características y mayor resistencia a las condiciones de la región.

OBJETIVOS.

- Evaluar el efecto de cuatro sustratos y cinco dosis de fertilización, desde la germinación hasta el transplante en plántulas de lechuga.
- Evaluar la eficiencia de las combinaciones de los sustratos y las soluciones nutritivas en base al crecimiento de las plántulas de lechuga.

HIPOTESIS.

- El cultivo de lechuga presenta diferencias en el desarrollo de plántulas por la influencia de las soluciones nutritivas y los diferentes sustratos utilizados.
- Puede seleccionar la combinación de sustrato y solución nutritiva más adecuada para la producción de plántula de lechuga en la región sureste de Coahuila.

REVISIÓN DE LITERATURA.

PRODUCCIÓN DE TRANSPLANTE.

La tecnología del transplante se ha impuesto sobre la siembra directa durante los últimos 20 años. Entre las 15 especies más comunes tenemos, lechuga, brócoli, tomate, pimiento, repollo y sandía triploide que se producen en gran volumen. Las ventajas que presenta incluyen el menor costo y uso de semillas, uso de especies con dificultad de germinación, uniformidad en el crecimiento, floración temprana y precocidad en la producción. La principal desventaja del transplante es su alto costo de producción en invernadero y establecimiento a campo.

Un transplante de calidad se distingue por tener tallo vigoroso, de una altura de 7 a 12 cm, ausente o mínima clorosis, buen desarrollo radicular, y libre de pestes y enfermedades.

El crecimiento del transplante se puede dividir en cuatro estados:

- 1). De siembra a emergencia radicular.
- 2). De emergencia radicular a la expansión de los cotiledones.
- 3). De la expansión de los cotiledones al desarrollo de hojas verdaderas; y
- 4). Del desarrollo de hojas verdaderas al crecimiento final.

El suministro de niveles óptimos de temperatura, humedad, luz y nutrientes es crítico para obtener un transplante de calidad. La irrigación es la operación más frecuente en los invernaderos y junto con la nutrición son los que mayor impacto tienen en el crecimiento (Leskovar, 1999).

CULTIVO DE LECHUGA. (*Lactuca sativa* L.)

ORIGEN E HISTORIA.

El origen de la lechuga no parece estar muy claro, algunos autores afirman que procede de la India, aunque hoy en día los botánicos no se ponen de acuerdo, por existir un seguro antecesor de la lechuga, *Lactuca scariola* L., que se encuentra en estado silvestre en la mayor parte de las zonas templadas (Mallar, 1978), siendo las variedades cultivadas actualmente una hibridación entre especies distintas.

El cultivo de la lechuga se remonta a una antigüedad de 2,500 años A. de C., siendo conocida por Griegos y Romanos. Las primeras lechugas de las que se tiene referencia son las de hoja suelta, aunque las acogolladas eran conocidas en Europa en el siglo XVI.

IMPORTANCIA.

En México la lechuga se puede explotar durante todo el año, y se reporta una superficie sembrada de 4000 ha, siendo Jalisco, Baja California Norte y San Luis Potosí los principales estados productores.

La importancia del cultivo de la lechuga se ha incrementado en los últimos años, debido a la diversificación de los tipos varietales.

En el cuadro 1 se observan los principales países productores de lechuga y sus rendimientos durante el año 2001, de acuerdo a la F.A.O.

Cuadro. 2.1 Principales países productores de lechuga.

PAÍSES	PRODUCCIÓN AÑO 2001 (millones de toneladas)
China	6.355.000
Estados Unidos	4.488.730
España	990.000
Italia	937.000
India	780.000
Japón	540.000
Francia	520.000
México	200.000
Bélgica-Luxemburgo	190.000
Egipto	185.864
Alemania	174.182
Reino Unido	162.800
Australia	145.000
Portugal	95.000
Chile	85.000

CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS Y TAXONÓMICAS.

La lechuga es una planta herbácea anual, que cuando joven contiene en sus tejidos un jugo lechoso llamado látex, cuya cantidad disminuye con la edad de la planta. Se reporta que las principales raíces de absorción se encuentra a una profundidad de 5 a 30 cm (Guenko, 1983). Weaver y Bunner (1927) mencionan que la raíz principal crece muy rápido y que puede llegar a penetrar hasta 1.80 m de profundidad, característica que explica su relativa resistencia a la sequía.

Las hojas de la lechuga son lisas sin pecíolo (cesiles); el extremo puede ser redondeado o rizado. Su color va de verde amarillo hasta el morado claro, dependiendo del tipo y el cultivar. El limbo es entero y dentado (Ruiz Nieto y Oronos, 1981; Guenco, 1983). El tallo es pequeño y no se ramifica; sin embargo, cuando existen condiciones de altas temperaturas ($> 26^{\circ}\text{C}$) y días largos (>12 hrs.) el tallo se alarga hasta 1.20 m. de longitud, ramificándose el extremo y presentando cada punta de las ramillas terminales una inflorescencia.

Las semillas son largas (4-5 mm), su color generalmente es blanco crema, aunque también hay pardas y castañas; cabe mencionar que las semillas recién cosechadas por lo general no germinan debido a la impermeabilidad que la semilla muestra en presencia del oxígeno (Borthwick y Robins, 1928), por lo que se a utilizado temperaturas ligeramente elevadas (20 a 30°C) para inducir a una rápida germinación.

A continuación se especifica la taxonomía de la lechuga con forme a Valadez (1997)

Familia :	Compositae
Genero :	Lactuca
Especie :	Sativa
Nom. Común :	Lechuga
Var. Botánica :	Capitata: cabeza
Longifolia :	Romana o cos
Crespa :	Hoja
Asparagina :	Tallo

Esterilización del suelo.

La esterilización del suelo se puede hacer por medio de vapor ó con productos químicos. Por medio del vapor, la masa total del suelo debe mantenerse a una temperatura de 82°C por 30 minutos. Se debe adicionar materia orgánica, superfosfato y otros fertilizantes antes de la esterilización; y por otro lado, lavar el suelo después de la misma para evitar la acumulación de sales solubles. posteriormente se debe mantener al suelo sin uso por dos semanas, para evitar daños sobre las plantas debido a materiales tóxicos liberados durante la esterilización. Si se utilizan químicos, se debe procurar un sellado del suelo con plástico y asegurar una temperatura de suelo igual o superior a los 13°C y mantenerlo durante un período de 4 a 14 días antes del uso del suelo. Con una adecuada ventilación, se pueden utilizar lo siguiente: un litro de Vapam en 20 litros de agua para un volumen de suelo de 0.5 m³.

Para camas de cultivo ó semilleros en campo abierto se puede utilizar, (posterior a la preparación del terreno) un litro de Vapam para 5.0 m², en forma de rociado y con posterior tapado con suelo. En forma general, el suelo a una profundidad de 0.15 m, debe mantener una temperatura de al menos 13°C; debe permitirse un lapso de 14 días entre la esterilización y la siembra (U.Cornell, 1999).

Esterilización de bandejas.

De acuerdo a las investigaciones realizadas en la Universidad de Cornell (1999), todas las bandejas pueden esterilizarse con vapor antes de su reutilización. Estas pueden apilarse sobre un banco ó piso, y cubrirse con una lona, debajo de la cual, el vapor es liberado. Un tratamiento mínimo debe ser de 83°C por 30 minutos. Las bandejas pueden separarse horizontalmente por espacios de 2 cm ó apilarse con espacios verticales de 2.5 cm. Si no se puede utilizar vapor debe utilizarse productos químicos, de los cuales, las soluciones cloradas (compuestas por una relación de 1 parte de hipoclorito de sodio y 9 de

agua) son probablemente los más efectivos esterilizadores. Se sumergen las bandejas en el tanque de solución y posteriormente se drenan sobre el mismo. Se apilan las bandejas bajo una lona por 24 horas, después se descubren y se mantienen húmedas con atomizaciones hasta que el olor a cloro desaparezca.

CULTIVO EN SUSTRATO COMO CATEGORÍA DE CULTIVO HIDROPÓNICO.

Aplicaciones.

Este es el sistema de cultivo más adecuado para toda aquella persona que se inicia en la hidroponía. Es el método ideal para lograr una alta producción a la vez que ocupa más mano de obra, lo que es de gran importancia social para un país como México. Este método es el que más ventajas tiene para enraizar esquejes, para germinar semillas y desarrollar plántulas sanas (Sánchez y Escalante, 1983).

Ventajas.

- a). Es el sistema que menos conocimiento técnico y experiencia previa requiere para poder ser practicado con éxito.
- b). Aunque hay métodos de cultivo en agregados cuyos costos de instalación son elevados, en general es el sistema hidropónico es el más barato ya que no requiere de equipo e instalaciones costosas.
- c). La arena es uno de los sustratos más fáciles de conseguir.
- d). La absorción de los agregados permite métodos de riegos a base de capilaridad.

Desventajas.

- a). En regiones lluviosas hay tendencia al anegamiento cuando se trabaja al aire libre debido a la absorbencia de los agregados.

b). No existe un control tan estricto de los elementos nutritivos debido a que ocurre una paulatina acumulación de los mismos en el agregado.

c). La perlita y la vermiculita se van desintegrando con el tiempo, lo que va en detrimento de una aireación eficiente (Sánchez y Escalante, 1983).

SOLUCIONES NUTRITIVAS.

La solución nutritiva es el conjunto de elementos nutritivos requeridos por las plantas, disueltos homogéneamente en agua.

Uno de los puntos decisivos para el éxito en un cultivo hidropónico es la composición de las soluciones nutritivas, pudiéramos decir que es el elemento más delicado y más importante. Las soluciones deberán contener todos los elementos necesarios para el desarrollo de las plantas en condiciones adecuadas y aplicando las dosis convenientes (Ellis, 1958; Durany, 1973; Penningsfeld, 1975. Citados por Solano, 1985).

Aplicaciones de la solución.

La experiencia práctica es el mejor juez para determinar la periodicidad de aplicación de la solución nutritiva. El tamaño y la clase de planta, así como las condiciones climáticas son los principales factores involucrados por lo que un tiempo frío y nublado reduce el consumo de agua y nutrientes. También se debe tener en cuenta el tipo y la concentración de la solución; por ejemplo las soluciones diluidas deben aplicarse más frecuentemente que las concentradas (Sánchez y Escalante, 1983).

Métodos para preparar soluciones nutritivas.

Son tres los métodos que más frecuentemente se usan en la preparación de soluciones nutritivas en hidroponía: método de las soluciones madre, método normal y método de adición de los fertilizantes mezclados en seco. A continuación se describen cada uno de ellos.

Método de las soluciones madre.

a). Este método consiste en preparar una solución concentrada de sales (nutrientes) necesarios para el cultivo; a la cual llamamos madre, tomamos una parte y la diluimos con agua a medida que se vaya a requiriendo para emplearse en el cultivo.

b). Se utiliza en trabajos experimentales donde se labora con distintos cultivos y/o varias concentraciones de las soluciones a la vez. También se usa el preparar soluciones madre de microelementos, ya que estos son requeridos en muy pequeñas cantidades, su pesado y preparación presenta ciertos problemas prácticos.

Método normal.

En este método, mucho menos elaborado que el anterior, los fertilizantes se van añadiendo en seco uno a uno al agua y en las cantidades recomendadas para formar la solución nutritiva. Este es el método más usado para hacer la solución de macronutrientes.

Método de adición de fertilizantes mezclados en seco.

a). En este método todos los fertilizantes que intervienen en la solución (comúnmente los macroelementos) se revuelven en seco hasta lograr una mezcla homogénea y, posteriormente se disuelven en el volumen total del agua necesaria para preparar la solución (Sánchez y Escalante, 1983).

b). Se debe tener cuidado de disolver la mezcla de sales en un volumen adecuado de agua, debido a que, si se disuelve en poco volumen de agua corre el peligro de producirse una alta concentración de sales, ocasionando la precipitación de los iones en compuesto insolubles.

c). En este método es imprescindible el no utilizar sales higroscópicas, ya que al absorber la humedad de la atmósfera, además de ganar peso hacen que la mezcla adquiera una consistencia pastosa y pegajosa (Cellis, 1958; Hewitt, 1996; citado por Cano, 1997).

Control técnico de las soluciones nutritivas.

Las plantas crecen razonablemente bien dentro de rangos más o menos amplios de variación con respecto a los elementos esenciales. Sin embargo, para asegurar resultados satisfactorios es necesario controlar ciertos factores técnicos relacionados con las soluciones nutritivas. De entre los factores que se deben tomar en cuenta se mencionan los siguientes: calidad del agua, pH de la solución, control de volumen de la solución y balance de los elementos nutritivos.

Soluciones nutritivas típicas.

Una solución nutritiva se usa para varias especies de cultivos o también un cultivo determinado puede desarrollarse adecuadamente con varias fórmulas, siempre y cuando, los elementos esenciales en la solución queden comprendidos dentro de los rangos óptimos para su desarrollo. Existen en la actualidad más de 100 fórmulas de soluciones nutritivas que se han probado con éxito en la práctica de la hidroponía alrededor del mundo. Algunas son adecuadas para ciertas condiciones climáticas y para ciertos cultivos, mientras que otras se presentan para condiciones y cultivos diferentes (Sánchez y Escalante, 1983).

Cuadro. 2.2 Rangos mínimo, óptimo y máximo de elementos presentes en Soluciones Hidropónicas según Douglas. 1976. (ppm)

Elemento	Mínimo	Óptimo	Máximo
Nitrógeno	150	300	1000
Calcio	300	400	500
Magnesio	50	75	100
Fósforo	50	80	100
Potasio	100	250	400
Azufre	200	400	1000
Cobre	0.1	0.5	0.5
Boro	0.5	1	5
Fierro	2	5	10
Manganeso	0.5	2	5
Molibdeno	0.001	0.001	0.002
Zinc	0.5	0.5	1

Citado por: Ceron, 1993.

Numerosas formulaciones de soluciones nutritivas se han diseñado a partir de estudios sobre la composición de las plantas y de otros estudios en los que se administraron diversas concentraciones de elementos a plantas en crecimiento

Cuadro. 2.3 Concentración de las soluciones Hogland y Arnon.

Sal	mM	Mg/l(t(ppm)
KNO ₃	6.0	235 K, 196 N como NO ₃
Ca (NO ₃) ₂ .4H ₂ O	4.0	14 N como NH ₄ , 160 Ca
NH ₄ H ₂ PO ₄	1.0	31 P
Mg SO ₄ .7 H ₂ O	2.0	49 Mg, 64 S.
MnCl ₂ .4H ₂ O	0.009	0.5 Mn, 6.5 Cl
H ₃ BO ₃	0.046	0.5 B
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.0008	0.05 Zn
CuCO ₄ .5H ₂ O	0.0003	0.02 Cu
H ₂ MoO ₄ .5H ₂ O	0.0001	0.01 Mo
Fe (quelato)	Sol. std. de quelato de hierro de concentración 5g/l, y con adición de 2 mil de esta solución a cada litro de sol. nutritiva.	

Fuente: Hoagland y Arnon. 1950. Citado por Salisbury y Ross (1994).

Cuadro. 2.4 formula general para la germinación prematura y el fortalecimiento de la planta en el periodo de crecimiento.

NOMBRE	FORMULA	CANTIDAD
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	90gr
Sulfato de magnesio	MgSO_4	30gr
Fosfato mono potásico	KH_2PO_4	20gr
Nitrato de potasio	KNO_3	35gr
Sulfato de potasio	K_2SO_4	15gr
Sulfato de hierro	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	10gr
Sulfato de manganeso	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1 gr
Acido bórico	H_2BO_3	0.5gr
Sulfato de zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.5gr
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.5gr

Citado por Zamora (1998).

SUSTRATOS.

Las técnicas culturales utilizadas en la producción vegetal han experimentado rápidos y notables cambios durante las tres últimas décadas. Unido a estos rápidos cambios tecnológicos, se ha producido una notable sustitución del cultivo tradicional en el suelo por el uso de otros soportes o sustratos, más o menos inertes.

Los actuales conocimientos en el campo de la nutrición vegetal y su aplicación agronómica, así como los nuevos fertilizantes, han ofrecido la posibilidad de un cultivo más ajustado a las necesidades específicas y estacionales. Así se ha creado toda una técnica de cultivo forzado, en la cual, los sustratos y la fertilización tienen gran importancia (Ballester-Olmos, 1992).

Definición.

El término sustrato se aplica en horticultura a todo material sólido distinto del suelo *in situ*, natural, de síntesis ó residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura ó en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir material químicamente activo o material inerte en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta (Abad, 1991; citado por Cadahia, 1998).

CLASIFICACIÓN DE LOS SUSTRATOS.

Entre los diferentes criterios de clasificación de los sustratos, merece ser destacado el que se basa en las propiedades de los materiales:

1. Químicamente inertes, como la arena granítica o silícea, grava volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca, etc.
2. Químicamente activos, como turbas (rubias y negras), cortezas de pino, vermiculita, materiales ligno-celulósicos, etc.

La diferencia entre ambos tipos de materiales viene determinada por la capacidad de intercambio catiónico, la propiedad físico-química relacionada con la capacidad de almacenamiento de nutrientes por parte del sustrato.

En el primer caso, el material actúa única y exclusivamente como soporte de la planta, sin intervenir en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes. Estos han de suministrarse mediante la solución fertilizante, que debe ajustarse al máximo con el objeto de no crear disfunciones en la planta. El cultivo en este tipo de sustratos es en la práctica un

verdadero cultivo hidropónico, que requiere una avanzada tecnología en las instalaciones y una elevada especialización del personal.

En el segundo caso, el sustrato además de servir de soporte, actúa como depósito y reserva de los nutrientes aportados mediante la irrigación, almacenándolos o cediéndolos según las exigencias de los cultivos.

Entre las características de los sustratos, podemos mencionar inicialmente su pureza, la actividad química o enzimática (que promueve o retarda la degradación), y sobre todo las características físicas que le dan ciertas ventajas para mejorar la producción y los rendimientos, las cuales se mencionan a continuación.

EL USO DE SUSTRATOS DENTRO DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO.

Se entiende por cultivo sin suelo aquel sistema de cultivo en el que la planta desarrolla un sistema radicular en un medio (sólido ó líquido) confinado en un espacio limitado y aislado, fuera del suelo. Desde un punto de vista práctico, los cultivos sin suelo suelen clasificarse en cultivos hidropónicos (cultivo en agua más nutrientes o sobre materiales inertes) y cultivos en sustrato (cultivos sobre materiales químicamente activos, con capacidad de intercambio catiónico). En adición, los cultivos sin suelo pueden funcionar como sistema abiertos, a solución pérdida, no recirculante, o como sistemas cerrados, con recirculación de las soluciones nutritivas (FAO, 1990; citado por Cadahia, 1998).

PROPIEDADES DEL SUSTRATO PARA UNA OPTIMA PRODUCCIÓN VEGETAL.

Ya que las plantas responden a las características o propiedades de los sustratos más bien que a sus materiales constituyentes o componentes, se debe hablar de las características ideales de los sustratos a utilizar en el cultivo sin suelo.

Para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plantas, se requieren las siguientes características del sustrato (Raviv *et al.* 1986; Abad. 1991, 1995; citados por Cadahia, 1998):

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. Densidad aparente;
- E. Elevada porosidad total; y
- F. Estructura estable, que impida la contracción (o Hinchazón) del sustrato.

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y QUÍMICAS.

- A. Baja o apreciable capacidad de intercambio catiónico, dependiendo de que la fertirrigación se aplique permanentemente o de modo intermitente, respectivamente;
- B. Suficiente nivel de nutrientes asimilables;
- C. Salinidad reducida;
- D. pH ligeramente ácido y moderada capacidad reguladora; y
- E. Mínima velocidad de descomposición.

OTRAS PROPIEDADES.

- A. Libre de semillas de malas hierbas, sustancias fitotóxicas, nematodos y otros patógenos.
- B. Disponibilidad.
- C. Bajo costo.
- D. Fácil de preparar y manejar.

- E. Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección y
- F. Resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales.

(Cadahia, 1998).

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.

La primera de ellas, es la aireación, la cual es esencial para desarrollar el proceso de oxigenación y nutrición balanceada de la planta.

En seguida, la capacidad de retención de humedad, la cual se mide en porcentaje, y es precisamente la cantidad de agua que queda en el sustrato después de la saturación y el drenaje. La capacidad de retención está directamente relacionada con la porosidad y tiene una gran importancia cuando el sustrato se utiliza en contenedores.

De acuerdo con las necesidades de la mayoría de las hortalizas, es aconsejable utilizar sustratos con una capacidad de retención que oscile entre 35 y 50% del volumen.

Respecto a la porosidad, se considera que está representada por el volumen total en el sustrato, que no está ocupado por las partículas minerales u orgánicas. Los valores de la porosidad varían en función del tamaño de las partículas sólidas. Así en la turba según su textura, la porosidad se ubica entre el 15 y el 25%; el valor idóneo para la porosidad es muy difícil de precisar *a priori*, ya que según el desarrollo radicular de la planta, se ocupará el espacio de los poros. Por ello, según los datos del cultivo se deberá elegir la porosidad. Por ejemplo, si se requiere mucho espacio, necesitaremos una porosidad mayor del 20%.

Otro factor a considerar en el sustrato, será la densidad, la cual se refiere al peso específico del sustrato en estado seco, y se mide en g/cm^3 . En principio un valor bajo de la densidad, parece lo mejor por su facilidad de transporte y rapidez de preparación. En cualquier caso la densidad puede ser modificada mediante la mezcla de arena inerte. Densidades de 400-500 Kg/m^3 parecen ser lo más indicado (Muñoz, 1997).

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.

Cuando hablamos de cultivos hidropónicos, podemos decir que las características químicas del sustrato son elementales para garantizar la nutrición del cultivo. Por ejemplo, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) o capacidad de saturación, representa la cantidad máxima de cationes (de todas las clases) que es capaz de retener un sustrato. Esta característica, se expresa en miliequivalentes por gramo (meq/g). Se considera en este punto, que los valores de CIC comprendidos entre 6 y 15 meq/g, son adecuados para casi todos los casos.

Por lo que se refiere al valor del pH de un sustrato, es muy importante que este se encuentre dentro de los límites de tolerancia específica de cada cultivo. Sin embargo, en algunos casos, se deberá considerar un valor del pH más bajo de los que se utilizan a campo abierto, con el objeto de favorecer la absorción de ciertos nutrientes.

En la relación carbono/nitrógeno es necesario mantener un valor homogéneo para facilitar un mismo ritmo de descomposición de la materia orgánica (humificación). Una relación C/N alta mayor a 20 (caso de un material vegetal fresco), indica un medio con una tasa de mineralización lenta y habrá que recurrir a suplir la carencia del N con abonos minerales.

En lo referente a la salinidad, un buen sustrato deberá estar exento por completo de exceso de sales.

El contenido de materia orgánica del sustrato es importante, ya que esta le confiere varias características. Una de ellas es mejorar la estructura y las propiedades físicas. De hecho, la materia orgánica funciona como estabilizador de la temperatura del medio y al mismo tiempo, activa la acción enzimática de las raíces. Estos aspectos son básicos para mejorar el aprovechamiento de los nutrientes, pero desde el punto de vista nutricional, la materia orgánica de un sustrato, no juega ningún papel relevante, ya que el tiempo que

permanece una planta sobre el sustrato, no es suficiente para que la humificación de la materia orgánica permita una mineralización (Muñoz y Cantera, 1997).

Cuadro. 2.5 Características de los principales sustratos que se utilizan en los Invernaderos.

CARACTERISTICA	TURBAS	ARENAS	LANA DE ROCA	PERLITA	VERMICULITA
ORIGEN	Orgánico de aluvión	Mineral neutral	Mineral extruído	Mineral volcánico	Mineral hidratado
COMPOSICIÓN	Musgo sphagnum	Calizas-silicias	Silicatos + oxidos	Silicatos + oxidos	Silicato hidratado
pH	Acido	Acido	Neutro	neutro	Neutro
RETENCION DE HUMEDAD	+	-	+/-	-	-
POROSIDAD	+/-	+	+/-	+	+/-
INERCIA QUIMICA	+	+	-	-	+
ESTERILIDAD	+/-	¿?	+	+	+/-
PESO / VOLUMEN	+	+	-	-	-
DURABILIDAD	2 años	3-4 años	2 años	2 años	1 año

Fuente: Muñoz y Cantera, 1997.

CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE UN SUSTRATO.

La elección de un material particular viene determinada usualmente por:

- 1) **El suministro y homogeneidad.** Se invierte mucho tiempo dinero y esfuerzo en poner a punto un sistema que permita preparar y manejar un sustrato particular Por otra parte, cada sustrato requiere su propio plan de riego y fertilización. Un cambio en la calidad

del sustrato puede llegar a alterar el sistema completo, dando como resultado grandes pérdidas en la producción final. Son particularmente difíciles de descubrir los cambios que no pueden ser detectados visualmente.

2) **La finalidad de la producción.** Los objetivos del cultivo sin suelo, como técnica de producción comercial, pueden ser muchos y distintos: rápido crecimiento de las plantas y siendo la calidad de mayor importancia; plantas de elevada calidad, con tamaño óptimo y aspecto excelente y uniforme; plantas que presenten pocos problemas cuando se trasplantan y reciban pocos cuidados posteriores entre otros.

3) **Su costo.** En una Horticultura competitiva, el costo de los materiales utilizados es importante. Sin embargo, el costo del sustrato no debe invalidar otros aspectos o factores, ya que el material elegido debe permitir alcanzar el objetivo propuesto, con el mínimo de riesgos o inconvenientes.

4) **Sus propiedades.** Una vez que se ha decidido la finalidad de la producción y se conocen los costos y la disponibilidad del material, el siguiente paso es examinar con detalle las propiedades del mismo. Las analogías y las diferencias entre los distintos materiales utilizados como sustratos pueden ser comprendidas más fácilmente, si las características de dichos materiales se consideran agrupadas en propiedades físicas, propiedades químicas y propiedades biológicas. Por otra parte, las propiedades de los materiales son factores dominantes, que determinan el manejo posterior del sustrato.

5) **La experiencia local en su utilización.** Existen diferencias marcadas entre las zonas de producción en aspectos tales como estructura de los invernaderos y condiciones climáticas de los mismos, calidad del agua de riego, especies, variedades y ciclos de cultivo, etc. Estas diferencias obligan a desarrollar planes o programas de investigación,

experimentación y extensión, con objeto de ofrecer finalmente al agricultor un paquete tecnológico adecuado a sus condiciones particulares, (Bunt, 1988; Handreck y Black, 1991; citados por Cadahia, 1998)

Generalmente, estos factores son interdependientes. El factor individual más importante a la hora de elegir un determinado material como sustrato para el cultivo sin suelo, es la ausencia de sustancias que sean tóxicas para la planta (fitotoxinas) Cadahia (1998).

TURBAS.

Penningsfeld y Kurzmann (1983) han definido la turba como la forma disgregada de la vegetación de un pantano, descompuesta de modo incompleto a causa del exceso de agua y la falta de oxígeno, que se va depositando con el transcurso del tiempo, lo que favorece la formación de estratos más o menos densos de materia orgánica, en los que se pueden identificar los restos de diferentes especies vegetales (Cadahia, 1998).

Strasburger *et al.* (1986) han señalado que este material orgánico de origen natural está formado por restos de musgos y de otras plantas superiores, que se hallan en proceso de carbonización lenta, fuera del contacto con el oxígeno, por lo que conservan largo tiempo su estructura anatómica (Cadahia, 1998).

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES.

Podemos encontrar una gran variabilidad de turbas en el mercado, cada una de ellas con características y propiedades físicas y químicas específicas, todas ellas con diferente composición botánica, condición de formación, grado de descomposición tamaño de

partículas, nivel de fertilización, metodología de expansión y elaboración, entre otras (Cadahia, 1998).

Desde un punto de vista general, las características más importantes de las turbas *Sphagnum* estructura mullida, bajas densidades aparente y real, porosidad total elevada, suficiente contenido de aire, alta capacidad de retención de agua total y disponible (asimilable), pH ácido, salinidad reducida, elevada capacidad de intercambio catiónico, alto contenido en materia orgánica y bajo nivel de nutrientes asimilables, (Penningsfeld y Kurzmann, 1983; Puustjärvi, 1994), (Cadahia, 1998).

Ventajas e inconvenientes de su utilización.

Las turbas son los componentes más ampliamente utilizados en los medios de cultivo de las plantas ornamentales que crecen en macetas, debido a sus excelentes propiedades físicas, físico-químicas, químicas y biológicas. Adicionalmente, estos materiales orgánicos presentan un efecto estimulador sobre el crecimiento y el desarrollo de las plantas, lo que se ha atribuido a la presencia de activadores de crecimiento (compuestos de naturaleza hormonal, sustancias húmicas, etc.) (Abad *et al*, citado por Cadahia, 1998).

PERLITA.

Origen y composición

Es básicamente un silicato aluminico de origen volcánico y de composición variable, que depende de las características de la roca volcánica original.

La perlita proviene de rocas volcánicas vítreas (grupo de las riolitas), las cuales se han formado por enfriamiento rápido, constituyendo un material amorfo. que contiene un 2 - 5% de agua combinada. En su tratamiento industrial, este material se fragmenta en

partículas de pequeño tamaño, se precalienta a 300-400 °C y se deposita en hornos a 1,000 – 1,100 °C durante un corto período de tiempo (5 minutos). El agua combinada se evapora rápidamente, expandiéndose el producto (hasta 20 veces su volumen inicial) para formar un material particulado (agregados ligeros) con una densidad aproximada de 125 Kg/m³, cuando la roca original pesaba 1.500 kg/m³ (Moinereau et al., 1987; Bunt, 1988; FAO, 1990).

Propiedades y características

La perlita conforma una estructura cristalina cerrada. Su superficie es rugosa y contiene numerosas indentaciones, lo que le proporciona una gran área superficial y le permite retener agua en su superficie. Debido a esta estructura cristalina cerrada, el agua es retenida solamente en la superficie de las partículas o en los poros existentes entre dichas partículas, siendo liberada a muy bajas tensiones. En consecuencia, las mezclas de materiales con elevada proporción de perlita están usualmente bien aireadas y no retienen cantidades elevadas de agua. Esta condición determina que la perlita se utilice ampliamente como componente de aireación en los sustratos de cultivo.

Ventajas e inconvenientes de su utilización.

Durante estos últimos años se viene observando un marcado incremento en la superficie dedicada al cultivo hidropónico de hortalizas en sacos de perlita.

La principal ventaja del cultivo en perlita, en comparación con otros sistemas de cultivo sin suelo, es la facilidad y sencillez para mantener un perfil de humedad casi constante a lo largo de la zona radicular, con independencia del momento del día, las condiciones climáticas o el estado de desarrollo de la planta (Abad, 1993).

NUEVOS MATERIALES UTILIZADOS COMO SUSTRATOS O COMPONENTES DE LOS SUSTRATOS EN EL CULTIVO SIN SUELO.

Materiales alternativos y/o sustitutos.

El cultivo sin suelo encuentra dos aplicaciones de importancia, como técnica de producción comercial, en el cultivo en sustrato de plantas ornamentales en contenedor y en el cultivo hidropónico de hortalizas. En ambos campos de aplicación, se vienen produciendo cambios significativos en los materiales utilizados como sustratos o componentes de los sustratos de cultivo.

Se ha emprendido una activa búsqueda de materiales alternativos, siendo sus principales razones: el elevado precio de la turba hortícola de calidad, particularmente en países sin recursos locales de turba *Sphagnum*, y su cuestionable disponibilidad futura por motivos ecológicos, ya que las reservas de turba no son renovables.

Esto ha conducido a la utilización de materiales orgánicos alternativos y/o sustitutos de las turbas, particularmente autóctonos y con una disponibilidad local. En este contexto, y con objeto de proceder a la transformación ecológica y al reciclado de los materiales de desecho, numerosos residuos y subproductos agrícolas y agropecuarios, forestales, Industriales, urbanos. etc.. Están siendo utilizados con éxito como componentes de los sustratos de cultivo. Como han demostrado múltiples investigaciones llevadas a cabo durante los últimos años, el sector profesional de los sustratos de cultivo es capaz de aprovechar muchos materiales que son residuos o subproductos de nulo o escaso valor, favoreciendo así una demanda creciente de materiales de desecho y revalorizando, a la vez, dichos productos.

Por otra parte, se están introduciendo en el mercado español algunos residuos y subproductos ya conocidos y utilizados como sustratos de cultivo en otros países. Entre éstos, merece destacarse la fibra de coco, un residuo orgánico agroindustrial de origen tropical. Se genera después de que el mesocarpio del fruto del coco ha sido procesado para extraer las fibras más largas, que se destinan a la fabricación de cuerdas, esteras, tapicerías, etc. En la siguiente tabla se presenta un listado de los residuos y subproductos generados en diferentes actividades de producción y consumo, los cuales son susceptibles de utilizar como sustratos o componentes de los sustratos en el cultivo sin suelo.

Cuadro. 2.6 Materiales residuales y subproductos orgánicos generados en diferentes producción y consumo, susceptibles a ser utilizados como sustratos o componentes de los sustratos de cultivo.

Actividad	Residuo/Subproducto
Explotación agrícola	Composta de champiñones ya utilizado, pajas de cereales, restos de poda, etc.
Explotación forestal	Cortezas de árboles, piñas de desecho, residuos del corcho, aserrín y virutas de la madera, tierra de bosque, etc.
Explotación ganadera	Estiércoles, gallinaza, pieles y lana, etc.
Industria agroalimentaria	Cascarilla de arroz, fibra de coco, lodos de apelmachado, orujos de uva y de aceituna, residuos de café y de cacao, restos de frutas y hortalizas, etc.
Industria papelera	Lodos de papelera.
Industria textil	Algodón, fibras acrílicas, lana, etc.
Núcleos urbanos	Lodos de depuración de aguas residuales, residuos sólidos urbanos, restos de poda de jardinería urbana, etc.

Fuente: Abad et al (1997) citado por Cadahia, 1998.

Finalmente, señalar que el rápido crecimiento de la industria de los plásticos ha favorecido el uso como sustratos de algunos materiales orgánicos sintéticos, como el poliuretano expandido reciclado. Se obtiene a partir de los residuos de la industria de la espuma de poliuretano y presenta una gran durabilidad en condiciones de cultivo en campo, basta unos 10 años.

ESPUMA DE POLIURETANO - ALMIDON.

En la actualidad el mercado se encuentra dominado por materiales de importación provenientes de Canadá y Estados Unidos, por lo que dicha actividad es muy sensible a la variación en el tipo de cambio. Por otra parte, además del aspecto económico debe resaltarse que a excepción de la Turba ninguno de los materiales es biodegradable, por lo que el desarrollo de tecnologías de transplante hortícola con materiales biodegradables puede constituir un gran avance en la disminución de desechos plásticos.

El uso de biopolímeros (espumas de poliuretano-almidón) en la investigación hortícola tiene un valor intrínseco, ya que puede ser fuente de enseñanza acerca de las respuestas fisiológicas y adaptativas de las plantas. Las ventajas obtenidas con la utilización de biopolímeros son la disponibilidad extensa y el bajo costo, la oportunidad de utilizarlos de forma pura o mezclados, la riqueza de nutrientes y su carácter orgánico. Las desventajas se refieren a la carencia de una política de establecimiento de estándares de calidad con la resultante falta de consistencia en las características físicas, químicas y biológicas finales. La aplicación extensa de los biopolímeros como sustituto de los sustratos actualmente utilizados depende de corregir los anteriores problemas (Govin, citado por Benavides M. *et al.* 1999).

Principios de las mezclas

Pocas veces un material reúne por sí solo las características físicas y químicas más adecuadas para unas determinadas condiciones de cultivo. En la mayoría de los casos, será necesario mezclarlo con otros materiales, en distintas proporciones, para adecuarlo a las condiciones requeridas.

Cuando se mezclan materiales con tamaños de partícula diferentes, el volumen final resultante es generalmente inferior a la suma de los volúmenes de los materiales originales. Además, cuanto mayor sea la diferencia entre los tamaños de las partículas, mayor será la reducción del volumen en la mezcla. Al mezclar dos materiales con granulometrías diferentes, el material con granulometría más fina ocupa los vacíos existentes entre las partículas del material con granulometría más gruesa, dando lugar a una reducción en el volumen de la mezcla y en su porosidad total.

Se denomina proporción umbral a aquella proporción entre dos o más materiales que hace que la porosidad total de la mezcla sea mínima. La existencia de la proporción umbral determina que las propiedades físicas de los sustratos no sigan relaciones lineales al mezclar materiales distintos, no siendo posible, por tanto, determinar *a priori* las propiedades de una mezcla a partir de los materiales originales, tanto más cuanto mayor sea la diferencia entre los tamaños de sus partículas.

Siempre que se mezclen dos o más materiales, deberá prestarse una especial atención a la homogeneidad de la mezcla resultante, con objeto de obtener mezclas lo más homogéneas posibles.

Metodología de la formulación

En primer lugar los materiales constituyentes de la mezcla deberán llevarse hasta una humedad del 50 - 60% (en peso). Si los materiales son muy hidrofóbicos, se añadirá un mojante (tipo tensoactivo o detergente agrícola).

Se determinará el volumen total necesario del sustrato de cultivo, así como también el volumen de cada uno de los componentes de la mezcla. Conviene incrementar este último volumen en un 20%, aproximadamente, para evitar los efectos de la reducción de volumen. Se evitará la incorporación de un número elevado de materiales (óptimo de 2 a 4), con objeto de que la mezcla sea homogénea y viable económicamente.

Se realizarán los ajustes de pH necesarios en aquellos materiales que no posean un pH adecuado para el cultivo, alcalinizándolos o acidificándolos según sea el caso. Los ajustes se deberá aplicar, como mínimo, una semana antes de establecer el cultivo.

A continuación, se mezclan los componentes. Posteriormente, se añaden los macronutrientes, se vuelve a mezclar, y se incorporan los micronutrientes en disolución o suspensión acuosa. Finalmente, la mezcla se deberá volver a homogeneizar.

No es recomendable incorporar abonos de liberación lenta ni urea si el sustrato ha de almacenarse durante un tiempo prolongado. Durante el período de almacenamiento, estos abonos pueden liberar nutrientes o modificar el pH, pudiendo crear condiciones que se convierten en tóxicas para la planta (fitotoxicidad).

MATERIALES Y METODOS

Localización del área experimental.

La presente investigación se realizó en el invernadero número 3 del departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

La UAAAN geográficamente se encuentra situada:

25° 22' 44" Latitud Norte.

101° 02' Longitud Oeste.

1743 msnm.

La UAAAN se localiza en Buenavista, a 7 Km. al sur de la ciudad de Saltillo, ubicada en la región sur del estado de Coahuila.

Descripción del área experimental.

Clima.

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

Viento.

Los vientos predominantes son del sureste, en casi todo el año, a excepción del invierno donde los que predominan son del noreste, y se presentan con mayor intensidad en los meses de Febrero y Marzo.

Vegetación.

Clasificado como matorral desértico rosetófilo, pastizal inducido natural, matorral chaparral, bosque de pino, de encino y bosque cultivado de pino.

Material utilizado.

40 charolas depoliestireno de 200 cavidades.

peatmost - perlita - vermiculite.

Peatmost - perlita.

Espuma Hidrofilita con Poliacrilamida.

Espuma Hidrofilita sin Poliacrilamida.

Soluciones nutritivas.

Douglas

Hogland

Fertilizantes en solución.

Poliacrilamida.

Otro de los materiales utilizados fue la poliacrilamida que es de producción nueva; es un polímetro electrolítico que une partículas de suelo dentro de agregados estables al agua. Esto da como resultado una mejor aireación, penetración y retención del agua. La poliacrilamida es un material granular fácil de manejar que no tiene olor.

Metodología de la formulación.

Las mezclas se preparan con las siguientes proporciones:

peatmost (33%)- perlita (33%)- vermiculita (33%) **PPV**

peatmost (50%)-perlita (50%) **PP**

Peatmost (80%)- Espuma Hidrofilica con Poliacrilamida (20%) **EHC**

Peatmost (80%)- Espuma Hidrofilica sin Poliacrilamida (20%) **EHS**

Llevándose a una humedad del 50 al 60 % (en peso).

Se determino el volumen total del sustrato para el cultivo, se realizaron los ajustes de pH necesarios en aquellos que no poseen un pH adecuado para el cultivo, alcalinizándolos o acidificándolos según sea el caso. Numerosas formulaciones útiles de soluciones nutritivas se han diseñado partir de estudios sobre la composición de las plantas y de otros estudios en los que se administraron diversas concentraciones de elementos de plantas en crecimiento.

Cuadro. 3.1 RESULTADO DE LOS ANALISIS HECHOS A LAS ESPUMAS HIDROFILICAS BIODEGRADABLES POLIURETANO - ALMIDÓN (Cubos de 2 cm²)

CARACTERISTICA	BIOPOLIMERO CON POLIACRILAMIDA	BIOPOLIMERO SIN POLIACRILAMIDA
Peso seco	0.68 g	0.57 g
Peso 24 hr en agua	3.07 g	1.35g
Densidad en seco	0.085 g/cm ³	0.070 g/cm ³
Densidad 24 hr en agua	0.385 g/cm ³	0.169 g/cm ³
24 hr en agua	pH = 6.65	pH =6.06
24 hr desp. Drenado	pH = 7.3	pH =7.0

Las soluciones nutritivas utilizadas y sus respectivos pH:

Douglas Óptimo. pH 7.4

Douglas Mínimo. pH 7.3

Hogland pH 7.23

Soluciones con fertilizantes. pH 7.42

Testigo.

Establecimiento del experimento.

Este trabajo se realizó en el periodo Otoño-Invierno del 2000 en el invernadero número 3 del departamento de Horticultura. La especie utilizada fue Lechuga (*Lactuca sativa* Var. *Great lakes*).

En cada charola se colocaron dos tratamientos es decir media charola es una unidad experimental.

Se plantearon 20 tratamientos con diferentes combinaciones de solución y sustrato; formando un total de 20 tratamientos con 4 repeticiones para un total de 80 unidades experimentales. Una unidad experimental consta de media charola, por lo que se requieren 40 charolas en total.

Cuadro 3.2 Descripción de los tratamientos.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS
1	Douglas mínima y Espuma Hidrofílica sin Poliacrilamida
2	Douglas mínima y Espuma Hidrofílica con Poliacrilamida
3	Douglas mínima y Peatmost -Perlita
4	Douglas mínima y peatmost-perlita-vermiculita
5	Douglas óptima y Espuma Hidrofílica sin Poliacrilamida
6	Douglas óptima y Espuma Hidrofílica con Poliacrilamida
7	Douglas óptima y Peatmost-Perlita
8	Douglas óptima y Peatmost-Perlita-Vermiculita
9	Hogland y Espuma Hidrofílica sin Poliacrilamida
10	Hogland y Espuma Hidrofílica con Poliacrilamida
11	Hogland y Peatmost-Perlita
12	Hogland y Peatmost-Perlita-Vermiculita
13	Fertilizantes y Espuma Hidrofílica sin Poliacrilamida
14	Fertilizantes y Espuma Hidrofílica con Poliacrilamida
15	Fertilizantes y Peatmost-Perlita
16	Fertilizantes y Peatmost-Perlita-Vermiculita
17	Testigo y Espuma Hidrofílica sin Poliacrilamida
18	Testigo y Espuma Hidrofílica con Poliacrilamida
19	Testigo y Peatmost-Perlita
20	Testigo y Peatmost-Perlita-Vermiculita

Diseño experimental.

El diseño experimental empleado fue completamente al azar con 20 tratamientos y 4 repeticiones con un total de 80 unidades experimentales.

Cronología experimental.**Siembra.**

La siembra se realizó el 6 de octubre de 2000. Se colocaron las charolas en camas flotantes haciendo aplicaciones de riego con regaderas y aspersoras, transcurriendo los días, el 13 de octubre de 2000 se tomaron los primeros datos de germinación.

Riego.

Los riegos se llevaron a cabo con regadera.

Fertilización.

Se aplicó la solución:

Douglas óptimo

Douglas mínima

Hogland

Solución con fertilizantes

Control fitosanitario

Se realizaron las aplicaciones necesarias de fungicidas Captan y Endosulfan siguiendo las instrucciones vertidas por los fabricantes para cada producto a aplicar.

Evaluación del cultivo

Los primeros datos de germinación fueron tomados el 13 de octubre de 2000, luego el 15 de octubre de 2000 y posteriormente el 23 de octubre de 2000.

El sábado 28 de octubre se realizó la primera evaluación del cultivo, el 2 de noviembre de 2000 se realizó la segunda evaluación del cultivo, la tercera evaluación fue el 10 de noviembre de 2000 y la cuarta y última evaluación fue el 17 de noviembre de 2000.

VARIABLES EVALUADAS.

Longitud de planta.

Para determinar esta variable se procedió a medir con una regla desde la base del tallo hasta el ápice.

Longitud de raíz.

Para determinar esta variable se determinó con una regla desde la base del tallo hasta la punta de la raíz principal.

Numero de hojas.

Esta variable se realizó haciendo un conteo de todas las hojas presentes en la planta.

Diámetro de tallo.

Esta variable se realizó midiendo con un vernier en la base del tallo tomando así las medidas exactas.

Peso fresco.

Para la determinación de esta variable se tomaron 10 plantas /tratamiento elegidas al azar. Las plántulas fueron marcadas y separadas de la raíz la cual fue lavada para eliminar partículas adheridas de sustrato. Las muestras fueron pesadas en una balanza analítica OHAUSO modelo TS120.

Peso seco.

Para determinar el peso seco las muestras utilizadas para determinar el peso fresco fueron secadas a 60° hasta alcanzar una peso constante en una estufa MAPSA modelo HDP334.

RESULTADOS Y DISCUSION

Cuadro. 4.1 Resultado de las pruebas de comparación de medias de las diferentes variables y tratamientos.

TRATAMIENTOS	LONG. PLANTA	LONG. RAÍZ	NUM. HOJAS	DIAM. TALLO
Douglas Optima	7.496094 c	9.138281 c	4.166406 d	0.4394445 d
Douglas Mínima	6.655766 b	8.658184 b	3.843006 c	0.3750000 c
Hogland	7.825000 d	6.571094 a	3.757813 c	0.3918750 c
Fertilizantes	6.420573 b	6.560156 a	3.500000 b	0.3442188 b
Testigo	3.231875 a	8.404739 b	3.007292 a	0.2651042 a

Los promedios siguientes de la misma letra no son estadísticamente diferentes según una prueba de DMS con 0.05.

En lo que respecta a soluciones, en las variables de longitud de planta los mejores resultados lo presento la solución Hogland con diferencias altamente significativas para longitud de planta en comparación con el testigo. En cuanto a longitud de raíz, número de hojas y diámetro de tallo el mejor tratamiento fue la solución Douglas Optima con diferencias altamente significativas en comparación con el testigo y superiores a las otras soluciones.

LONGITUD DE PLANTA.

En esta variable se puede observar que la solución Hogland fue superior a las demás soluciones seguida por Douglas Optima y Fertilizantes que tuvieron el mismo resultado seguidas de Douglas Mínima y por ultimo con un bajo resultado la solución Testigo

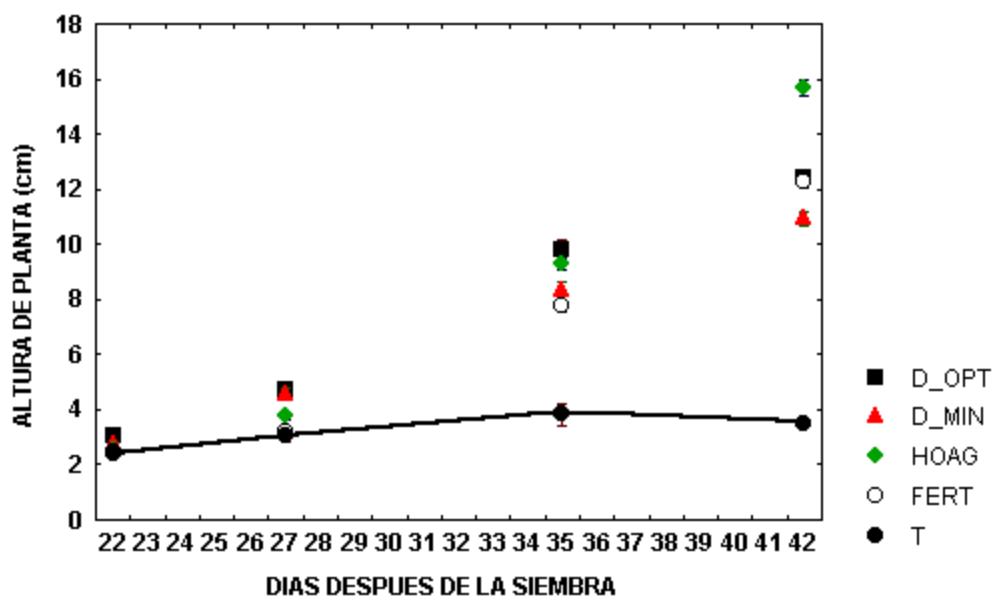


Figura. 1 Dinámica de la variable altura de plántula Vs tiempo.

De acuerdo con el análisis de varianza (ANVA) la solución Hogland presento diferencias altamente significativas entre tratamientos (0.01) y con el objetivo de detectar diferencias numéricas se realizo la prueba de medias que se muestra en el cuadro 4.1.

Esto es debido al contenido de nutrientes y proporción de los mismos que resultan mejores o superiores en comparación de las otras soluciones nutritivas para este parámetro evaluado.

LONGITUD DE RAIZ.

En esta variable se puede observar una gran diferencia entre las soluciones llegando a ser más alta en los primeros días la solución Testigo pero finalmente la solución Douglas Optima y Douglas Mínima obtienen un resultado alto en comparación de las soluciones Hoglnad, Testigo y Fertilizantes.

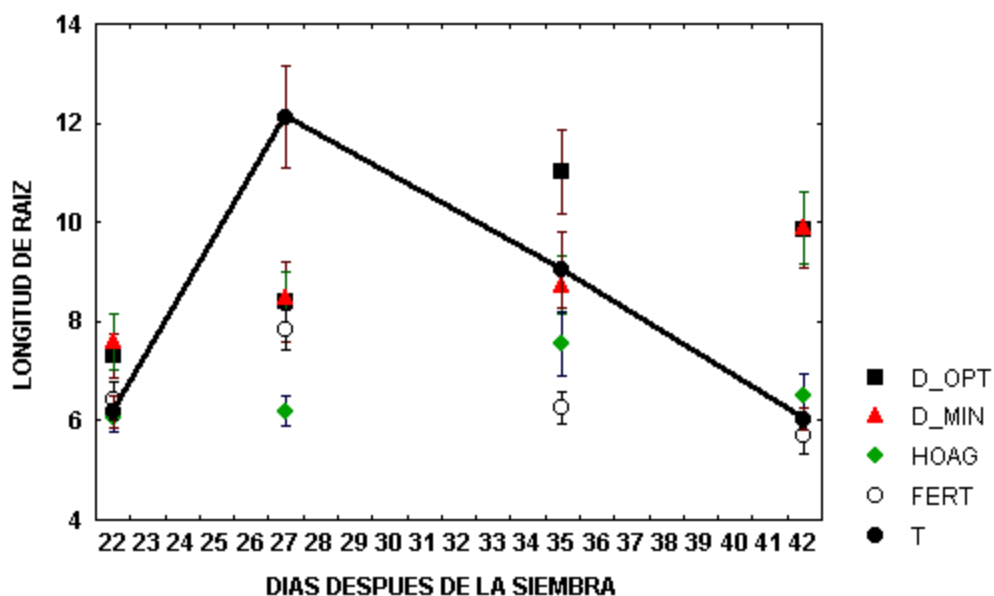


Figura. 2 Dinámica de comportamiento de la variable longitud de raíz Vs tiempo.

En el análisis de varianza (ANVA) se observan diferencias altamente significativas (0.01) de la solución Douglas Optima en comparación con los demás tratamientos por lo que se procedió a realizar las pruebas de medias que se muestran en el cuadro 4.1.

Esto es debido a la dosis requerida por el cultivo resultando las otras soluciones con menor o mayor contenido de nutrientes lo cual afecta en el desarrollo de la planta siendo la solución Douglas Optima la de mejores resultados.

NUMERO DE HOJAS.

En esta variable se puede observar que casi no hay diferencia entre las soluciones Douglas Optima, Douglas Mínima, Hogland y Fertilizantes, siendo la solución con mayor diferencia pero mas bajo resultado la solución Testigo.

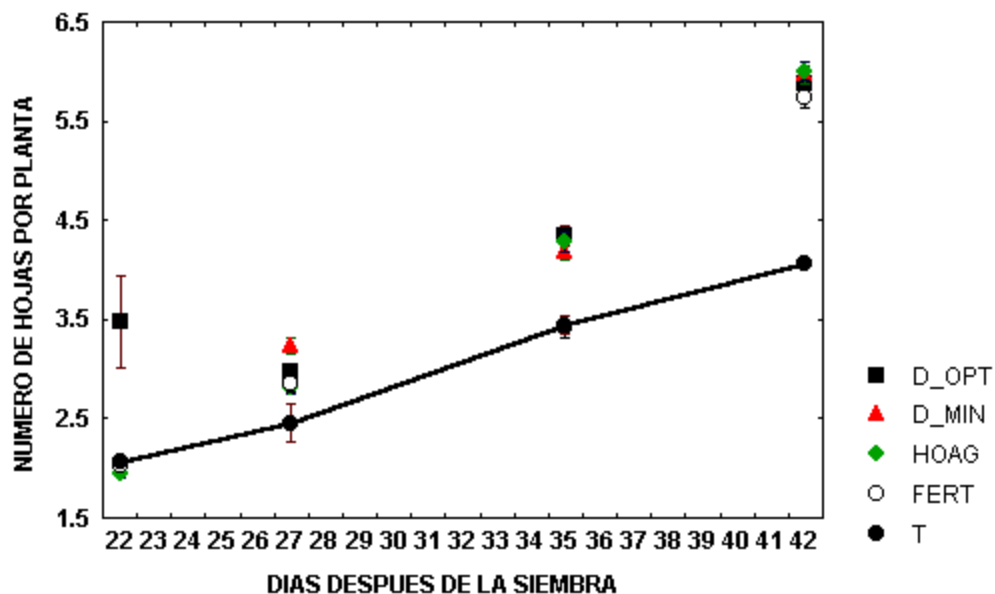


Figura. 3 Dinámica de comportamiento de la variable numero de hojas Vs tiempo.

En el análisis de varianza (ANVA) se observan diferencias altamente significativas (0.01) de la solución Douglas Optima en comparación con los demás tratamientos por lo que se procedió a realizar las pruebas de medias que se muestran en el cuadro 4.1.

Esto es resultado al contenido de nutrientes en cantidades optimas para las plántulas proporcionándoles o satisfaciendo las necesidades demandadas por las plántulas que en comparación con las otras soluciones el contenido de nutrientes es muy bajo o muy elevado afectando el desarrollo de las plántulas.

DIÁMETRO DE TALLO.

Se observa que la solución Hogland, Fertilizantes, Douglas Óptima y Douglas Mínima presentan muy poca diferencia entre ellas, siendo la solución Testigo la de más bajos resultados.

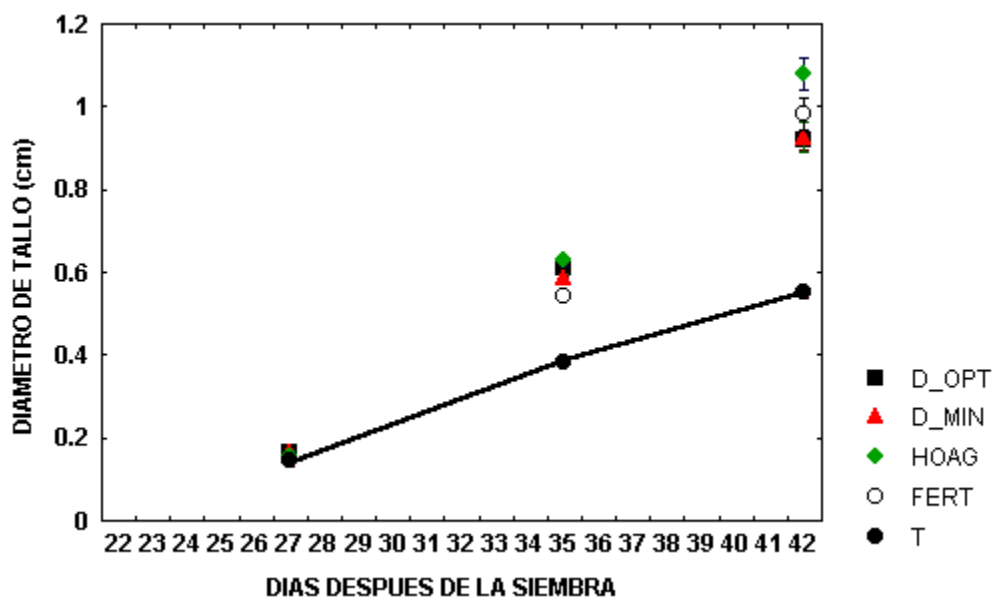


Figura. 4 Dinámica de comportamiento de la variable diámetro de tallo Vs tiempo.

En el análisis de varianza (ANVA) se observan diferencias altamente significativas (0.01) de la solución Douglas Óptima en comparación con los demás tratamientos por lo que se procedió a realizar las pruebas de medias que se muestran en el cuadro 4.1.

Esto es debido a la concentración de nutrientes que presenta esta solución Hogland que favorece al desarrollo de las plántulas en comparación con las otras soluciones.

DISCISION.

En cuanto a lo que respecta a soluciones, la solución Hogland obtiene los valores mas altos en la mayoría de las variables como diámetro de tallo, altura de planta, peso fresco total, peso seco total y en lo que respecta a longitud de raíz viene resultando bajo en comparación con las soluciones Douglas Optima y Douglas Mínima que obtienen el mismo resultado entre ellas y en cuanto a numero de hojas no presentan mucha diferencia con las otras soluciones excepto el Testigo que presenta bajos resultados. Esto coincide con lo descrito por (Lozada, 2002) usando las mismas soluciones en plántulas de brócoli, tambien coincide por lo descrito por Benavides, M. y Padrón, G. (2000). Con trabajos realizados en plántulas de tomate usando biopolímeros.

Cuadro. 4.2 Resultado de las pruebas de comparación de medias de las diferentes variables y tratamientos.

TRATAMIENTOS	LONG. PLANTA	LONG. RAÍZ	NUM. HOJAS	DIAM. TALLO
PP	6.174125 a	7.192000 b	3.613750 b	.3932727 c
EHS	6.601042 b	8.485209 c	3.891458 c	.3667083 b
EHC	6.747679 b	9.125804 d	3.650000 b	.3688750 b
PPV	5.780605 a	6.665952 a	3.464405 a	.3282750 a

Los promedios siguientes de la misma letra no son estadísticamente diferentes según una prueba de DMS con 0.05.

PP= Peatmost-Perlita

EHS= Espuma Hidrofilica sin Poliacrilamida.

EHC= Espuma Hidrofilica con Poliacrilamida.

PPV= Peat moss-Perlita-Vermiculita.

En lo que respecta a los sustratos, las variables longitud de planta y longitud de raíz los mejores resultados lo obtuvo el tratamiento Espuma Hidrofilica con Poliacrilamida con diferencias altamente significativas en cuanto a longitud de planta en comparación con Peatmost-Perlita y altamente significativo en cuanto a longitud de raíz en comparación con Peatmost-Perlita-Vermiculita, en lo que respecta a numero de hojas el mejor tratamiento es el Espuma Hidrofilita sin Poliacrilamida con diferencia significativas en comparación con Peatmost-Perlita-Vermiculita y en cuanto a diámetro de tallo el mejor tratamiento es el Peatmost-Perlita con diferencias significativas en comparación con Peatmost-Perlita-Vermiculita.

LONGITUD DE PLANTA.

En esta variable también se puede observar poca diferencia entre los sustratos siendo el mejor el Espuma Hidrofilica con Poliacrilamida (EHC) y el más bajo el PeatmosT-Perlita-Vermiculita (PPV).

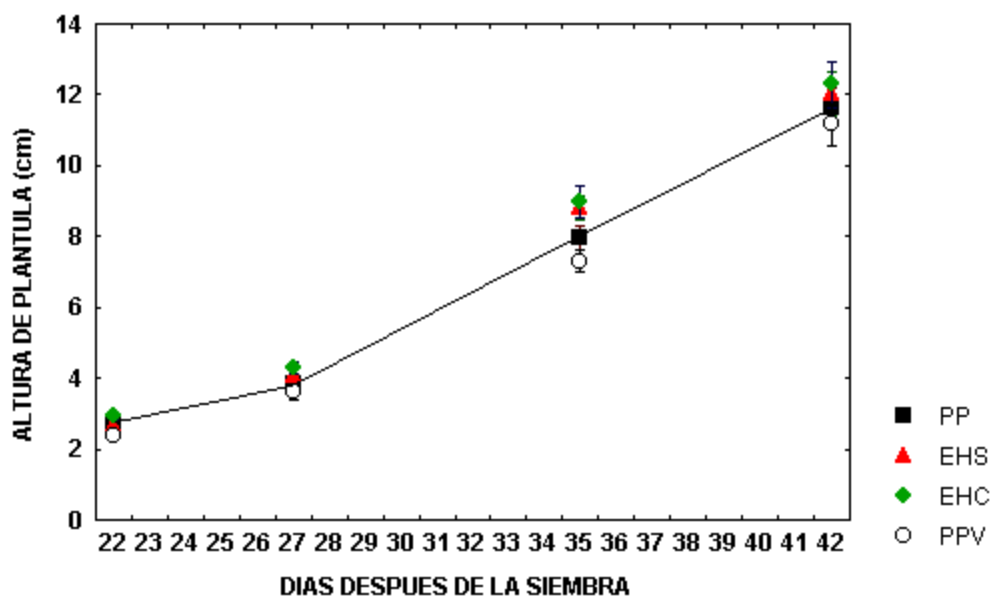


Figura. 5 Dinámica de comportamiento de la variable altura de plántula Vs tiempo.

De acuerdo con el análisis de varianza (ANVA) el tratamiento de la Espuma Hidrofílica con Poliacrilamida presenta diferencias significativas (0.05) en comparación con los demás tratamientos por lo que se procedió a la prueba de medias que se muestran en el cuadro 4.2.

Esto es debido a las características que presenta la poliacrilamida la cual hace tener una mayor retención de las soluciones y por lo consiguiente un mayor aprovechamiento de la plántula obteniendo mejores resultados.

LONGITUD DE RAÍZ.

En esta variable si se observa una gran diferencia entre los sustratos siendo el de mejor resultado el Espuma Hidrofílica con Poliacrilamida (EHC), seguido del Espuma Hidrofílica sin Poliacrilamida (EHS), luego por el Peatmost-Perlita-Vermiculita (PPV) y por último con menor resultado el Peatmost-Perlita (PP).

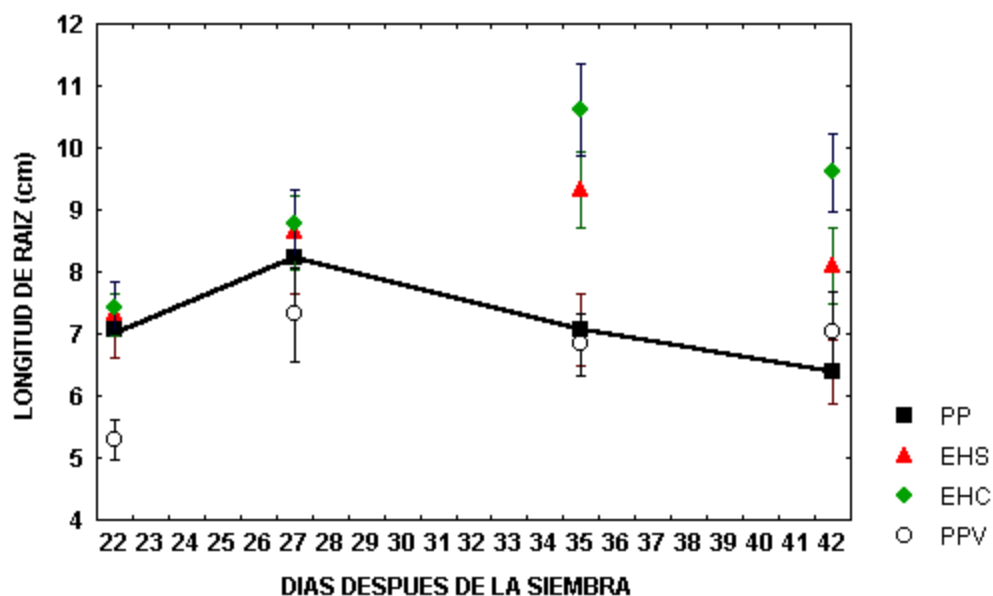


Figura. 6 Dinámica de comportamiento de la variable longitud de raíz Vs tiempo.

De acuerdo con el análisis de varianza (ANVA) el tratamiento de la Espuma Hidrofílica con Poliacrilamida presenta diferencias altamente significativas (0.01) en comparación con los demás tratamientos por lo que se procedió a la prueba de medias que se muestran en el cuadro 4.2.

Esto es debido a las características que presenta la poliacrilamida la cual hace tener una mayor retención de las soluciones y por lo consiguiente un mayor aprovechamiento de la plántula obteniendo mejores resultados.

NUMERO DE HOJAS.

En esta variable se observó muy poca diferencia entre los sustratos ya que todos se comportaron de la misma manera.

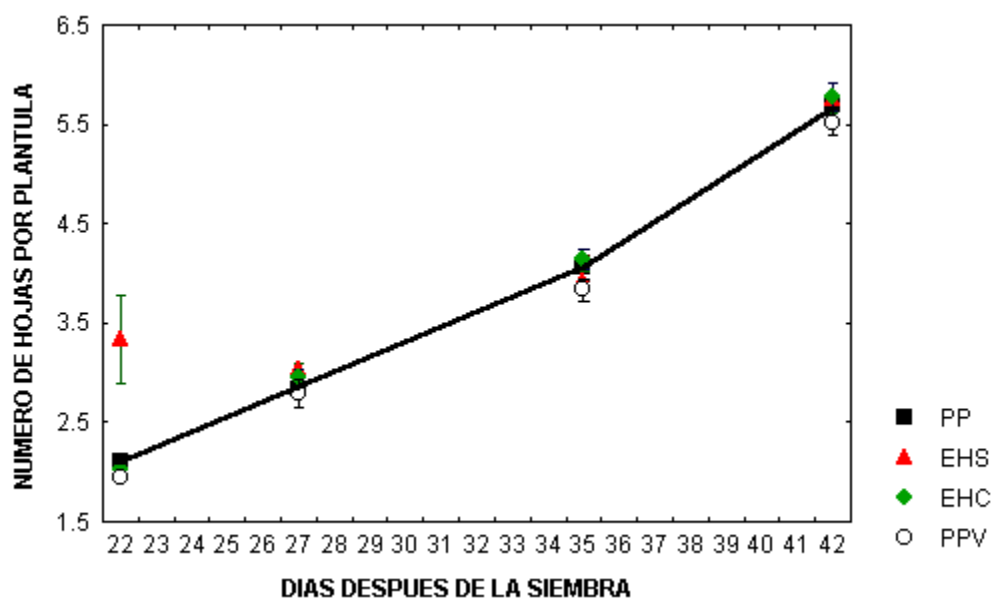


Figura. 7 Dinámica de comportamiento de la variable número de hojas Vs tiempo.

En lo que respecta al análisis de varianza (ANVA) el mejor tratamiento fue la Espuma Hidrofílica sin Poliacrilamida con diferencias significativas (0.05) con respecto a los demás tratamientos por lo que se realizaron las pruebas de medias que se muestran en el cuadro 4.2.

Esto es debido a que con menor retención del agua obtiene mejor oxigenación lo cual favorece al incremento en número de hojas.

DIÁMETRO DE TALLO.

En esta variable también se puede observar poca diferencia entre los sustratos ya que todos obtuvieron un resultado similar.

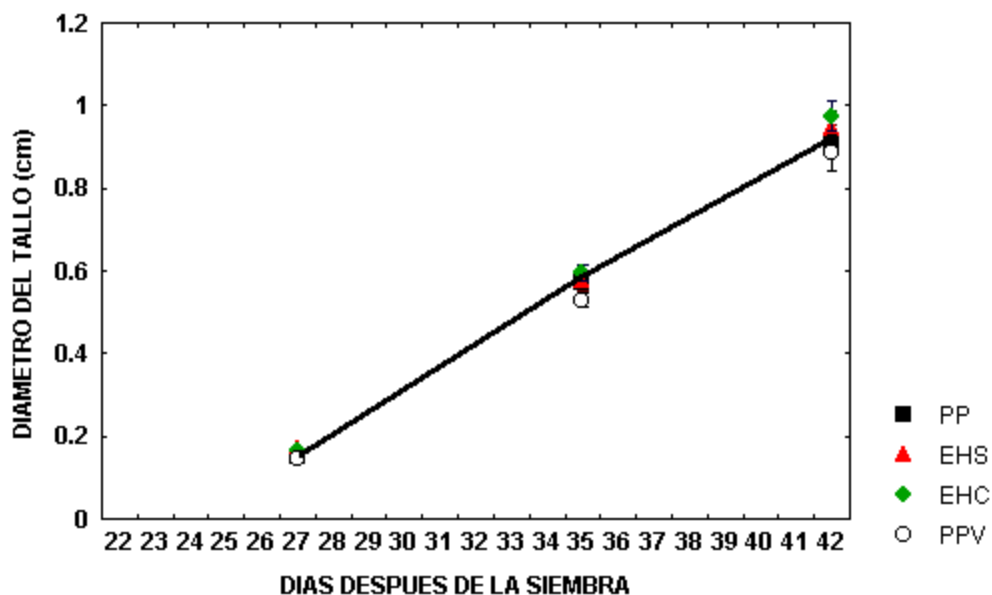


Figura. 8 Dinámica de comportamiento de la variable diámetro de tallo Vs tiempo.

En lo que respecta al análisis de varianza (ANVA) el mejor tratamiento fue el de Peatmost-Perlita con diferencias significativas (0.05) con respecto a los demás tratamientos por lo que se realizaron las pruebas de medias que se muestran en el cuadro 4.2.

Lo que podemos concluir que en este parámetro el comportamiento de los sustratos es igual favoreciendo a la plántula de la misma manera.

DISCUSION.

En cuanto a los sustratos la mayoría se comportaron de la misma forma obteniendo resultados similares con muy poca o casi nada de diferencia, en cuanto a longitud de raíz aquí si se observa una gran diferencia de los sustratos obteniendo mejores resultados la mezcla de Espuma Hidrofilica sin Poliacrilamida y en cuanto a peso seco total y peso fresco total sigue siendo superior a los demás sustratos pero por poca diferencia lo cual coincide con lo descrito por Nava (2002) con pruebas echas con sustratos mas poliacrilamida en plántulas de melón, lo cual coincide también por lo descrito por Benavides, M. y Padrón, G. (2000). Con pruebas echas usando Espumas Hidrofilitas con Poliacrilamida en plántulas de tomate y brócoli.

Peso fresco.

En esta variable el mejor resultado lo obtuvo la solución Hogland, seguida de Douglas Optima, luego la Fertilizantes, posteriormente la Douglas Mínima y por ultimo la Testigo. En esta variable la solución Fertilizantes fue superior que la Douglas Mínima.

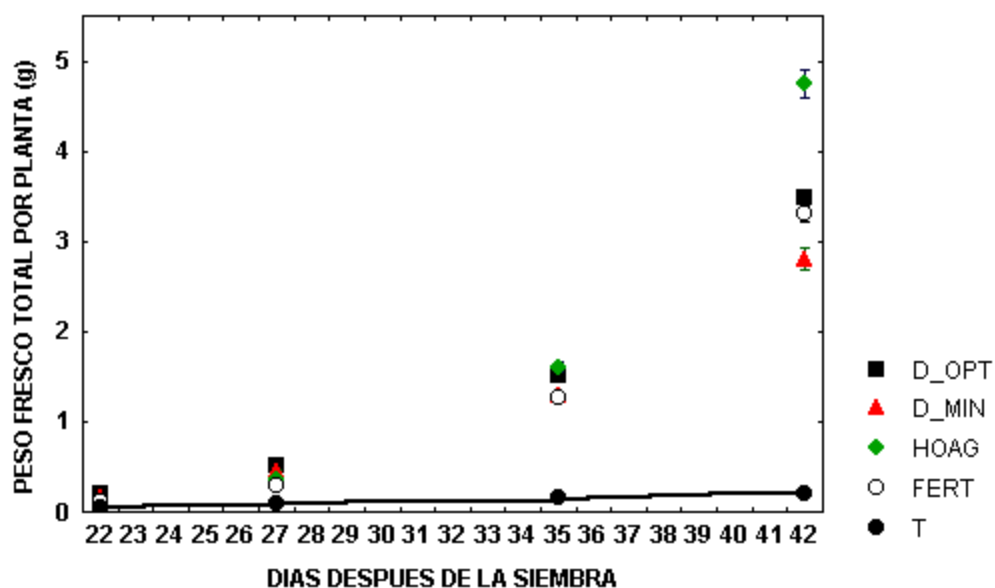


Figura. 9 Dinámica de comportamiento de la variable peso fresco total Vs tiempo.

Peso fresco.

En esta variable se observó poca diferencia entre los sustratos siendo el de mejor resultado el Espuma Hidrofílica con Poliacrilamida (EHC) y el de más bajo resultado el Peat most-Perlita-Vermiculita (PPV).

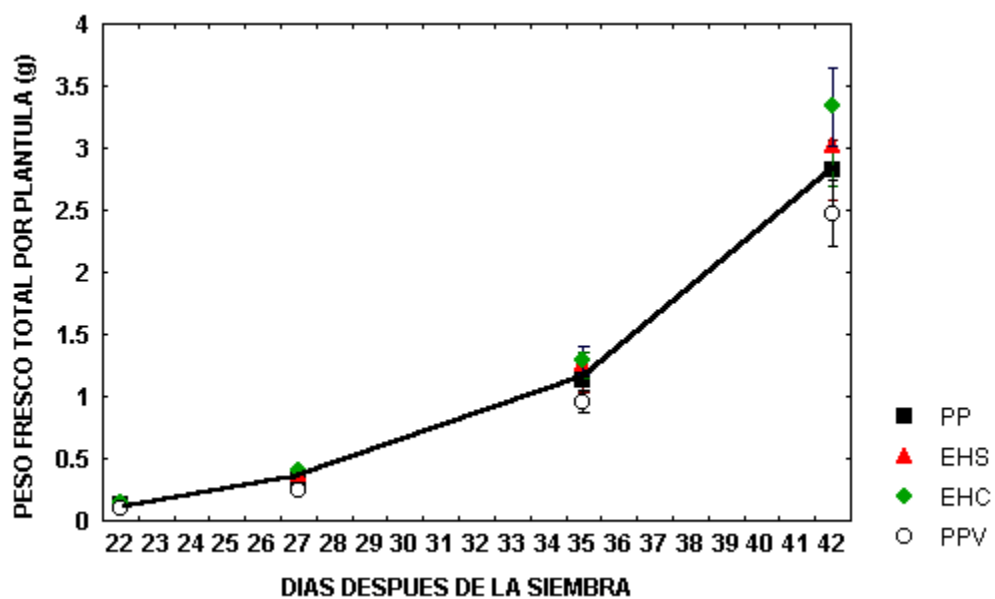


Figura. 10 Dinámica de comportamiento de la variable peso fresco total Vs tiempo.

CONCLUSION

- En lo que respecta a sustratos y soluciones nutritivas podemos concluir que los mejores resultados lo obtuvo la Espuma Hidrofilica con Poliacrilamida, pues presenta una mejor retención de agua y aireación. Las soluciones Duoglas Optima y Hogland proporcionaron los requerimientos necesarios a las plántulas en sus diferentes etapas de desarrollo, dando óptimos resultados durante su evaluación.
- En cuanto a la eficiencia de las combinaciones de los sustratos podemos concluir que la mejor combinación lo obtuvo la Espuma Hidrofilica con Poliacrilamida y la solución Douglas Optima y Hogland obteniendo buenos resultados contenido de raíz, numero de hojas y diámetro de tallo.
- En referencia a los resultados podemos concluir que el resultado primordial se debe a las soluciones nutritivas ya que en el análisis de varianza encontramos alta significancia con el 0.01 % siendo el mejor la Hogland en cuanto a longitud de planta sobre los demás tratamientos; y la solución Douglas Optima en cuanto a longitud de raíz, numero de hojas y diámetro de tallo sobre los demás tratamientos. En lo correspondiente a los sustratos se comportan de manera similar siendo el de mejores resultados el de Espuma Hidrofilica con Poliacrilamida con una varianza del 0.01 % en cuanto a longitud de raíz sobre los demás tratamientos.
- Como una recomendación podemos decir que para longitud de planta la mejor solución es la Hogland y para longitud de raíz, número de hojas y diámetro de tallo la mejor solución es la Douglas Optima y en cuanto a sustratos el mejor tratamiento fue la Espuma Hidrofilica con Poliacrilamida.

BIBLIOGRAFIA

- Abad, B. M. 1993. Sustratos, características y propiedades. Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo. FIAPA. Almería, España.
- Ballester-Olmos, J. F.. 1992. Substratos para el cultivo de plantas ornamentales. Hojas divulgadoras (Noviembre). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
- Beadle, C.L. 1988. Análisis del Crecimiento vegetal. En: Coombs, J.O.O. Hall, S.P. Long y J.M. Scurlock (Editores). Técnicas en Fotosíntesis y Bioproductividad. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de México, México.
- Benavides Mendoza, A., J. Romero García, G. Padrón Gamboa, E. León Negrete, A. Saadi Moreno, A. Sandoval Rangel y F. Ramírez Godina. 2000. Uso de un Poliuretano Hidrofílico Biodegradable como Mejorador de Suelo y Material para Transplante de Tomate (*Lycopersicon esculentum* (L.) Mill.). Memorias del Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola CLIA2000. Guanajuato, Gto. del 6 al 8 de noviembre de 2000. 068-MX-2 (7 páginas).
- Blackman, V.H. 1919. The compound interest law and plant growth. Ann. Bot. 33: 353-360.
- Cadahia, L. C. 1998. Fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- Cano, P. 1997. Evaluación de cuatro sustratos en hidroponía bajo el sistema vertical con el cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.). Tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Cornell U. 1999. Transplant production. Mantained by rec@nllsaes.cornell.edu. last modified June 2, 1999. New York, U.S.A.
- Crofts, C.F.; D.L. Kachson; P.M. Martin; J.C. Patrik. 1971. Los vegetales y sus cosechas. Fundamentos de agricultura moderna. 2a trad. R. Morán. Ed. Aedos. Barcelona, España.
- Dominguez V., A. 1996. Fertirrigación. 2ª edición. MundiPrensa. Madrid.
- Evans, L.T. 1972. Crop physiology. Cambridge University Press.
- Padrón-Gamboa, G., A. Benavides-Mendoza, A. Flores-Olivas, L.M. Lasso-Mendoza, J. Romero-García, H. Ramírez-Rodríguez, V. Robledo-Torres, J. Hernández-Dávila. 2002. Uso de Espumas Hidrofílicas Biodegradables para Mejorar el Crecimiento e Incrementar la Tolerancia al Estrés en Plantas Hortícolas. Memoria de la XIV Semana Internacional de Agronomía, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango. Septiembre del 2002. pp. 231-240. ISBN 968-6404-34-1.
- Hartmann, H.T. y D.E. Kesler. 1988. Propagación de plantas. Principios y prácticas. 2ª Ed. CECSA. México.

- Hunt, R. 1978. Plant growth analysis. Studies in biology. No.96, Ed. Edward Arnold. Great Britain.
- Leskovar, D. I. 1999. Producción del trasplante hortícola. Texas Agricultural Experimental Station, Department of Horticultural Sciences, Texas A&M University, Uvalde TX.
- Lozada, Rangel, I 2002. Uso de Espumas Hidrofilicas y otros sustratos en dos soluciones nutritivas para la producción de plántulas de Brócoli. Tesis Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Muñoz Y Cantera. 1997. Almería, España. Artículo presentado en: Revista Productores de Hortalizas. Septiembre de 1997. P30. México.
- Nava, Salazar, I. 2002. Uso de Espumas Hidrofilicas para aumentar la eficiencia del uso de agua en el cultivo de melón (*Cucumis melo L.*) bajo invernadero. Tesis Ingeniero Agrónomo en Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Padrón-Gamboa, G., A. Benavides-Mendoza, A. Flores-Olivas, L.M. Lasso-Mendoza, J. Romero-García, H. Ramírez-Rodríguez, V. Robledo-Torres, J. Hernández-Dávila. 2002. Uso de Espumas Hidrofilicas Biodegradables para Mejorar el Crecimiento e Incrementar la Tolerancia al Estrés en Plantas Hortícolas. Memoria de la XIV Semana Internacional de Agronomía, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango. Septiembre del 2002. pp. 231-240. ISBN 968-6404-34-1.
- Radford, P.J. 1967. Growth analysis formulae -Their use and abuse. Crop. Sci. 7(3): 171-17560.
- Salisbury, B. F. y C. W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Edición en español. Grupo Editorial Iberoamérica. México.
- Sanchez Del Castillo, F. y E. R. Escalante R. 1983. Hidroponia. 2ª Edición. UACH. México.
- Steward, F.C. 1969. Growth and organization in plants. Addison Wesley Publishing Company.
- Solano, M.C.M. 1985. Sistemas de producción en hidroponia. Monografía. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah.
- Tanaka, A. and Yamaguchi, J. 1969. Studies on the growth efficiency of crop plant (Par 1) The growth efficiency during germination in the dark. J. Sci. Soil and Manure, Japan 40: 38-42.
- Valadez, L. A. 1997. Producción de Hortalizas. 6ª Reimpresión. Ed. LIMUSA. México, D.F.
- Verhagen, A.M.; Wilson, J.H. and Britten, E.J. 1963. Plant production in relation to foliage illumination. Ann. Bot. 27: 627-640.

- Watson, D.J. 1952. The physiological basis of variation in yield. *Adv. in Agron.* 4: 101-144.
- Watson, D.J. 1958. The dependence of net assimilation rate on leaf-area index. *Ann. Bot. (London)* 48: 507-512.
- Zamora, C. G. 1998. Importancia de la técnica hidropónica en Algunos Cultivos Hortícolas, Bajo Condiciones de Invernadero. Monografía. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah.