

EFFECTO DE DOSIS DE HIDROGEL EN EL
RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill) BAJO TRES
FRECUENCIAS DE RIEGO

DAVID MARTINEZ

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



T E S I S

B I B L I O T E C A

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN RIEGO Y DRENAJE



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

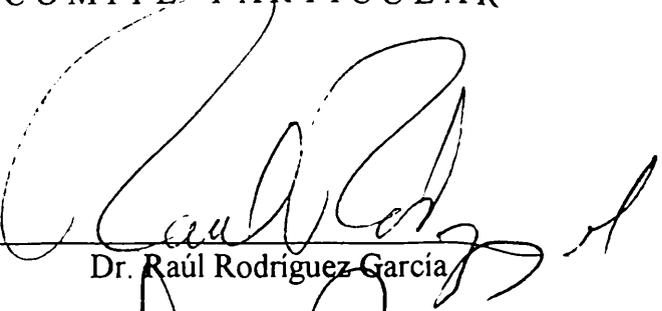
NOVIEMBRE DE 1995

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
EN RIEGO Y DRENAJE

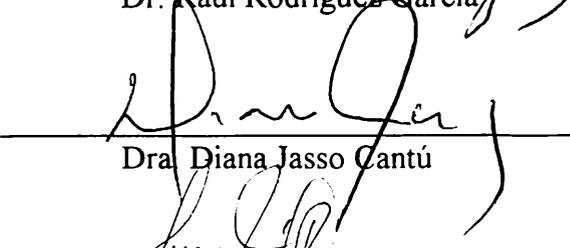
COMITE PARTICULAR

Asesor principal:



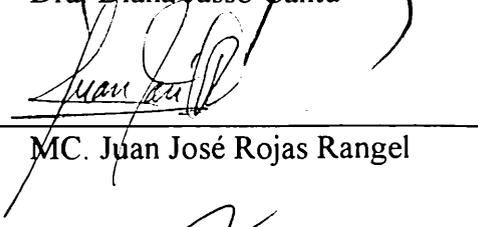
Dr. Raúl Rodríguez García

Asesor:



Dra. Diana Jasso Cantú

Asesor:



MC. Juan José Rojas Rangel



Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Noviembre 1995.

AGRADECIMIENTOS

AL DR. RAUL RODRIGUEZ GARCIA

Por el apoyo brindado para la realización de esta investigación, así como por la amistad brindada y los consejos profesionales y morales en mi realización profesional.

A LA DRA. DIANA JASSO CANTU

Por su apoyo profesional en la elaboración de esta investigación, correcciones y sugerencias. Gracias Dra.

AL AGRICULTOR.

El agricultor moderno es el gran soldado del trabajo. En sus manos está la riqueza pública, y en su ciencia y prudencia el secreto de su fortuna.

La tierra no produce lo que se le pide, sino lo que su naturaleza, estado, cultivo y cuidado permiten dar.

Necesita de conocimientos del geólogo, del meteorologista, del economista, del químico, del mecánico, del administrador y labrador. Tiene que ser ojo, cerebro y brazo. Conocer los negocios, el país, la política, las finanzas y el comercio nacional e internacional. Es un estadista en pequeño, un obrero en grande y un sabio modesto.

Además del capital, que es tierra y agua, necesita la ciencia que es la semilla, la administración que es el sembrador y la máquina que es el labrador.

Debe saber dar a la tierra y a los cultivos en su tiempo y medida: labor, agua, aire, luz, sombra, sol, abono, descanso, alternación en el cultivo, guerra a los obstáculos y plagas de la agricultura y protección a las aves e insectos que le ayudan a perseguir a sus enemigos.

Y por último, no debe pagar tributo a la tradición ni a la rutina.

A SILVIA, DAVID Y SANTALUCIA

COMPENDIO

Efecto de Dosis de Hidrogel en el Rendimiento del Cultivo de Tomate (*Lycopersicum
esculentum Mill*) Bajo Tres Frecuencias de Riego.

POR

DAVID MARTINEZ

MAESTRIA EN CIENCIAS

RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. NOVIEMBRE 1995

DR. RAUL RODRIGUEZ GARCIA - Asesor-

Palabras Clave: Hidrogel, Agrosoke, Porosidad, Aireación, Retención de Humedad, Tomate, Rendimiento.

Con el objetivo de evaluar la respuesta del hidrogel (Agrosoke) al mejoramiento de las propiedades físicas de un sustrato agrícola y al rendimiento del cultivo de tomate, se realizó una investigación usando este polímero. La investigación se

efectuó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro durante 1994 la cual consistió en pruebas de laboratorio e invernadero.

En las pruebas de laboratorio se evaluaron las propiedades físicas de las mezclas hidrogel-sustrato, que consistieron en incorporar el hidrogel al sustrato en dosis de: 2, 4, 6 y 8 kg/m³ y un testigo (0 dosis de hidrogel). Las propiedades físicas fueron: retención de humedad por la metodología de las ollas de presión. La porosidad, aireación, capacidad de expansión y capacidad de recipiente fueron determinadas por la metodología de Wallace and Colette (1984), analizándose mediante un diseño completamente al azar con tres repeticiones.

La investigación de campo se realizó en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero. Esta fase consistió en incorporar el hidrogel en macetas de plástico de 10 lt en dosis de 2, 4, 6 y 8 kg/m³ de sustrato y un testigo (0 dosis de hidrogel), los riegos fueron efectuados en tres intervalos: 1, 2 y 3 días.

Los factores que existen en este experimento, basados en las dosis de hidrogel y los intervalos de riego, son presentados en un diseño en bloques al azar con arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. La combinación de ambos factores originaron 15 tratamientos dando un total de 45 unidades experimentales, la unidad experimental se formó de tres macetas conteniendo una planta de tomate cada una.

Las variables evaluadas durante el desarrollo del cultivo fueron: altura de planta, número de entrenudos, número de racimos así como el número y peso de frutos en cada corte (14 cortes), además de la calidad del fruto. También se midió la temperatura de las hojas en diferentes días de desarrollo, con la finalidad de detectar la diferencia del estrés hídrico de la planta por efecto de los tratamientos. Al finalizar la

producción establecida del cultivo, se evaluó el peso seco de la planta sin el fruto así como el rendimiento total.

Los resultados de la evaluación de las propiedades físicas mostraron que mediante la adición de hidrogel los mayores incrementos en humedad disponible y capacidad de expansión, fueron para la mayor dosis de hidrogel, alcanzándose incrementos de humedad disponible de 14.41 por ciento base volumen y de expansión de un 16.71 por ciento. Por el contrario en la mayor dosis la aireación disminuyó en un 2.39 por ciento. La porosidad, se mejoró bajo una relación de 0.47 por ciento por kilogramo de hidrogel incorporado.

Respecto al rendimiento total de tomate no se encontró diferencia significativa entre las dosis de hidrogel incorporado al sustrato. Los rendimientos promedio de tomate en kg/planta para los tres tratamientos de riego fueron: 4.431 para el riego diario, 3.038 para el riego cada dos días y 2.516 para el riego cada tres días, los cuales presentan diferencias significativas entre ellos al 5 por ciento de probabilidad, esto indica que las plantas a mayor intervalo de riego estuvieron sometidas a mayor condición de estrés independientemente de las dosis de hidrogel.

ABSTRACT

EFFECT OF HIDROGEL ON TOMATO (*Lycopersicum esculentum Mill.*)

PRODUCTION

UNDER THREE REGIMES OF IRRIGATION.

BY

DAVID MARTINEZ

MASTER SCIENCE

IRRIGATION AND DRAINAGE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. NOVIEMBRE 1995

DR. RAUL RODRIGUEZ GARCIA -Adviser-

KEY WORDS: hidrogel, agrosoke, porosity, aereation, humidity retention, .
tomato, yield.

With the purpose of evaluating the response for the hidrogel (Agrosoke) in the improvement of the physical properties of the agricultural soil amendment and to the yield

production tomato crop, a research was carried out in the laboratory and greenhouse of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro during 1994.

In the Lab tests the physical properties were evaluated in the hidrogel - soil amendment, mixtures, which consisted in the hidrogel incorporation doses of: 2, 4, 6 and 8 kg/m³ of substrate and a control (0 dose of hidrogel). The physical properties were: humidity retention by the methodology of the pressure cooker. The porosity, aeration, expansion capacity and container capacity were determined by the methodology of Wallace and Colette (1984), analyzing through a completely randomized block design with three replications.

The research was carried out in the tomato crop under greenhouse conditions. This phase consisted in the hidrogel incorporation in plastic pots of 10 lt with doses of 2, 4, 6 and 8 kg/m³ of substrate and with a control (0 dose of hidrogel), the irrigation was made in three intervals: 1, 2 and 3 days.

The existing factors in this experiment, based in the hidrogel doses and the irrigation regimens, are presented in a split plot design with three replications. The combinations of both factors originated 15 treatments making a total of 45 experimental units, and each unit was made from three pots containing tomato plants.

The evaluated variables during the cultivation development were: plant height, number of internodes, number of racemes, as well as the number and weight of fruits in each harvest (14 harvests), besides of the quality of the fruit. Also, the leaf's temperature was measured in the development of several days, with the purpose of detecting the difference of the plant water stress as a cause of the treatment effect. At the final harvest, the plant dry weight was evaluated without the fruit as well as the total yield.

The results of the physical properties showed that hidrogel addition increased available moisture and expansion capacity, were for the higgest hidrogel doses, increasing the available humidity to 14.41 per cent base - volume and the expansion of 16.71 per cent. On the contrary the higher doses of aeration decreased to 2.39 per cent. The porosity, was improved under a relation of 0.47 per cent per kg of hidrogel incorporated to the substrate.

In respect to the total tomato yield significant difference was not found between the hidrogel doses incorporated to the substrate. The average tomato yields in kg/plant for the three treaments of irrigation were: 4.431 for dayly, 3.038 for every two days and 2.516 for the three days, which presented significant differences between them to the 5 per cent of probability, this indicate that the plants in a late irrigation interval were submitted to more stress independently of the hidrogel doses.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
Indice de Cuadros	xiii
Indice de Figuras.....	xiv
INTRODUCCION.....	1
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
REVISION DE LITERATURA.....	3
Composición general del suelo.....	3
Retención de humedad en el suelo.....	3
Características de los hidrogeles.....	4
Efectos en las propiedades físicas de los suelos mediante el uso de polímeros.....	6
Usos en la Horticultura.....	11
MATERIALES Y METODOS.....	14
Ubicación del experimento.....	14
Metodología del objetivo A.....	14
Determinación de las propiedades físicas.....	14

Metodología del objetivo B.....	16
RESULTADOS Y DISCUSION.....	20
Análisis de los parámetros físicos.....	20
Efectos sobre la retención de humedad.....	20
Porosidad a capacidad de recipiente.....	21
Aireación y Expansión a capacidad de recipiente.....	22
Contenido de humedad a capacidad de recipiente.....	23
Consumo de agua.....	25
Componentes de rendimiento.....	28
Rendimiento total de tomate.....	28
Rendimiento de tomate por tamaños.....	29
Número de frutos totales.....	30
Número de racimos por planta.....	31
Producción de materia seca foliar.....	31
Altura de planta.....	32
Eficiencia en el uso de agua.....	35
Temperatura de la planta de tomate.....	39
CONCLUSIONES.....	41
LITERATURA CITADA.....	43
APENDICE.....	46

INDICE DE CUADROS

	página.
3.1	Características físico-químicas del sustrato.....17
3.2	Clasificación en tamaños de fruto de acuerdo a normas para el mercado internacional (México 1) y para el mercado nacional (México 2).....19
4.1	Contenido de humedad a diferentes tensiones en bars en las mezclas de hidrogel-sustrato en porciento base peso.....21
4.2	Consumo de agua en el rendimiento del cultivo de tomate38

INDICE DE FIGURAS

	página.
3.1	Gradilla para la clasificación de tomate por tamaño..... 19
4.1	Relación de la retención teórica y real de agua en cm^3 por el uso de hidrogel..... 22
4.2	Comportamiento de la porosidad en las dosis de hidrogel-sustrato, evaluadas a capacidad de recipiente..... 23
4.3	Comportamiento de la aireación y expansión en las dosis de hidrogel sustrato evaluadas a capacidad de recipiente..... 24
4.4	Contenido de agua y aire del espacio poroso total a capacidad de recipiente como una influencia de la incorporación del hidrogel en un sustrato agrícola..... 25
4.5	Consumo total de agua en la evaluación de tres intervalos de riego y cinco dosis de hidrogel-sustrato..... 26
4.6	Consumo diario de agua en litros por planta de tomate en los tratamientos evaluados..... 27
4.7	Relación entre consumo de agua de los tratamientos (ETR) sobre el consumo máximo (ETM) tomando como referencia el tratamiento de riego diario con la dosis de hidrogel de 2 kg/m^3 de sustrato..... 27
4.8	Rendimiento total de tomate en cinco dosis de hidrogel-sustrato y tres intervalos de riego..... 28
4.9	Rendimiento de tomate por calidad en tres intervalos de riego y cinco dosis de hidrogel- sustrato..... 29
4.10	Número de frutos de tomate en tres intervalos de riego y cinco dosis de hidrogel- sustrato..... 30
4.11	Número de racimos de tomate en cinco dosis de hidrogel-sustrato y tres intervalos de riego..... 31
4.12	Relación de materia seca foliar con el consumo de agua en la evaluación de tres intervalos de riego y cinco dosis de hidrogel - sustrato..... 32
4.13	Altura de planta en el tratamiento de riego cada día y cinco dosis de hidrogel-sustrato..... 33
4.14	Altura de planta en el tratamiento de riego cada dos días y cinco dosis de hidrogel - sustrato..... 34
4.15	Altura de planta en el tratamiento de riego cada tres días y cinco dosis de hidrogel - sustrato..... 34
4.16	Kilogramos de tomate producidos por litro de agua en los tratamientos evaluados..... 37

4.17	Gramos de materia seca foliar por litro de agua en los tratamientos evaluados.....	37
4.18	Temperatura en °C del follaje de la planta de tomate en cinco fechas de registro en los tres intervalos de riego.....	40
4.19	Diferencia de temperaturas en °C del follaje de la planta de tomate en cinco fechas de registro en los tres intervalos de riego.....	40

INTRODUCCION.

El agua es un factor de vital importancia en el desarrollo de las plantas, el cual está relacionado con los procesos fisiológicos. El único medio por el cual el agua puede afectar al crecimiento vegetal consiste en alterar los procesos fisiológicos y condiciones internas (Kramer, 1974). Del agua proporcionada a los cultivos por riego o por lluvia no toda es retenida por el suelo, debido a las diferencias de capacidad de retención de agua, existiendo pérdida por infiltración que en algunos casos pueden ser considerables, como en los suelos arenosos (Gavande, 1979). Por lo anterior desde hace varios años los especialistas en el área han investigado técnicas que permiten mejorar la retención de humedad de los suelos, siendo una de éstas la utilización de superabsorbentes o hidrogeles de origen sintético (Wallace y Wallace, 1986 a; Quinn, 1990).

Los hidrogeles son polímeros sintéticos, es decir monómeros de alto peso molecular que absorben el agua, los cuales difieren entre sí por el monómero específico que constituye el bloque o molécula; la cantidad de agua absorbida por gramo de material; el tamaño de la partícula; su durabilidad y costo. Mientras que hay solo cuatro diferentes monómeros usados en la producción de polímeros, existen varias decenas de éstos que se son disponibles bajo diferentes nombres comerciales (Johnson y Veltkamp, 1985).

Los beneficios derivados de la aplicación de polímeros a los suelos incluye: incremento en la capacidad de retención de agua; incremento en la porosidad; incremento

en la reserva de nutrientes y reducción en la compactación del suelo (Gras, 1985; Bugbee y Frink, 1986; Cook y Nelson, 1986). El campo de aplicación de éstos productos es muy amplio ya que pueden utilizarse en cultivos que se desarrollan en recipientes en invernaderos o en cultivos a campo abierto, ya sean hortalizas, frutales u ornamentales. La finalidad de este trabajo de investigación fue comprobar la utilidad de un polímero comercial en la producción de tomate en invernadero.

Objetivos.

A. Evaluar los efectos de dosis de hidrogel sobre las propiedades físicas de un sustrato (retención de humedad, porosidad, aireación, capacidad de expansión, capacidad de recipiente).

B. Determinar la influencia de las dosis de hidrogel sobre el rendimiento del cultivo de tomate en invernadero bajo tres períodos de riego.

Hipótesis.

1.- A mayor dosis de hidrogel se mejoran las propiedades físicas del suelo como son: la retención de humedad, porosidad, aireación, capacidad de expansión.

2.- A mayor retención de humedad del suelo el período de riego puede incrementarse hasta tres días sin que el cultivo sea afectado en su rendimiento.

REVISION DE LITERATURA

Composición General del suelo.

El suelo está compuesto de partículas sólidas, agua y aire. Los sólidos son partículas minerales y orgánicas de formas diferentes, tamaños y arreglos que constituyen el esqueleto o matriz del suelo, el cual contiene una cantidad variable de poros; estos pueden estar llenos de la solución del suelo y aire. Un suelo cultivado contiene aproximadamente 45 por ciento de minerales, 5 por ciento de materia orgánica, 15 a 35 por ciento de agua y el porcentaje restante el cual es de 15 a 35 por ciento está ocupado por aire (Luthin, 1979; Gavande, 1979; Philip, 1957).

Retención de Humedad en el Suelo.

La retención de humedad de los suelos depende de la textura, del espacio poroso y tamaño de poros, por esta razón en los suelos de textura fina en estado de saturación retienen mayor cantidad de agua que los suelos arenosos que se caracterizan por textura gruesa (Narro, 1987).

Dentro de los conceptos básicos utilizados para determinar la retención de agua en el suelo se encuentran los parámetros de humedad del suelo, los cuales son:

-Capacidad de campo (CC). Es definida como la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener contra la fuerza de gravedad. También es expresada como el contenido de humedad en base a peso seco que posee un suelo, después que el movimiento gravitacional ha cesado libremente, y se estima que se adquiere después de

24 a 48 horas de efectuar un riego o lluvia fuerte, dependiendo de la textura, estructura, porosidad.

-Punto de marchitez permanente (PMP). Este parámetro se define como el contenido de humedad en base a peso de suelo seco expresado en porcentaje, que queda en el suelo después que las plantas se marchitan y son incapaces de recuperarse en una atmósfera saturada de agua.

-Agua gravitacional. Es el contenido de agua que drena fácilmente después de que el suelo ha alcanzado la saturación.

-Coeficiente Higroscópico. Se define como la cantidad de agua que un suelo contiene cuando está en equilibrio con la atmósfera con 98 por ciento de humedad relativa a temperatura ambiente, esto equivale a una succión de 27.8 bars.

El uso de los absorbentes como mejoradores de las condiciones del suelo y de las plantas para su desarrollo depende de su capacidad de retención de agua así como de la liberación paulatina de humedad a las raíces.

Características de los Hidrogeles.

Los hidrogeles son polímeros hidrofílicos de alto peso molecular que pueden ser sintetizados de una variedad de monómeros. La composición química de estos polímeros hidrofílicos incluye: acrilamida vía entrecruzada, poliacrilatos de sodio, almidones, copolímeros de acrilato y acrilamida (Tess y Poehlein, 1985).

Los hidrogeles comerciales incluyen copolímeros acrílicos vía entrecruzamiento como poliacrilamida o ácido poliacrílico y almidones insolubles (El-Sayed *et al.*, 1991). Los autores mencionan que para determinar el efecto de la salinidad en el desarrollo de algunos cultivos hortícolas en condiciones de suelo arenoso en presencia y ausencia de

polímeros de hidrogel, encontraron que el polímero resultó ser efectivo como un acondicionador del suelo, mejorando la tolerancia y desarrollo del medio.

El entrecruzamiento en los polímeros parece que contribuye a aumentar la retención de humedad, además de actuar como una barrera física al flujo del agua fuera del gel, los tipos de polímeros difieren en la cantidad de agua absorbida por gramo de material, tamaño de partícula y distribución así como respuesta a las condiciones de salinidad y costo (Johnson y Veltkamp, 1985).

Evans *et al.*, (1990) mencionan que los polímeros pueden absorber grandes proporciones de agua destilada (tanto como 1000 veces su peso), pero las aplicaciones en el campo muestran que la hidratación no excede raramente 400 o 500 veces su peso (g/g) debido al nivel de salinidad en la mayoría de las fuentes de agua, y al incrementarse la concentración de iones en el agua la cantidad de hidratación del polímero disminuye. Además mencionan que el tamaño de partícula entre los diferentes tipos de polímeros varía de 5 μ a 2 mm.

Johnson (1985) reporta que la mayoría de los polímeros específicos para la industria hortícola son fabricados considerando los siguientes criterios: incremento de la capacidad de retención del agua en el suelo; aumento de la porosidad del suelo; incremento de la proporción de sobrevivencia en el transplante; aumento en el porcentaje de germinación, así como disminución del efecto de la compactación del suelo en el crecimiento de las plantas. Además el autor señala que los fabricantes han sustituido los poliacrilatos de sodio por poliacrilatos de potasio a causa de la toxicidad del sodio para la planta. El autor menciona que en estudios de degradación controlada en varios polímeros se encontró que éstos pierden de 10 a 15 por ciento de su actividad cada año. La

degradación de los polímeros parece ser debida a la acción de microorganismos así como a la modificación de la estructura física con el tiempo y a la descomposición química.

Efectos en las propiedades físicas de los suelos mediante el uso de polímeros.

Mantener la aireación óptima para el crecimiento de las plantas es una de las propiedades físicas del suelo más importantes, la aireación es definida como el porcentaje del volumen de aire ocupado por los poros en un medio después de haber sido saturado y posteriormente drenado (Gavande, 1979).

La porosidad del suelo es el volumen de aire y agua contenido en una unidad de volumen de suelo, distinguiéndose en el suelo tres características importantes que son: la porosidad, la distribución o porcentaje de los diferentes rangos de diámetro de poros y la relación promedio entre la longitud real y la distancia entre extremos de los poros (Gavande, 1979; Luthin, 1979).

La porosidad del suelo se determina principalmente por el acomodo de las partículas sólidas. Sucede que en los suelos arcillosos y orgánicos los cuales son ricos en coloides, generalmente tienen altos valores en porosidad, alrededor de $0.6 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (Narro, 1987), esto es debido a que las cargas eléctricas de estos coloides generan un acomodo de partículas con mucho espacio libre. Mientras que los suelos arenosos contienen bajos valores de porosidad debido a la baja capacidad reactiva de sus partículas, sus valores aproximados son de $0.4 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ y en suelos compactados se pueden observar valores de porosidad de $0.3 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

El conocimiento de la porosidad es de importancia en cultivos en macetas ya que se tiene una ventaja en la selección del mejor sustrato como medio de crecimiento, además de que las propiedades del suelo pueden ser mejoradas al incorporar medios

físicos, uno de estos es la incorporación de hidrogeles o absorbentes al medio de crecimiento (Bugbee y Frink, 1986).

La expansión y aireación son propiedades físicas del suelo importantes para poder mantener el espacio de aire necesario para un desarrollo benéfico del sistema radicular y crecimiento de los cultivos, tal como lo señalan Bugbee y Frink 1986, en un estudio del efecto de la aireación en recipientes mediante la incorporación de hidrogel en plantas de tomate.

Terry y Nelson (1986) estudiaron el efecto de la aplicación de hidrogel en las propiedades físicas de un suelo arenoso, regado por aspersión y superficie. Se aplicó una dosis de 650 kg de poliacrilamida por hectárea. Los resultados mostraron que los valores de densidad aparente de la capa superficial con la aplicación de poliacrilamida tanto en riego por aspersión como en superficie fueron significativamente más bajos respecto al testigo regado por superficie. En los tratamientos que se les aplicó poliacrilamida se encontró que la penetración fue 10 veces mayor en el riego por superficie que en aspersión, y la tasa de infiltración fue la mitad en el riego por superficie que en aspersión.

Bugbee y Frink (1986) estudiaron el efecto de la variación de aireación en un sustrato sobre las propiedades físicas del medio y el crecimiento de plantas ornamentales, en una mezcla de peat moss y vermiculita con relación 1:1 (vol/vol) de los componentes. La aireación se ajustó a porcentajes de 1.0, 2.2, 5.0, 11.3, 13.3, 20.0 y 33.6, alterando el tamaño de las partículas de los constituyentes. Encontraron que el espacio total de poros se mantiene constante aunque se incremente la aireación, pero la cantidad de humedad contenida a capacidad de campo en recipiente decrece linealmente. El agua retenida a tensiones menores de 30 cbar se incrementa ligeramente hasta que la aireación alcanza de

10 a 15 por ciento, y a valores mayores de aireación disminuye. En cuatro especies de plantas ornamentales el crecimiento se limitó cuando la aireación fue de 5 por ciento o menor, se encontró que el rango óptimo de aireación para el mejor crecimiento de las plantas fue de 11.3 a 20 por ciento.

Wallace *et al.*, (1986) analizaron las condiciones de los polímeros, mezclaron tres diferentes suelos: sódico, calcáreo y muy ácido adicionando polímeros polianiones y polímeros policationes con un polisacárido en suspensión floculado, pasando las partículas a través de un tamiz de diferentes tamaños. Además en la solución se incluyó sulfato de amonio resultando una mayor y más completa floculación en los suelos con pH alto y menor en suelos ácidos. Con el polication, el sulfato de amonio resultó con menor floculación para los tres suelos, el polianión resultó en más floculación para el suelo calcáreo que en suelo ácido.

Los resultados indicaron que el efecto de sal acarrió partículas de arcilla cerrándose lo suficiente de tal manera que se sujetaron a un polianión común, esta ligadura ocurrió en mayor tiempo con polímeros polianiones. Además mencionan que el ion es muy importante debido a que los cationes polivalentes pueden repartirse con polímeros y arcillas en el proceso de floculación de los agregados.

Por último concluyeron que la adición de un polisacárido con un polianión viene a dar una respuesta de sinergismo, indicando que hay un cruce de enlaces entre los dos polímeros, el efecto total se asemeja a una separación o dispersión de los agregados que asegura la estabilidad por las partículas floculadas.

En un experimento que se llevó a cabo en laboratorio, se demostró que el uso de polímeros permitió la emergencia de plantas en tres tipos de suelos que en condiciones

naturales forman encostramiento, evitando la emergencia de plantulas (Wallace y Wallace, 1986 b). Además los autores señalan que los suelos sódicos generalmente son deficientes en propiedades físicas, esto crea desventaja para el crecimiento de los cultivos debido a la dificultad de la labranza. Una alta absorción de sodio, valores altos de pH y simultáneamente altos valores de carbonatos de calcio contribuyen al comportamiento de dispersión de los suelos creando una pobre aireación, baja retención de agua, deficiente drenaje y por consecuencia resistencia al crecimiento de los cultivos.

La aireación como un proceso de intercambio de gases consumidos y producidos bajo la superficie del suelo con los gases de la atmósfera, es de vital importancia en el crecimiento de los cultivos (Bugbee y Frink, 1986). El aire del suelo constituye la fase gaseosa; es compuesto por una mezcla de gases similar a la de la atmósfera (Gavande, 1979). Algunos componentes de esta fase, especialmente el oxígeno, son indispensables para el desarrollo de los cultivos, otros gases como el bióxido de carbono, pueden producir efectos tóxicos en las plantas cuando se encuentran en concentraciones relativamente altas.

El efecto de la aireación del suelo en el crecimiento de las plantas, generalmente comprende el efecto sobre los constituyentes del suelo y efectos directos en las condiciones fisiológicas de las plantas. La adición de mejoradores físicos del suelo como los hidrogeles, tienen efectos benéficos sobre los constituyentes del suelo (Wallace y Colette, 1984), y en el crecimiento de cultivos como en tomate (Bugbee y Frink, 1986).

Mitchell (1986) realizó pruebas de aplicación de poliacrilamidas en riego por surcos en el cultivo de algodón para probar su efecto sobre la infiltración en un suelo arcilloso. Las concentraciones probadas de 25, 50 y 150 mg/lt de agua, que fueron

equivalentes a 6.6, 13.3, y 32.2 kg/ha. Los resultados mostraron que la aplicación de poliacrilamida fue más efectiva diluida en solución en el agua de riego que la aplicación en seco sobre la superficie. Además mencionan que las cantidades altas incrementaron la tasa de infiltración de 30 a 57 por ciento durante las primeras 4 horas; la tasa final de infiltración después de 12 horas y el total del agua infiltrada no fue incrementada por la aplicación de poliacrilamida.

Los polímeros son usados para formar agregados estables al agua en los suelos, no solo han tenido un efecto favorable sobre la infiltración sino que también disminuyen la erosión. El uso de los polímeros para este propósito fue desarrollado hace 30 años, pero no fueron disponibles comercialmente hasta la actualidad como lo citan Wallace y Wallace, 1986 b). Los autores basados en experimentos donde se utilizó la poliacrilamida para disminuir la erosión en los suelos, describen cinco situaciones para lograr este objetivo.

-la primera involucra la aplicación del polímero a varios centímetros de profundidad del suelo para mejorar la penetración de agua, tal que exista la menor corriente de agua con menor erosión.

-la segunda consiste en aplicarlo a dos centímetros de profundidad de la superficie del suelo para crear una estabilidad de agregados que resista la erosión.

-en la tercera el polímero se dispersa en solución o aplicando el material seco seguido de humedecimiento de la superficie, tal que después de secarse ésta, la estructura de la superficie del suelo sea estable y no sea fácilmente rota durante la lluvia de una tormenta, incluso a través de la penetración del agua con demasiada corriente. El suelo no podrá ser cultivado en esta situación.

-la cuarta consiste en aplicar el polímero por la vía del agua de riego, particularmente por el riego en surcos.

-por último los polímeros se aplican en campos deportivos para disminuir la erosión por el viento.

Usos en la Horticultura.

Al inicio de la utilización de los polímeros las recomendaciones fueron desarrolladas para cultivos en invernadero en virtud de que inicialmente el uso de hidrogeles fue proyectado para incrementar la capacidad de retención del agua en las mezclas de sustratos usados en la producción de cultivos florales y en los semilleros o almácigos (Bearce y Mc Collum, 1977; Foster y Keever, 1990; Gerhing y Lewis, 1990; Letey *et al.*, 1992).

Los productores y especialistas han buscado diferentes métodos que podrían incrementar el número de días entre riegos para los cultivos así como reducir la cantidad total de agua necesaria para el desarrollo de sus cultivos a maduración.

La respuesta de los cultivos a la adición de hidrogeles en las mezclas de sustratos, parece ser más alta cuando son incorporados en arena o medios con baja materia orgánica. Además la sensibilidad individual de la planta a el estrés hídrico afecta la respuesta del cultivo al suelo modificado por el polímero. La proporción de la aplicación del polímero recomendado por los fabricantes es de 0.454 a 2.27 kg en 0.765 m³ (Regulski, 1984).

La "American Greenhouse Vegetable Grower News" (1989) publica que una aplicación potencial de polímeros en la producción de tomate en invernadero es el uso de módulos de polímeros como un sustrato.

La incorporación de polímeros hidrofílicos al medio de cultivo tienen un efecto benéfico en la germinación y emergencia de las plántulas, debido a que existe un mejoramiento de las propiedades físicas del suelo (Cook y Nelson, 1986; Henderson y Hensley, 1986). Las dosis elevadas de hidrogel provocan una disminución significativa en la emergencia de las plántulas, atribuyéndose a una reducción de aireación en el medio (Baxter y Waters, 1986), además de afectar algunas plantas en su desarrollo presentando diámetros pequeños de tallos como en crisantemo debido al desplazamiento de oxígeno del medio saturado por agua (Wang, 1989).

Henderson y Hensley (1987), en una evaluación para germinar semillas de tres especies utilizando un adhesivo, hidrogel y un exceso de hidrogel, en tres intervalos de riego, concluyeron: que bajo un intervalo de riego de tres días el porcentaje más alto de germinación fue obtenido con la utilización del adhesivo en semilla Black Locust, con el empleo de hidrogel lo fue en semilla de Honeylocust, y con hidrogel en exceso en semilla Kentucky. Para el intervalo de seis días la más alta germinación fue para el tratamiento con hidrogel, en segundo y tercer término para el tratamiento con adhesivo en las tres especies respectivamente. En el intervalo de nueve días de riego fue con la utilización del adhesivo en las tres especies respectivamente.

Wallace y Colette (1984) reportan que el hidrogel incorporado a la proporción recomendada por el fabricante (8 kg/m^3) incrementó el crecimiento de los tallos de tomate a un tamaño mayor con irrigación cíclica que con subirrigación.

Pryor (1988), reporta que el incremento en la capacidad de retención del agua en el suelo con la adición de polímeros, es dependiente del tipo de suelo así como del nivel de materia orgánica encontrada en él. Los objetivos de la aplicación fueron reducir

la utilización de agua de un 30 a 50 por ciento y reducir las aplicaciones de fertilización. Los resultados preliminares parecen confirmar los objetivos del uso de polímeros en campo en California lográndose: una reducción en tiempo a la madurez del cultivo, incremento de la producción de 30 por ciento y potencialmente una más alta concentración de sólidos solubles en la fruta, se reportaron con una aplicación de 7 kg de poliacrilamida por metro cúbico en el proceso de desarrollo de tomates en California.

Esto también ha sido un indicativo de que los polímeros favorecen el desarrollo radicular impactando en el mejoramiento del desarrollo de las plantas. Pryor, (1988) también cita que ensayos en menor escala fueron conducidos por los agricultores en Texas y Florida. La respuesta del cultivo ha sido la eliminación de la suspensión o disminución del crecimiento de la planta debido al estrés por sequía, incrementando la absorción de nutrientes y aumentando la producción del cultivo.

MATERIALES Y METODOS.

Ubicación del experimento.

EL presente trabajo se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila; con una altitud de 1743 msnm., 25° 22' de Latitud Norte y 101° 22' longitud oeste.

Metodología del Objetivo A.

Para alcanzar el objetivo A se realizaron pruebas de laboratorio, estas consistieron en incorporar al sustrato dosis de hidrogel a 2, 4, 6 y 8 kg/m³ y el testigo (0 dosis de hidrogel). El sustrato agrícola fue compuesto de tierra vegetal, Horti-Perl (Perlita) y Peat Moss al 33 por ciento en volumen de cada uno. El hidrogel utilizado fue Agrosoke, el cual es un polímero aniónico proporcionado por Agro Innovators International de Arlington Texas, U.S.A., el cual presenta las siguientes características: absorbe hasta 40 veces su peso, no se degrada física o químicamente, no es tóxico y tiene pH neutro, es compatible con todo tipo de agroquímicos.

Determinación de las propiedades físicas.

-La retención de humedad de las mezclas de hidrogel-sustrato, en el laboratorio de determinó por la metodología de las ollas de presión a tensiones de: 0.3, 1.0 y 15.0 bars.

-La porosidad, aireación, expansión y capacidad de recipiente se determinaron por la metodología de Wallace y Colette (1984), para lo cual se pesaron 500 gramos de

cada mezcla colocándose estas en botes de lámina de 9.7 cm de diámetro y 14 cm de profundidad. En seguida se saturaron las mezclas de hidrogel-sustrato en sus respectivas dosis, la saturación se determinó hasta observar una lámina fina de agua en la superficie, después de saturar las mezclas se reposaron durante 48 horas.

Porosidad.

El volumen de agua a saturación representó el volumen total de poros, y el volumen donde estuvo contenido el sustrato representó el volumen total o volumen inicial determinándose la porosidad por la siguiente ecuación.

$$\text{Porosidad en por ciento} = (\text{Volumen total de poros} / \text{Volumen total}) * 100$$

Aireación.

El porcentaje de aireación se obtuvo considerando el volumen de agua como espacio poroso libre que puede ser ocupado por aire, cuando el excedente de agua drenó (equivalente a capacidad de campo en recipiente). la aireación se determinó por la siguiente ecuación.

$$\text{Aireación en por ciento} = (\text{Volumen de aire} / \text{Volumen total}) * 100$$

Donde:

$$\text{Volumen de aire} = \text{Volumen total de poros} - \text{Volumen de agua.}$$

El volumen de agua es el volumen retenido a capacidad de campo en recipientes.

Capacidad de expansión.

La capacidad de expansión es determinada después del período de reposo, se mide el incremento en volumen o expansión que hayan tenido las mezclas. A esta propiedad se le conoce como incremento en volumen aparente debido al incremento en porosidad y se determina por la siguiente ecuación.

Expansión= (Volumen final - Volumen inicial)/ Volumen inicial * 100

Donde

Volumen final es el volumen de la mezcla a saturación después de expanderse.

Volumen inicial es el volumen de la mezcla en seco.

Capacidad de recipiente.

Para determinar la capacidad de recipiente de las mezclas se retiran los sellos del drenaje de los recipientes para drenar las mezclas por 24 horas, cuantificando el volumen drenado.

La diferencia entre el volumen de agua para saturar la mezcla y el volumen drenado es el volumen retenido a capacidad de recipiente, el cual es equivalente a capacidad de campo en recipientes, expresada en base volumen por la siguiente ecuación.

$$CR = (\text{Vol. de agua a saturación} - \text{Vol. drenado}) / \text{Volumen total} * 100$$

Donde

CR es la capacidad de recipiente en base volumen.

Para evaluar el efecto del hidrogel en las propiedades físicas: porosidad, aireación, capacidad de expansión y capacidad de recipiente, se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones.

Metodología del Objetivo B.

Para alcanzar el objetivo B se llevó a cabo una investigación con el cultivo de Tomate bajo invernadero.

Se probaron las siguientes mezclas de hidrogel sustrato: 2, 4, 6 y 8 kg/m³ y testigo (0 dosis de hidrogel) en tres intervalos de riego (diario, cada dos y tres días).

Cuadro 3.1. Características Físico Químicas del sustrato.

Contenido de arena (%)	21.2	
Contenido de limo (%)	30	
Contenido de arcilla (%)	48.8	
Textura	Migajón	
C.C (% peso)	41.73	
PMP (% peso)	25.24	
Da (gr/cm ³)	0.45	
pH (en agua)	6.3	Ligeramente ácido
CE (dS/m)	0.71	Suelo no salino
Materia orgánica (%)	6.24	Extremadamente rico
Nitrógeno Aprovechable (%)	0.31	Rico
Potasio intercambiable (kg/ha)	450	Extremadamente rico
Fósforo Aprovechable (kg/ha)	13.5	Muy pobre
Carbonatos totales (%)	3.68	Muy bajo
Na ⁺ (meq/lt)	0.9	
K ⁺ (meq/lt)	---	
Ca ⁺ (meq/lt)	7	
Mg ⁺⁺ (meq/lt)	2	
Cl ⁻ (meq/lt)	1.4	
SO ₄ (meq/lt)	1.81	
CO ₃ (meq/lt)	1	
HCO ₃ (meq/lt)	6	
HCO ₃ (meq/lt)	6	

Datos analizados en el Laboratorio de Fertilidad y Salinidad. Departamento de Riego y Drenaje de la UAAAN.

El diseño experimental establecido fue en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas. El factor A o parcela grande consistió en los tratamientos de riego, el factor B o parcela chica las mezclas de hidrogel-sustrato. La combinación de ambos factores originaron 15 tratamientos estableciéndose en tres repeticiones dando un total de 45 unidades experimentales. La unidad experimental se formó de tres macetas de 10 litros conteniendo una planta de tomate cada una de ellas.

La siembra del tomate se efectuó el 22 de Abril de 1994, en cajas germinadoras de unisel, conteniendo peat moss. El transplante a las macetas previamente fertilizadas se

efectuó a los 25 días después de haber sembrado. Los tratamientos de riego fueron llevados en forma manual midiendo la cantidad de agua aplicada con una probeta y provocando drenaje para asegurar la máxima retención de humedad. El consumo de agua durante el intervalo de riego se obtuvo por la diferencia entre el agua aplicada y drenada.

Durante el desarrollo de la planta se midió altura de plantas, diámetro del tallo a 20 cm, número de entrenudos, número de racimos, número y peso de frutos en cada corte así como la calidad del fruto.

Se midió la temperatura de las hojas en diferentes días de desarrollo con la finalidad de detectar la diferencia del estrés hídrico de la planta debido a los tratamientos.

Al finalizar la producción establecida del cultivo, se evaluó el peso seco de la planta exceptuando el fruto así como el rendimiento total.

La cosecha inició el 7 de agosto y se efectuaron 14 cortes finalizando el 20 de octubre de 1994. El criterio para recolectar el tomate fue la manifestación del color rojo en el ápice del fruto. En cada parcela la producción obtenida se clasificó en las calidades México 2 o sea para el mercado nacional (Figura 3.1), esta clasificación se hizo en base al tamaño grande, mediano y chico, de acuerdo a su diámetro (Cuadro 3.2).

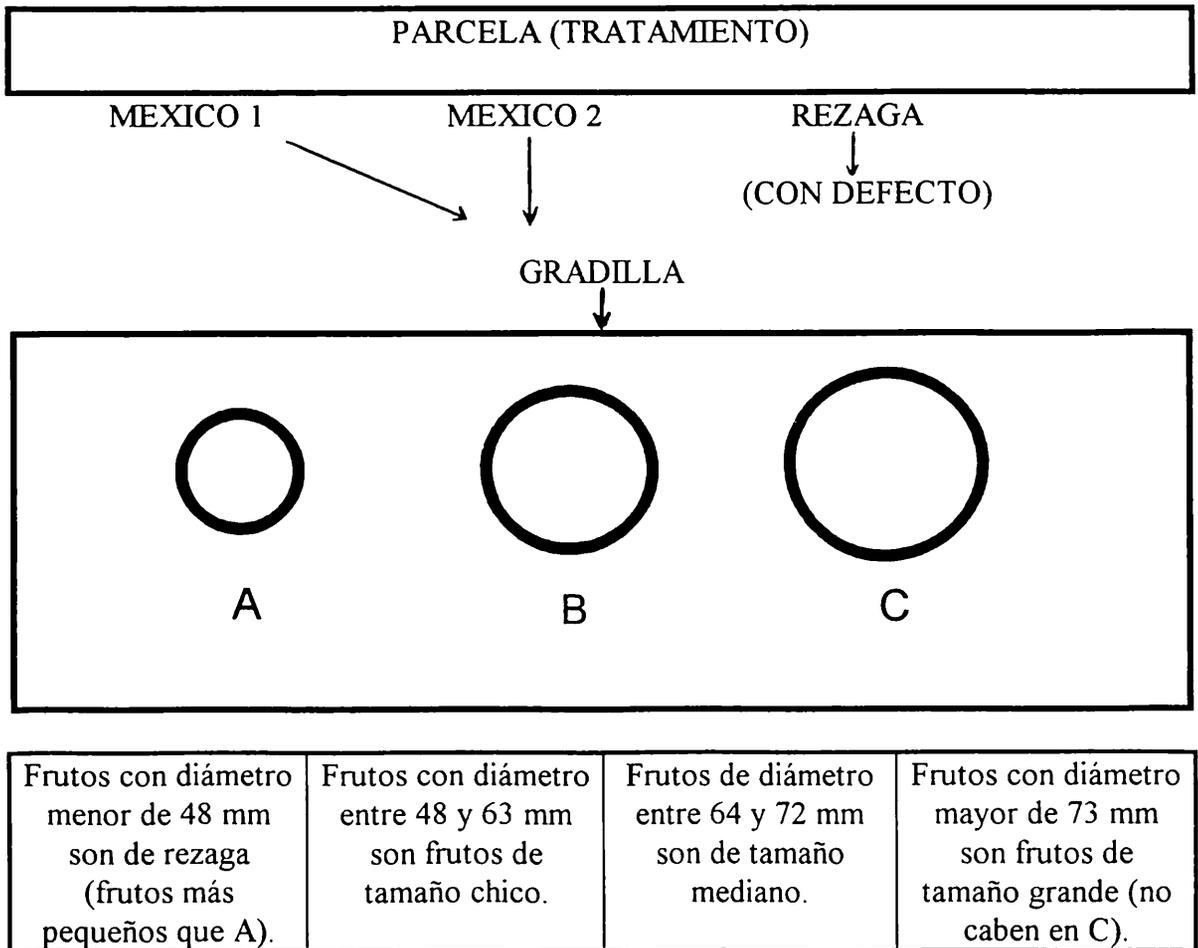


Figura 3.1. Gradilla para la clasificación de tomate por tamaño.

Cuadro 3.2. Clasificación en tamaños de fruto de acuerdo a normas para el mercado de exportación (México 1) y para el mercado nacional (México 2).

Tamaños	Diámetro en mm		Tamaños	Diámetro en mm	
	Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
Grande					
4 x 4	92	---	Primera	88	---
4 x 5	88	91			
5 x 5	80	87			
6 x 6	73	79	Segunda	73	87
Mediano					
6 x 6	64	72			
Chico			Tercera	64	72
6 x 7	58	63			
7 x 7	54	57			
7 x 8	48	53	Cuarta	54	63

Fuente: Sistematización de toma de datos en campo, Rendón et al., (1983).

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de los parámetros físicos.

Efectos sobre la retención de humedad.

Como se citó en materiales y métodos la retención de humedad fue evaluada por el método de las ollas de presión y por el método de Wallace y Colette, (1984). En el Cuadro 4.1 se observa que el contenido de humedad determinado por las ollas de presión se incrementa a medida que aumenta la dosis de hidrogel para las tensiones evaluadas (0.3, 1.0 y 15 bars). El mayor incremento en contenido de humedad se registró a una tensión de 0.3 bars entre el testigo y la dosis mayor de hidrogel (8 kg/m^3 de sustrato), este valor fue de 18.27 por ciento de humedad, mientras que a 15 bars de tensión el incremento de humedad fue de 3.87 por ciento respecto al testigo con la misma dosis de hidrogel.

En el mismo cuadro se presenta la Humedad Disponible Total (HDT), observándose que esta se duplica para el tratamiento de hidrogel de 8 kg/m^3 . También se calculó la Humedad Fácilmente Accesible (HFA), comprendida entre 0.3 y 1.0 bars de tensión, con la finalidad de conocer que cantidad de la HDT incrementada por el hidrogel es retenida a bajas tensiones, los resultados demuestran que en los tratamientos el incremento de humedad a bajas tensiones corresponde a casi la mitad de la HDT, lo cual es favorable porque la humedad retenida entre 0.3 y 1.0 bars de tensión es fácilmente absorbida por las plantas.

Cuadro 4.1. Contenido de humedad a capacidad de recipiente (PV) y a diferentes tensiones en bars en las mezclas de hidrogel - sustrato en porciento bese peso.

Dosis de hidrogel kg/m ³	PV a C.R.	0.3 bars	1.0 bars	15.0 bars	%HDT 0.3 y 15 bars	%HFA 0.3 y 1.0 bars	% HFA de la HDT.
Testigo	67.00	41.73	34.60	25.24	16.49	7.13	43.24
2	69.48	50.70	38.40	25.78	24.92	12.30	49.36
4	71.95	56.47	41.17	26.77	29.70	15.30	51.52
6	74.42	57.50	41.80	27.57	29.90	15.70	52.51
8	76.89	60.00	43.20	29.11	30.90	16.80	54.37
Incremento.*	9.89	18.27	9.87	3.87	14.41	9.67	11.13

*El incremento en humedad es calculado del testigo a la dosis de 8 kg/m³ de sustrato.

En la Figura 4.1 se presenta la relación de la retención teórica y real de agua en cm³ por efecto del hidrogel, en esta figura se observa que bajo las condiciones de este experimento el hidrogel no retiene la cantidad de agua como lo cita el fabricante. Se observa que sólo retiene un tercio de la humedad teórica de las dosis de hidrogel.

Porosidad a capacidad de recipiente.

Al evaluar la porosidad de las diferentes mezclas de hidrogel-sustrato, se encontró diferencia significativa, existiendo mayor porcentaje de porosidad en la dosis de 8 kg/m³. En la Figura 4.2 se presentan los valores de porcentaje en porosidad de los tratamientos, se puede observar una respuesta lineal donde el incremento en porosidad es de 0.47 por ciento por kg. Lo anterior muestra que los hidrogeles provocan un incremento en porosidad, lo cual es benéfico para el buen desarrollo radicular del cultivo, ya que en el espacio poroso se distribuye el agua y aire del suelo que es de fundamental importancia para la movilidad de estos dos componentes.

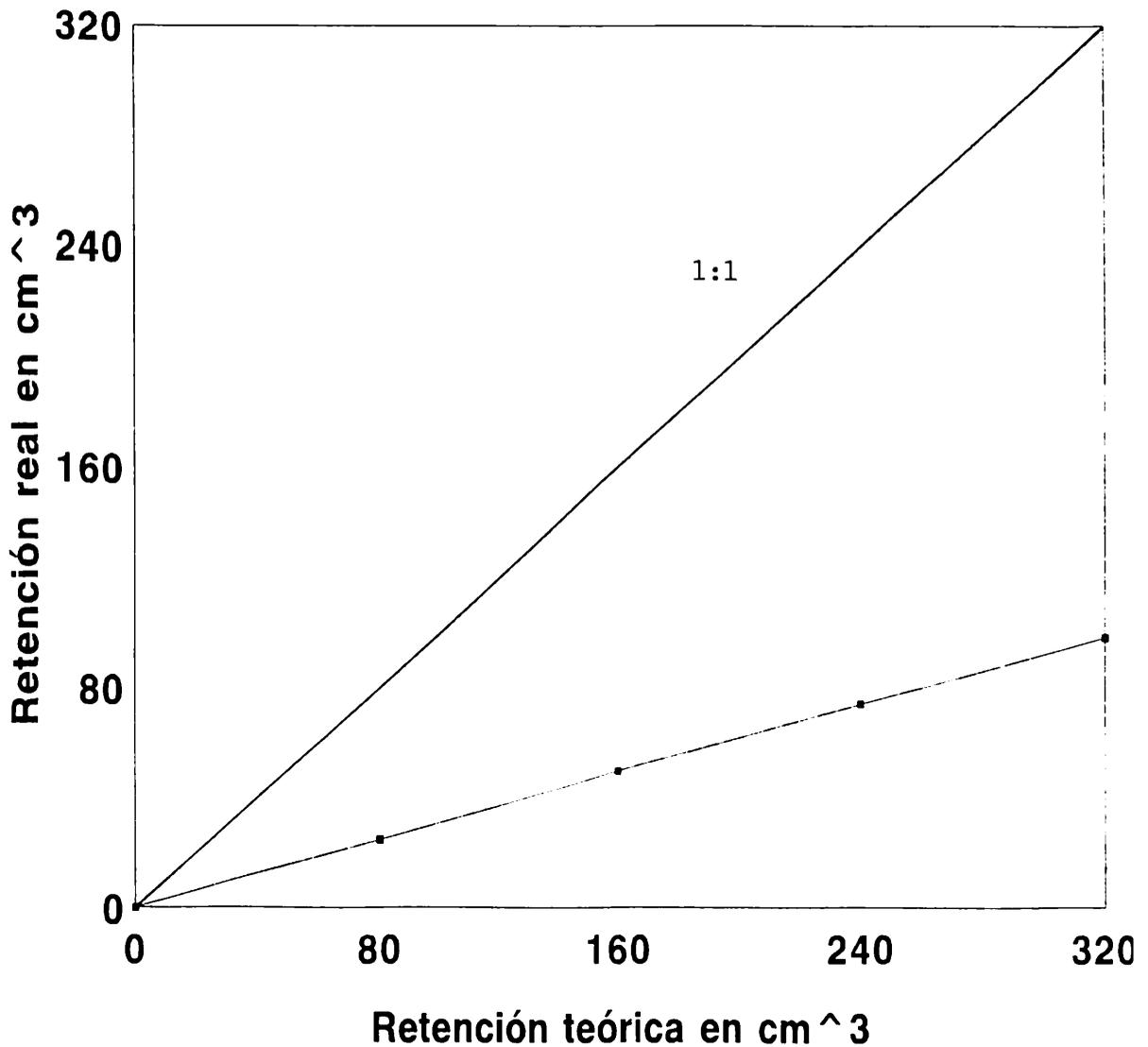


Figura 4.1. Relación de la retención teórica y real en cm^3 por el uso de hidrogel.

Aireación y Expansión a Capacidad de Recipiente.

Al evaluar la aireación a capacidad de campo en recipiente, hubo diferencia significativa entre las mezclas hidrogel-sustrato. La Figura 4.3 muestra que la aireación decrece en forma cuadrática, o sea que disminuye al aumentar la dosis de hidrogel contrario al porcentaje de expansión de las mezclas que resulta en una función lineal creciente, este comportamiento es debido a que la expansión del suelo es en menor magnitud que el aumento de retención de agua. Este mismo comportamiento es reportado

por El-Sayed *et al.*, (1991). Los valores de por ciento de aireación varían de 8.6 por ciento a 6.2 por ciento del testigo a la dosis de 8 kg/m^3 .

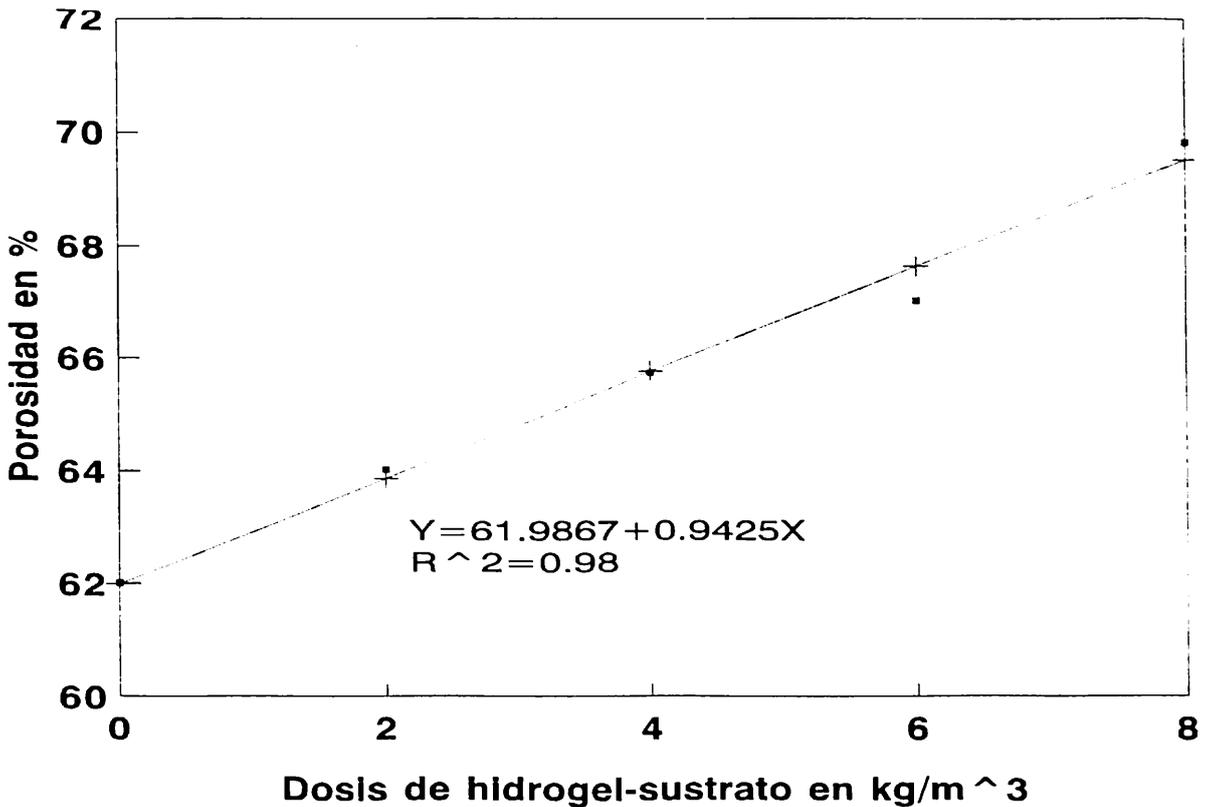


Figura 4.2. Comportamiento de la porosidad en las dosis hidrogel sustrato evaluadas a capacidad de recipiente.

El porcentaje de expansión es determinado al hidratar el hidrogel incorporado al sustrato, el hidrogel aumenta el volumen provocando desplazamiento de las partículas del suelo reduciendo la densidad aparente al aumentar el volumen. Los valores de porcentaje de expansión están comprendidos dentro de un rango de 4.37 por ciento para el testigo y de 21.08 por ciento para la dosis de 8 kg./m^3 de hidrogel.

Contenido de humedad a capacidad de recipiente.

Al determinar la humedad a capacidad de recipiente se encontró que el incremento máximo de humedad para la dosis de 8 kg./m^3 de sustrato fue de 9.89 por ciento base volumen. Este valor bajo en incremento de humedad puede ser atribuido al

bajo porcentaje de porosidad que se presenta entre las mezclas de hidrogel - sustrato, por lo que el espacio poroso se ve disminuido no almacenando cantidades considerables de agua.

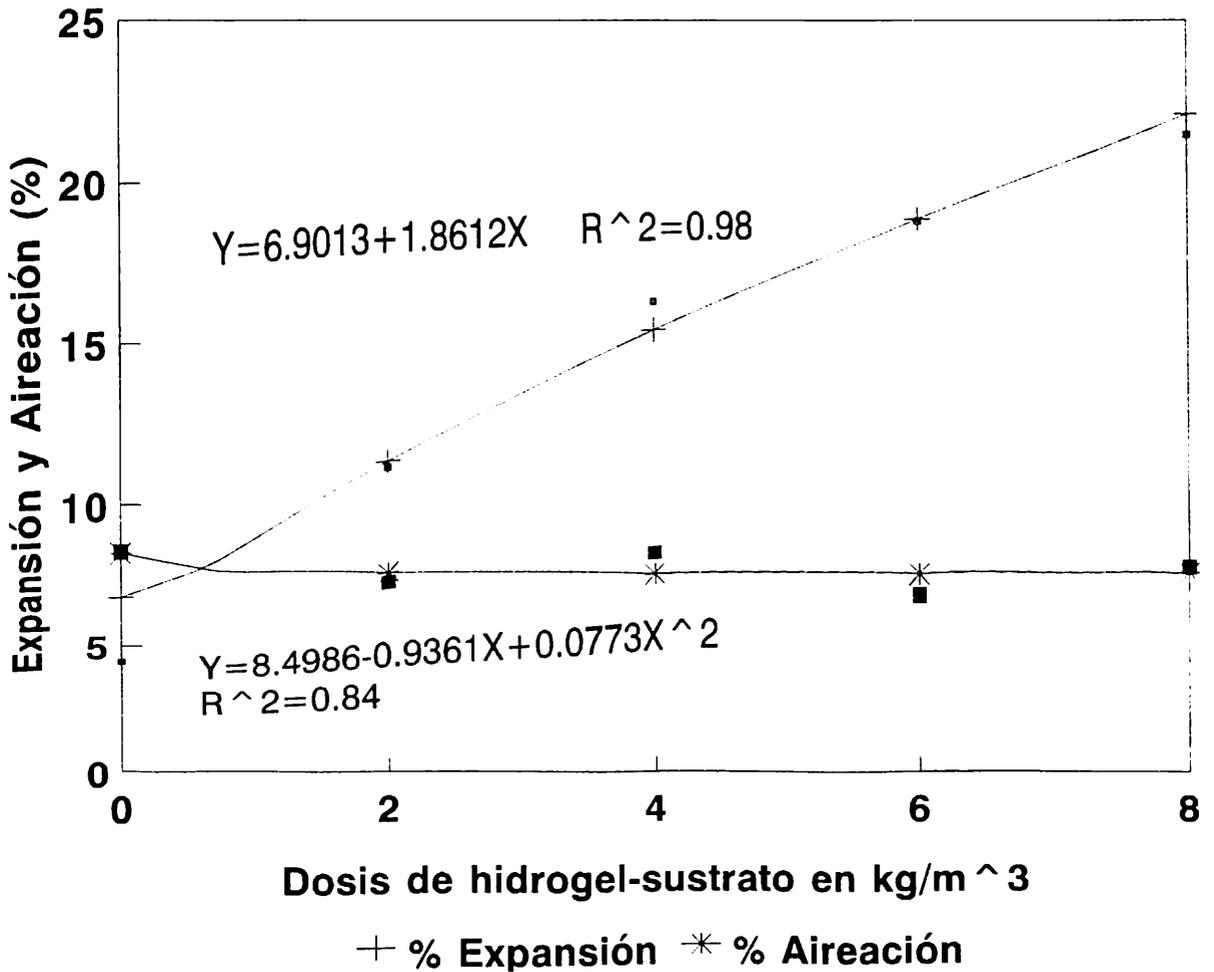


Figura 4.3. Comportamiento de la aireación y expansión en las dosis de hidrogel - sustrato evaluadas a capacidad de recipiente.

En la Figura 4.4 se observa que el contenido de humedad a capacidad de recipiente en función de las dosis de hidrogel se ajusta a una función lineal creciente, mientras que el porcentaje de aireación se comporta en forma cuadrática decreciente, disminuyendo el espacio poroso a medida que aumenta la dosis de hidrogel.

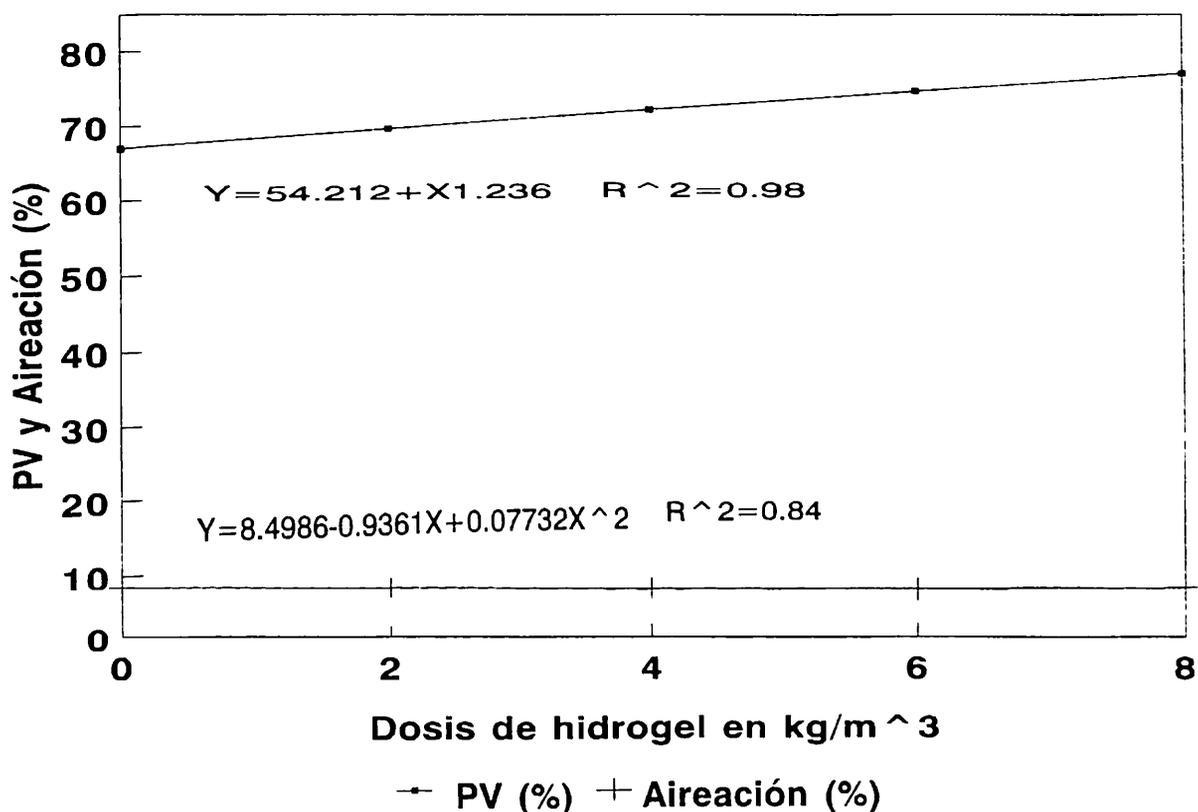


Figura 4.4. Contenido de agua y aire del espacio poroso total a capacidad de recipiente como una influencia de la incorporación de hidrogel en un sustrato agrícola.

Consumo de agua.

En la Figura 4.5 se presenta el consumo total de agua en litros en los tratamientos evaluados, el tratamiento de riego diario tuvo un consumo de agua estadísticamente superior que el tratamiento de riego cada dos días; el que a la vez fue significativamente mayor que el tratamiento de riego cada tercer día. En el caso de las dosis de hidrogel no hubo diferencia significativa entre tratamientos. Estos resultados nos indican que el incremento de humedad por el hidrogel no tuvo efecto significativo sobre el consumo de agua, el cual estuvo bajo influencia principalmente por la periodicidad del riego. También indica que el estrés hídrico se incrementó a medida que se espacian los riegos, muestra de esto es la relación de los consumos de agua en los tratamientos.

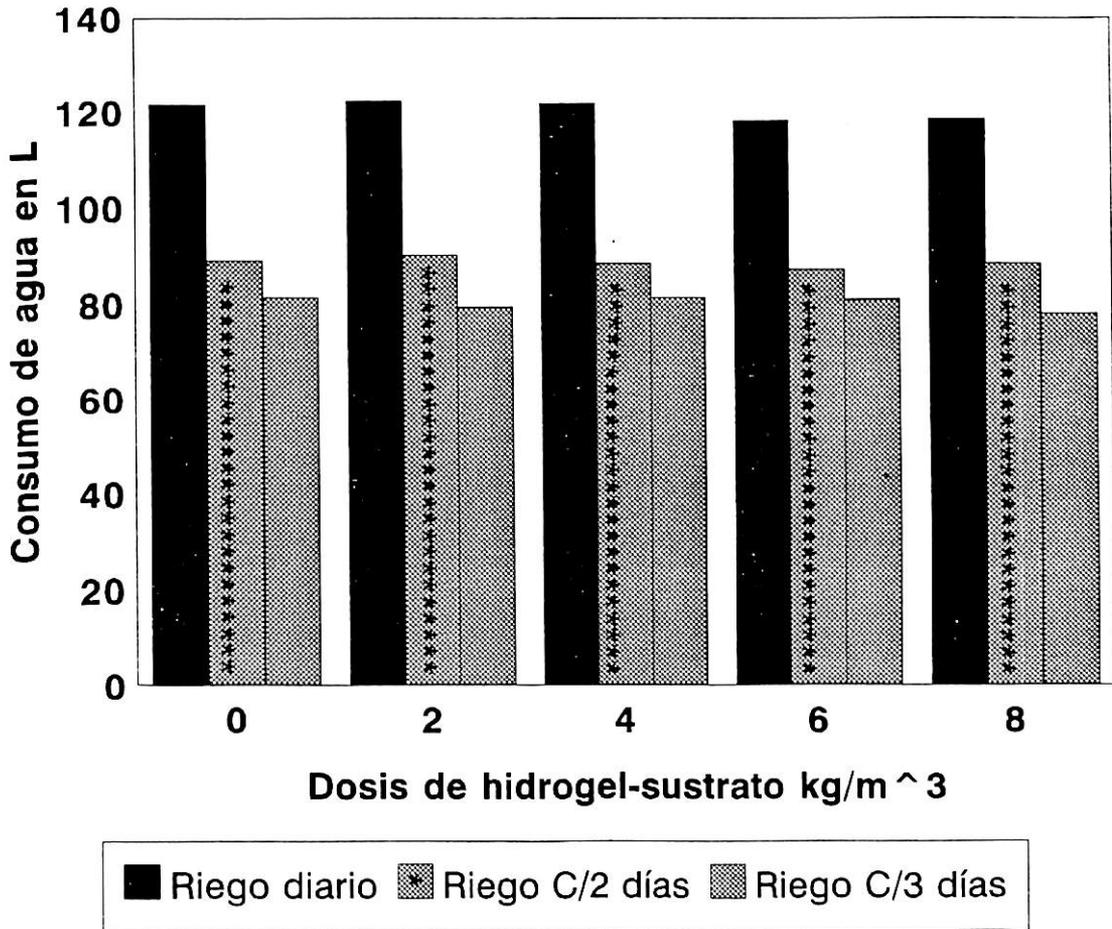


Figura 4.5. Consumo total de agua en la evaluación de tres intervalos de riego y cinco dosis de hidrogel-sustrato.

En la Figura 4.6 se presenta el consumo diario de agua en litros por planta en los tratamientos evaluados, se muestra que en el tratamiento de riego diario se consume mayor cantidad de agua por planta y en el tratamiento de riego cada tres días se consume menor cantidad de agua, indicando que las plantas estuvieron bajo estrés hídrico. En la Figura 4.7 se presenta una relación del consumo de agua de los tratamientos sobre el consumo máximo, el cual representa el tratamiento de riego diario con la dosis de hidrogel de 2 kg/m³.

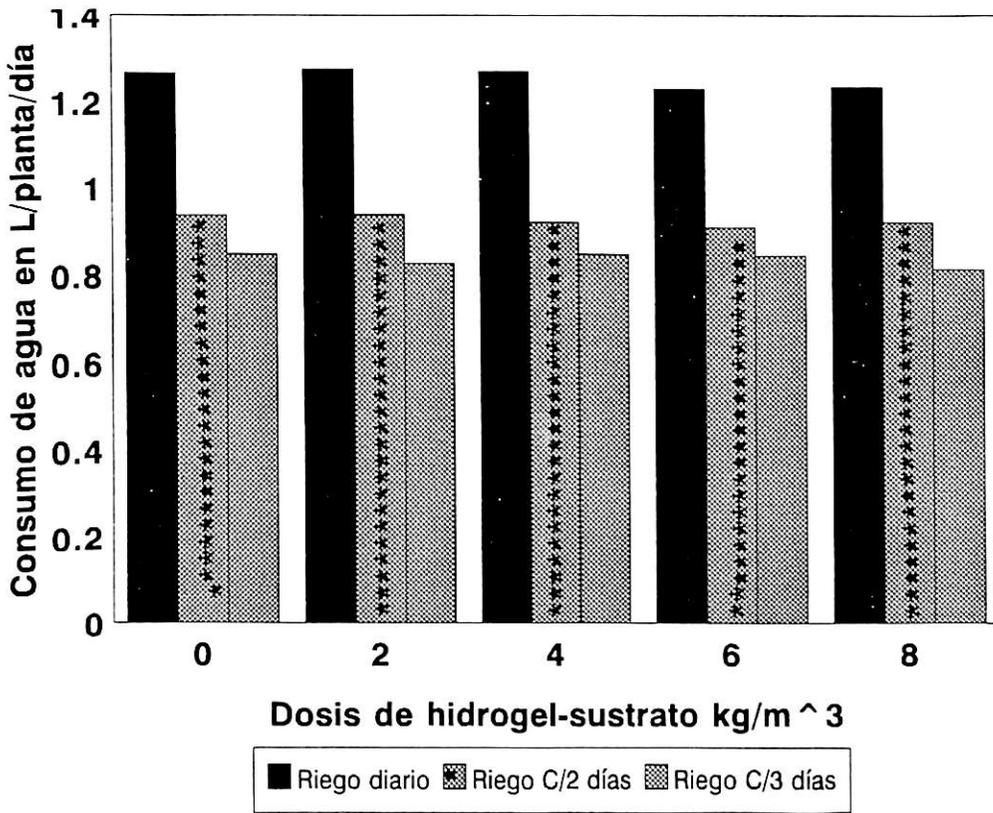


Figura 4.6. Consumo diario de agua en litros por planta de tomate en los tratamientos evaluados.

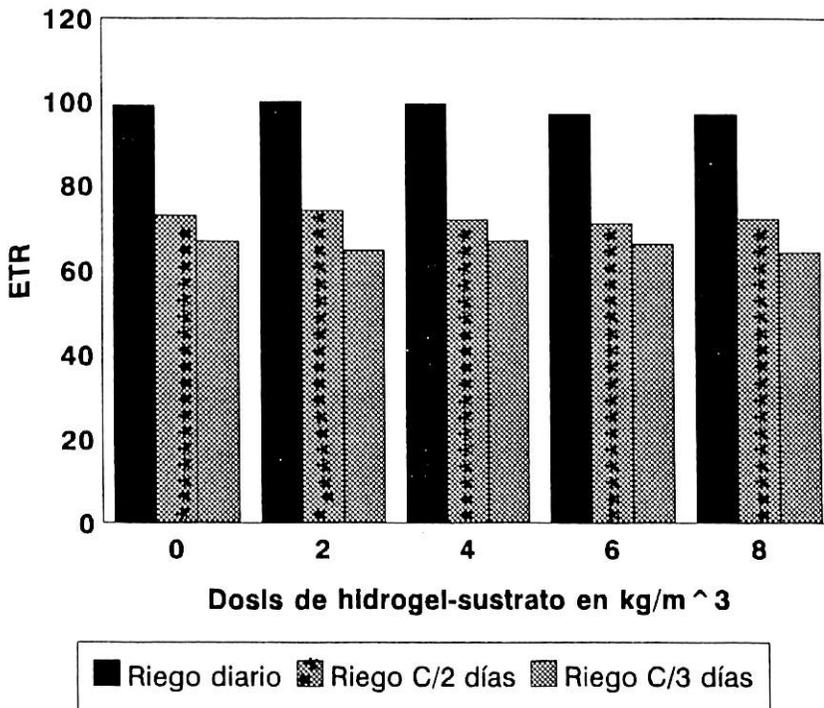


Figura 4.7. Relación consumo de agua de tratamientos (ETR) sobre consumo máximo (ETM) tomando como referencia el tratamiento de riego diario en la dosis de 2 kg/m³ de sustrato.

Componentes de rendimiento.

Rendimiento total de tomate.

En la Figura 4.8 se presenta el rendimiento total de tomate en los diferentes tratamientos, se observa que en los tres intervalos de riego los mayores rendimientos son alcanzados en el testigo y en la dosis de 2 kg/m³ de sustrato.

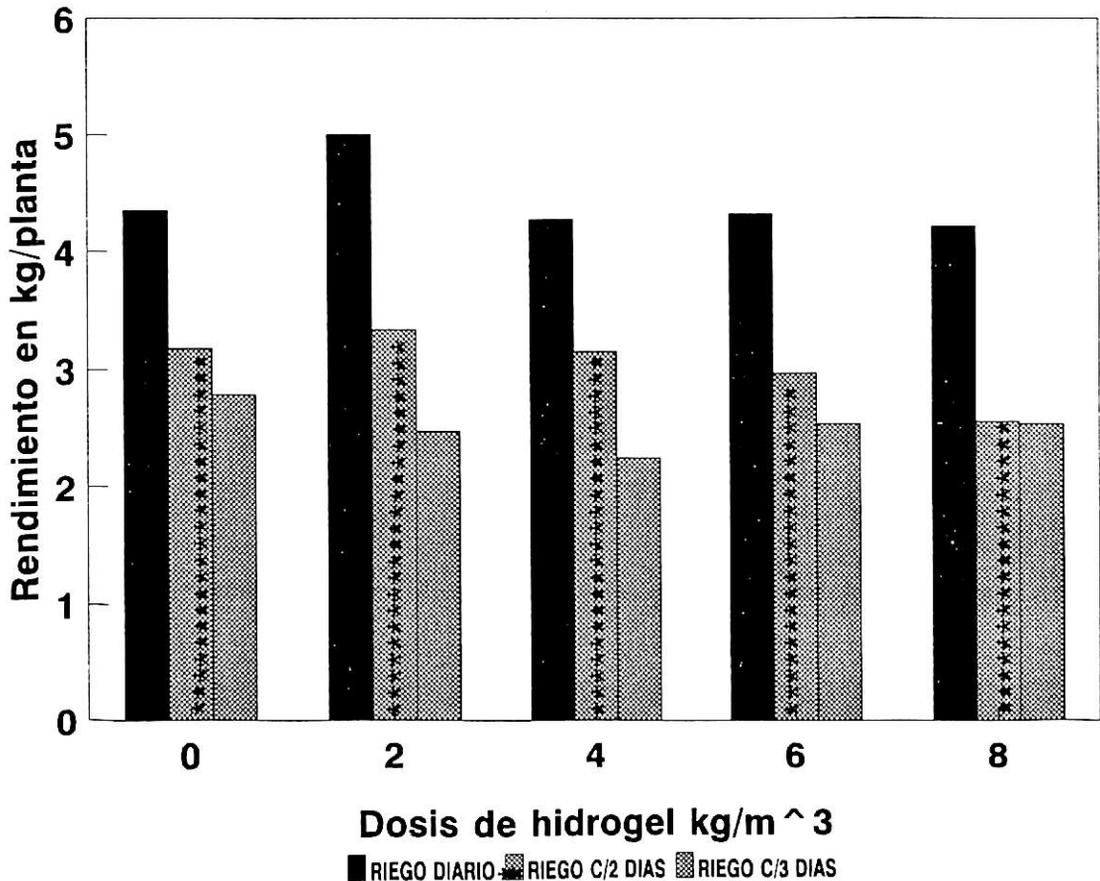


Figura 4.8. Rendimiento total de tomate en cinco dosis de hidrogel - sustrato y tres intervalos de riego.

Los resultados de rendimiento muestran que hubo diferencia significativa para los intervalos de riego, no existiendo diferencia en los tratamientos de hidrogel. En el caso de los tratamientos de intervalos de riego, el tratamiento de riego diario fue superior significativamente al tratamiento de riego aplicado cada dos días, el que a la vez fue superior significativamente que el riego cada tres días, lo cual fue debido a que el estrés

hídrico se incrementa con la periodicidad del riego, como se citó anteriormente en el consumo de agua.

Rendimiento de tomate por tamaños.

En cuanto a rendimiento por tamaño de fruto se clasificó en grande, mediano y chico. Se observa en la Figura 4.9 una tendencia a disminuir el rendimiento a medida que aumenta la dosis de hidrogel y a medida que se espacian los riegos, con una pequeña diferencia en el riego cada tres días, existiendo mayor rendimiento de tomate chico seguido en mediano y grande respectivamente. En tomate grande se observa en el riego cada tres días un aumento a medida que aumenta la dosis de hidrogel, esto puede ser debido a que la planta presentó menor caída de flores al inicio del desarrollo y que tuvo esta influencia.

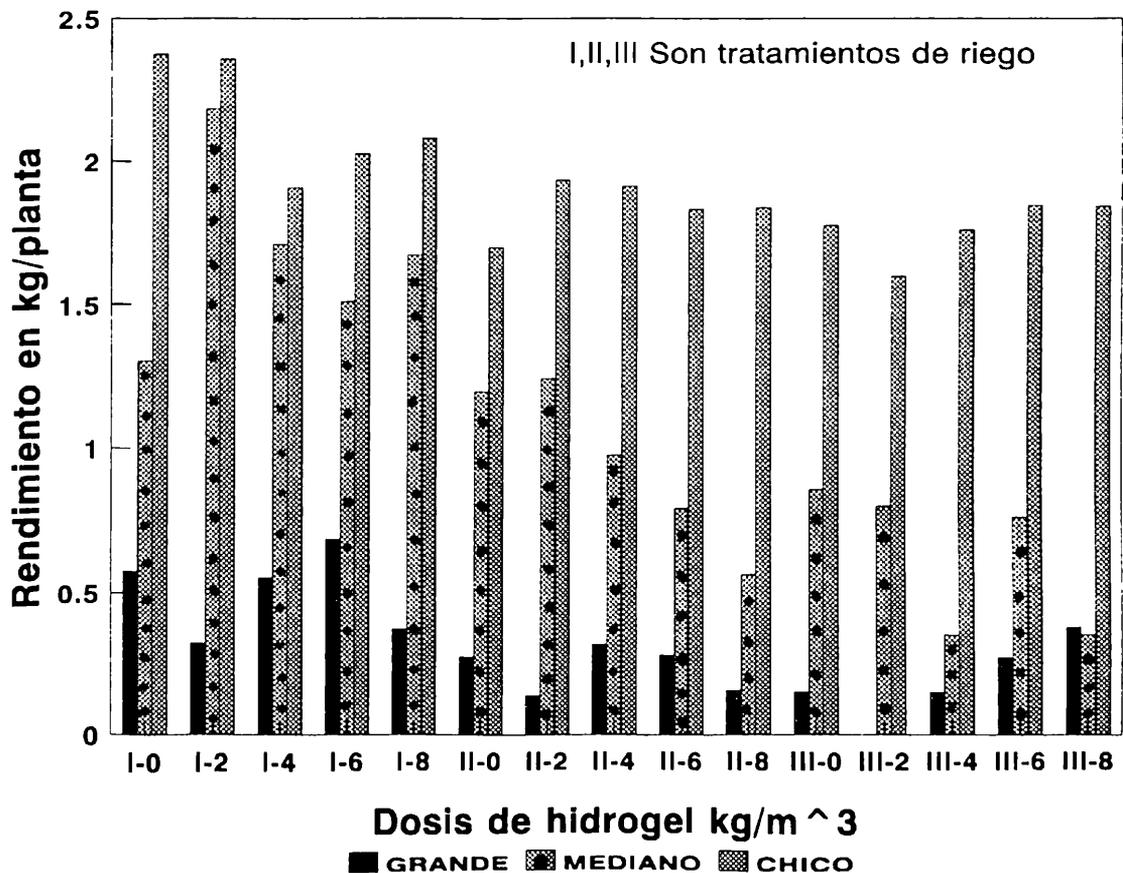


Figura 4.9. Rendimiento de tomate por calidad en tres intervalos de riego y cinco dosis de hidrogel-sustrato.

Número de frutos totales.

En la Figura 4.10 esta variable de rendimiento presenta una tendencia a disminuir a medida que se espacian los riegos, no siendo muy marcada esta disminución a través de las dosis de hidrogel. Lo anterior muestra que las dosis de hidrogel no son significativas en el número de frutos como lo son los intervalos de riego, por otra parte a cantidades mayores de agua no es significativo el número de los frutos si no su rendimiento o su peso.

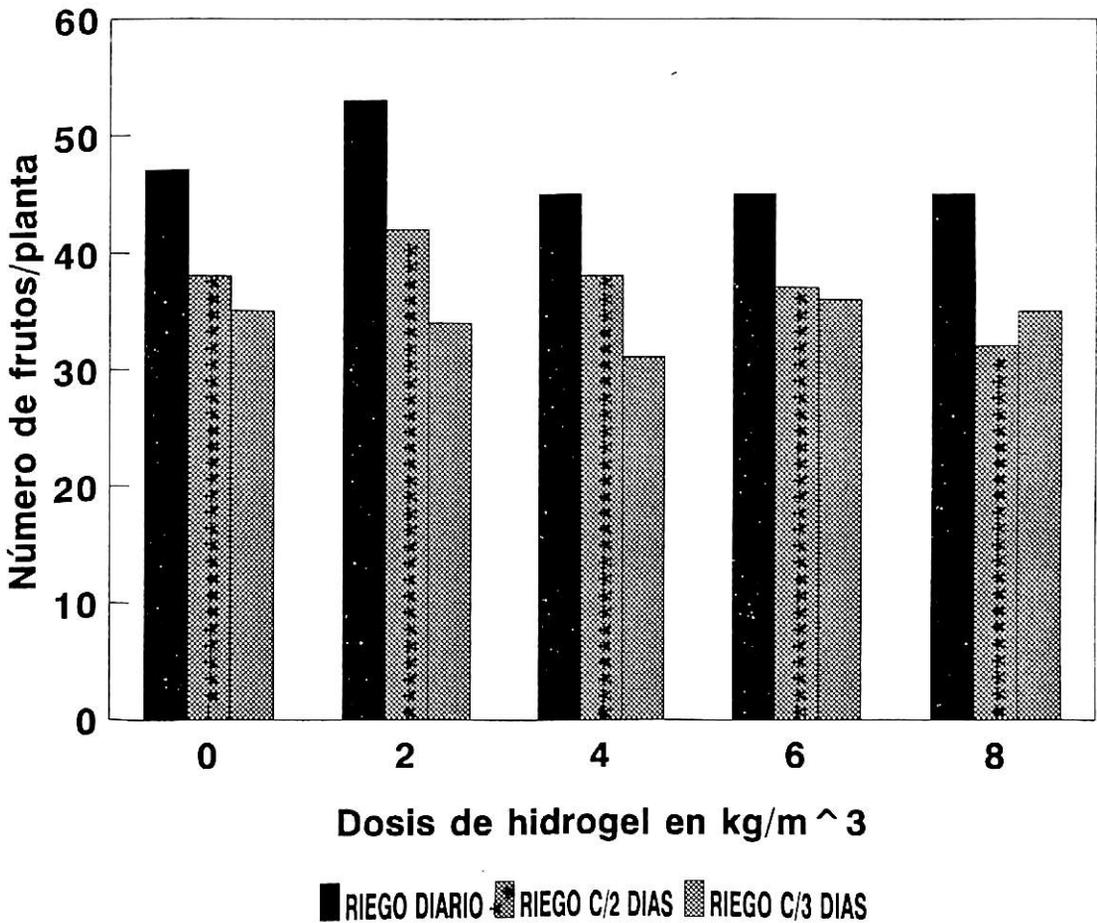


Figura 4.10. Número de frutos de tomate en tres intervalos de riego y cinco dosis de hidrogel-sustrato.

Número de racimos por planta.

Respecto al número de racimos de la planta se presenta significancia a los intervalos de riego y en la interacción de riegos y dosis de hidrogel, lo cual indica una relación del número de frutos en la planta por el número de frutos por racimo. En la Figura 4.11 se presenta el número de racimos por planta en los tratamientos evaluados.

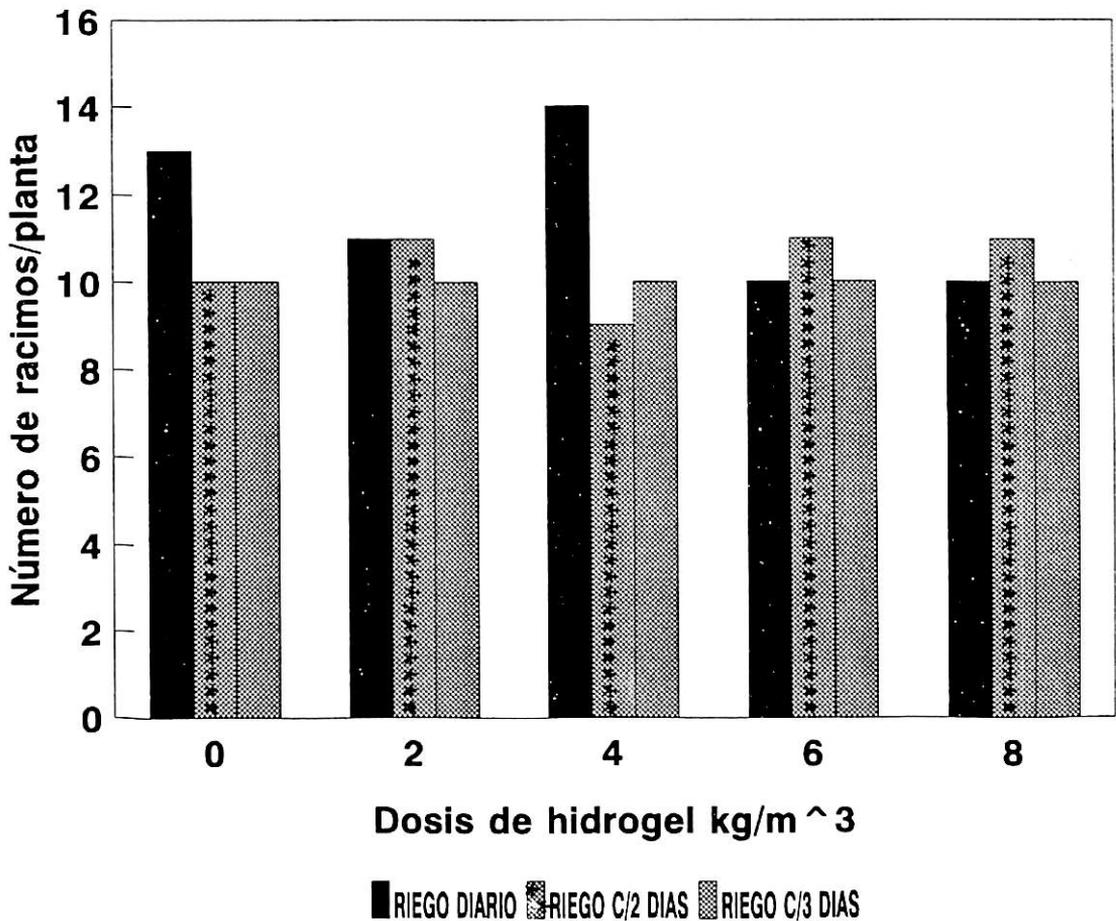


Figura 4.11. Número de racimos de tomate en cinco dosis de hidrogel sustrato y tres intervalos de riego.

Producción de materia seca.

En relación a materia seca, estadísticamente no existe diferencia significativa tanto en los intervalos de riego como en las dosis de hidrogel. Relacionando la cantidad de agua con la producción de materia seca, en la Figura 4.12 se observa un incremento en

producción de materia seca a medida que se consume agua, no siendo tan significativo este incremento en los intervalos de riego y a través de las dosis de hidrogel. Se observa que la máxima producción de materia seca se encuentra entre las dosis de hidrogel de 4 y 6 kg/m³.

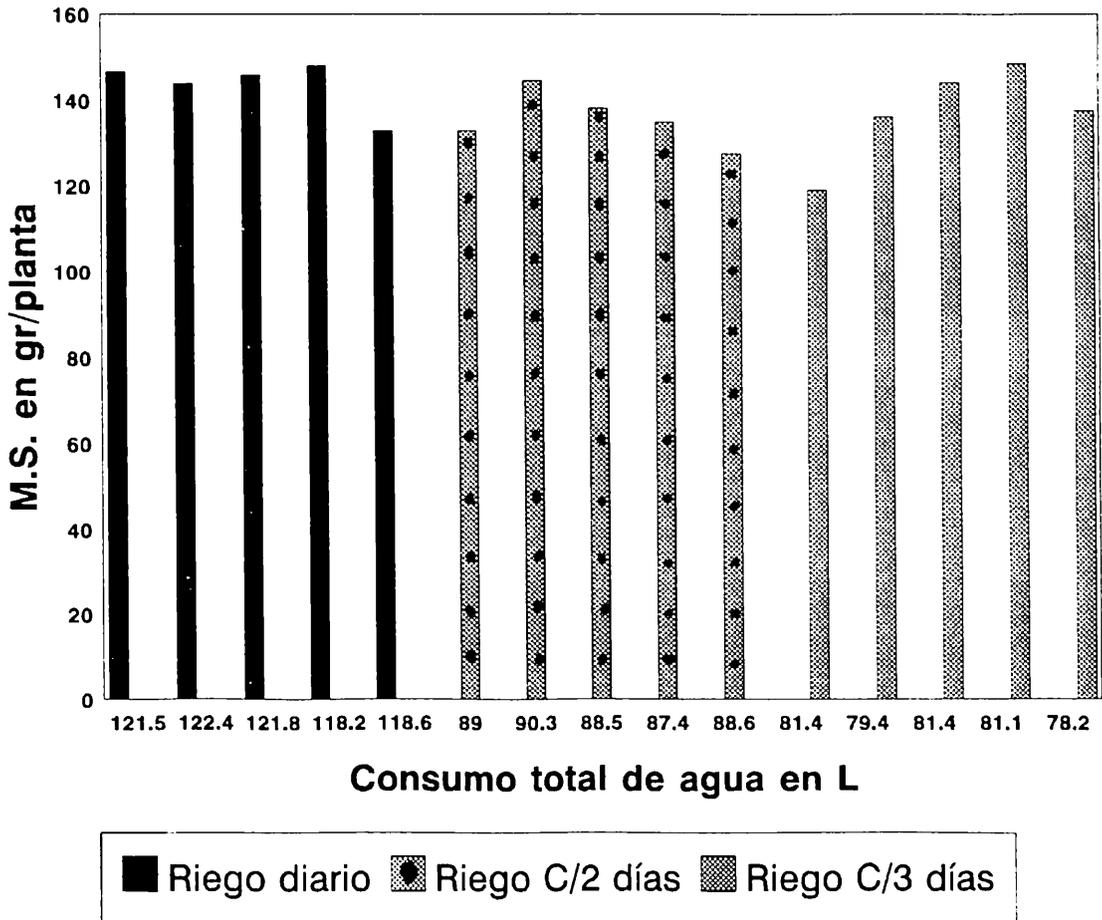


Figura 4.12. Relación de materia seca con el consumo de agua en la evaluación de tres intervalos de riego y cinco dosis de hidrogel - sustrato.

Altura de planta.

En relación con la producción de materia seca se encuentra la altura de la planta. En las Figuras 4.13, 4.14 y 4.15 se observa que no existe gran diferencia entre tratamientos de hidrogel, solo un pequeño incremento en altura se presenta a medida que aumenta la dosis de hidrogel. La mayor diferencia en altura de planta es observada en los

intervalos de riego, donde la mayor altura es presentada en la aplicación de riego diario seguido del intervalo cada dos y tres días respectivamente.

La altura de la planta se puede relacionar con el consumo de agua y la producción de materia seca, se observa que se presenta mayor altura y mayor producción de materia seca en el riego diario con mayor consumo de agua en comparación a los intervalos de riego de 2 y cada tres días.

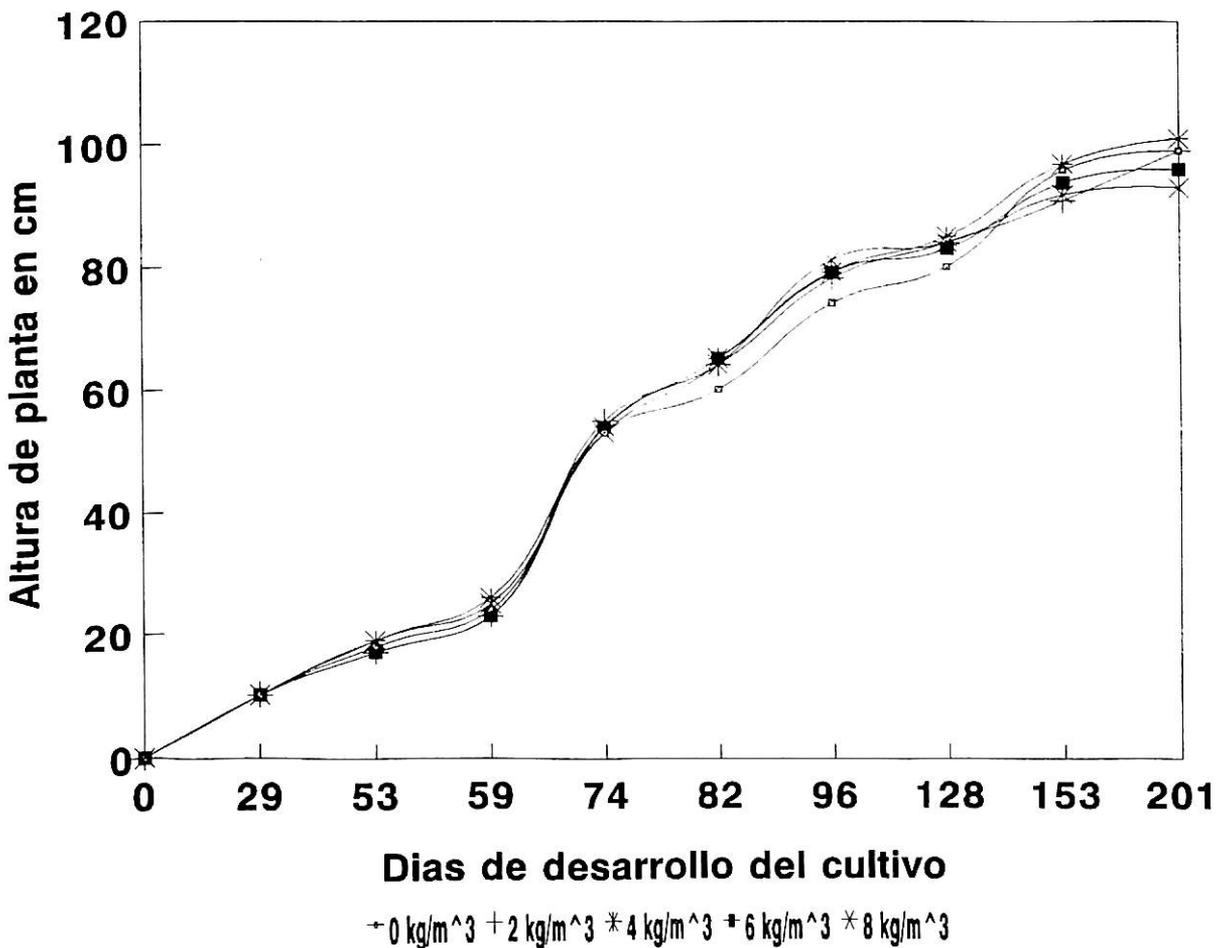


Figura 4.13. Altura de planta en el tratamiento de riego cada día y cinco dosis de hidrogel-sustrato.

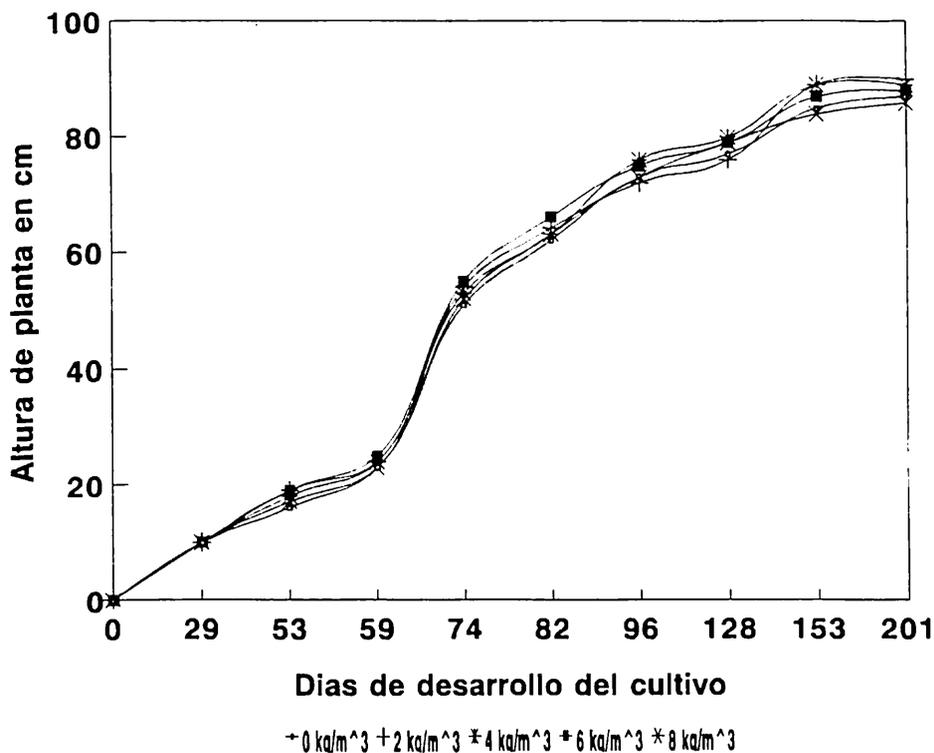


Figura 4.14. Altura de planta en el tratamiento de riego cada dos días y cinco dosis de hidrogel-sustrato.

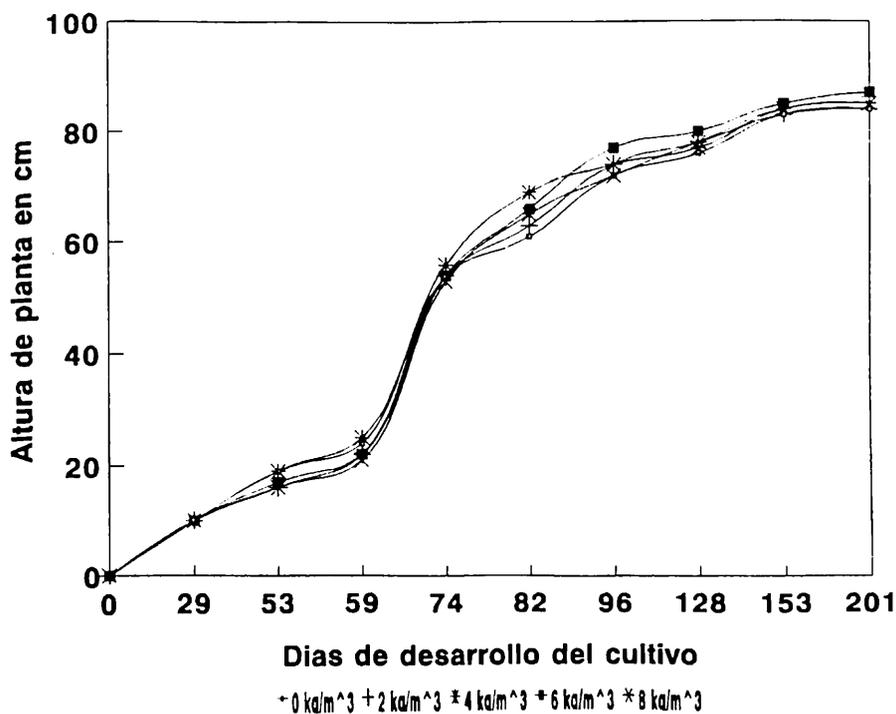


Figura 4.15. Altura de planta en el tratamiento de riego cada tres días y cinco dosis de hidrogel-sustrato.

Eficiencia en el uso del agua.

En este caso se analizó la eficiencia en el uso del agua para producción de tomate en fresco, en la Figura 4.16 se presentan los kg de tomate producidos por litro de agua a través de los tratamientos evaluados, se observa que respecto a la dosis de hidrogel de 2 kg/m³ presenta la máxima eficiencia en el uso del agua, y respecto a los intervalos de riego, se observa que en el riego diario se presenta la mayor eficiencia seguido del riego cada dos y tres días. Este comportamiento es similar a la producción de tomate presentado en la Figura 4.8.

Respecto a la eficiencia en el uso de agua en la producción de materia seca considerando únicamente el follaje, en la Figura 4.17 se observa que al uso del hidrogel se presenta la máxima eficiencia en la dosis de 6 kg/m³ de sustrato, y respecto a los tratamientos de riego se observa que mediante el riego aplicado cada tres días se obtiene la máxima eficiencia, seguido el tratamiento de riego aplicado cada dos días y por último el tratamiento de riego aplicado diariamente. Estos resultados nos indican que es posible que la aplicación del agua de riego cada tres días solo incrementa la producción de materia seca foliar, no siendo así para el tratamiento de riego aplicado cada día el cual presenta la menor eficiencia en producción de materia seca pero presenta la máxima eficiencia en producción de fruto lo cual es lo que nos beneficia. La causa que se podría atribuir a que el tratamiento de riego aplicado cada tres días sólo incrementa la materia seca, es porque la planta al estar en estrés hídrico el agua aplicada sólo la aprovecha en crecimiento sin llegar a traslocarla a las partes del fruto, además el estrés hídrico pudo haber provocado que la planta abortara las flores en estados tempranos de floración, las

cuales se consideran las más importantes para la producción de frutos de buena calidad.

En el Cuadro 4.2 se presentan los consumos de agua en producción de tomate y materia seca foliar, así como los consumos diarios de agua en litros.

En base a la hipótesis 2, la cual mensiona que a mayor retención de humedad del suelo el período de riego se podrá incrementar hasta tres días sin que el cultivo sea afectado por estrés hídrico, no se cumple para el rendimiento de tomate ya que los máximos rendimientos fueron obtenidos con la dosis de 2 kg/m^3 de hidrogel y mediante el tratamiento de riego aplicado diariamente. Los resultados de producción de materia seca fueron diferentes ya que se obtuvo la máxima producción mediante las dosis de hidrogel de 4 y 6 kg/m^3 , obteniéndose la máxima eficiencia con la aplicación del riego cada tres días.

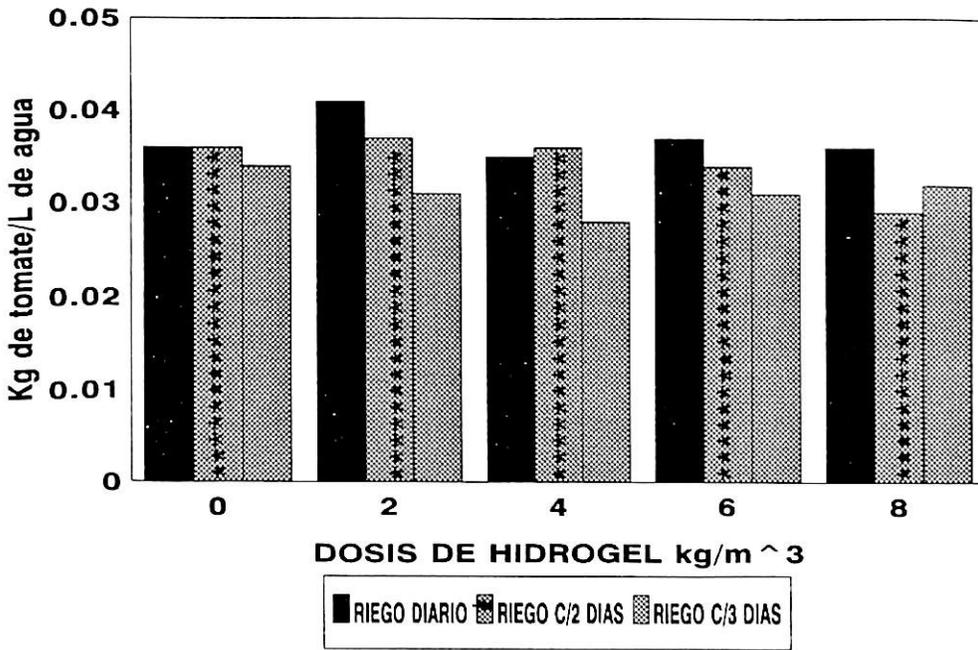


Figura 4.16. Kilogramos de tomate producidos por litro de agua en los tratamientos evaluados.

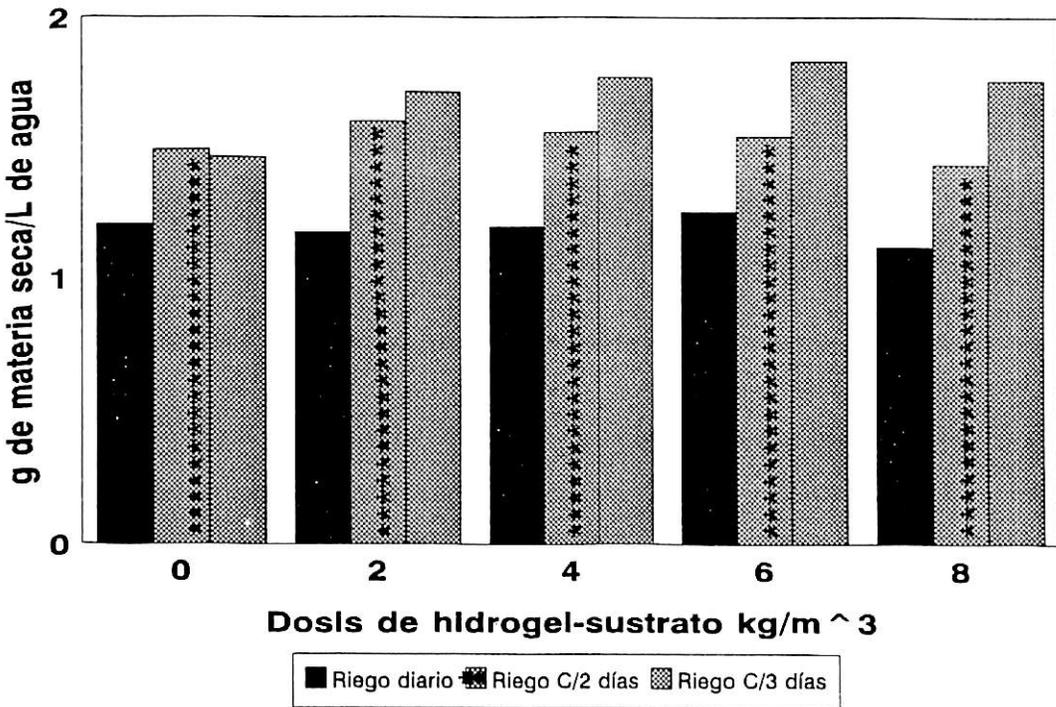


Figura 4.17. Gramos de materia seca foliar por litro de agua en los tratamientos evaluados.

Cuadro 4.2. Consumo de agua en el rendimiento del cultivo de tomate.

Dosis de hidrogel Kg/m³	Riego diario	Riego c/2días	Riego c/3 días
---	---------------------	----------------------	-----------------------

Consumo total de agua en L

Testigo	121.5	89.1	81.4
2	122.4	90.3	79.4
4	121.8	88.5	81.4
6	118.2	87.4	81.1
8	118.6	88.6	78.2

Consumo diario por planta en L.

Testigo	1.27	0.94	0.85
2	1.28	0.94	0.83
4	1.27	0.92	0.85
6	1.23	0.91	0.85
8	1.24	0.92	0.81

Kg de tomate por litro de agua consumida.

Testigo	0.04	0.04	0.03
2	0.04	0.04	0.03
4	0.04	0.04	0.03
6	0.04	0.03	0.03
8	0.04	0.03	0.03

Gramos de materia seca foliar por litro de agua consumida.

Testigo	1.21	1.49	1.47
2	1.18	1.61	1.72
4	1.21	1.56	1.77
6	1.26	1.55	1.83
8	1.12	1.44	1.76

Temperatura de la planta de tomate.

En las Figuras 4.18 y 4.19 se presenta el período de registro de temperaturas de la planta de tomate. Se observa que las máximas temperaturas se registraron en el tratamiento de riego aplicado cada tres días, lo cual nos indica que la planta estuvo bajo estrés hídrico.

Las plantas con aplicación de riego diario, como una referencia de la máxima transpiración, mostraron menor temperatura. Este fenómeno lo reporta Kramer, (1974) cuando la planta disminuye la transpiración, la temperatura de las hojas aumenta como un mecanismo existiendo un flujo de calor hacia hojas frescas lo que provoca un aumento en transpiración. Los registros de temperatura en que las hojas mostraron altas temperaturas con poca variación entre tratamientos de riego, es probable que se deba a la influencia de altas temperaturas ambientales que ocurrieron en estos períodos de tiempo. Asimismo también se presentan cambios drásticos de temperatura entre tratamientos, lo que puede ser debido a la ocurrencia de riego que bajó la temperatura o bien a los cambios del clima que prevalecieron en estas fechas.

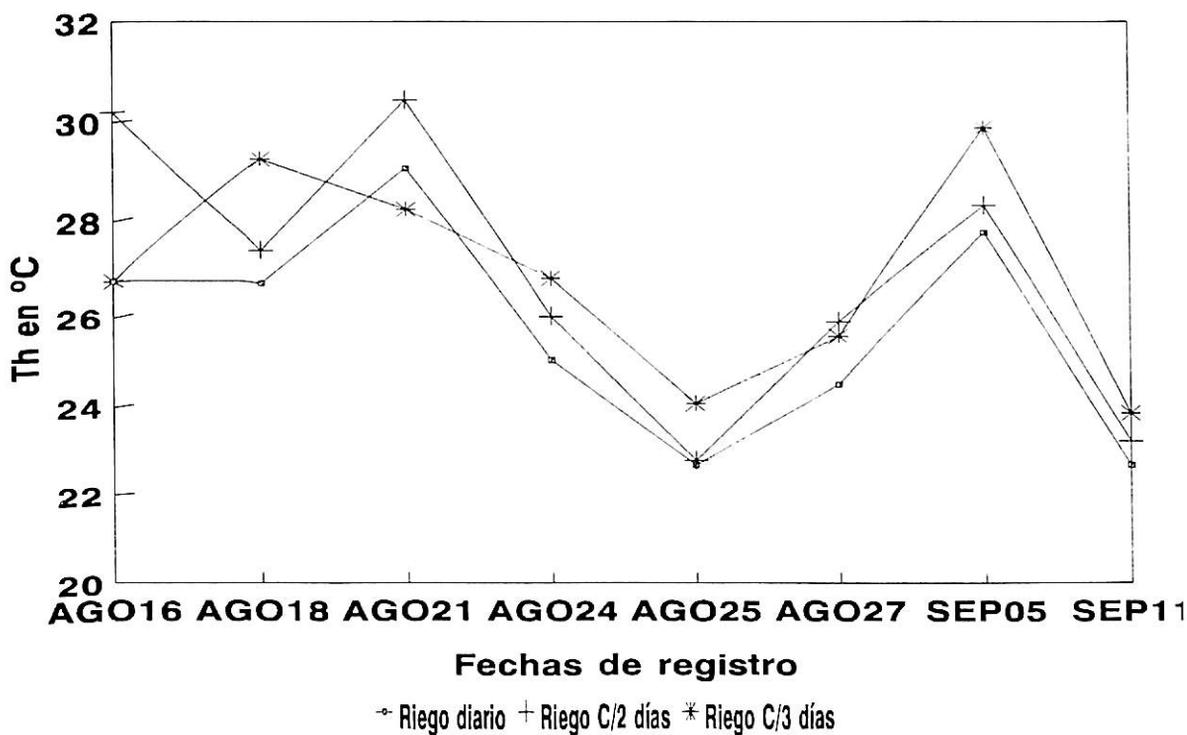


Figura 4.18. Temperatura en °C del follaje de la planta de tomate en tres intervalos de riego.

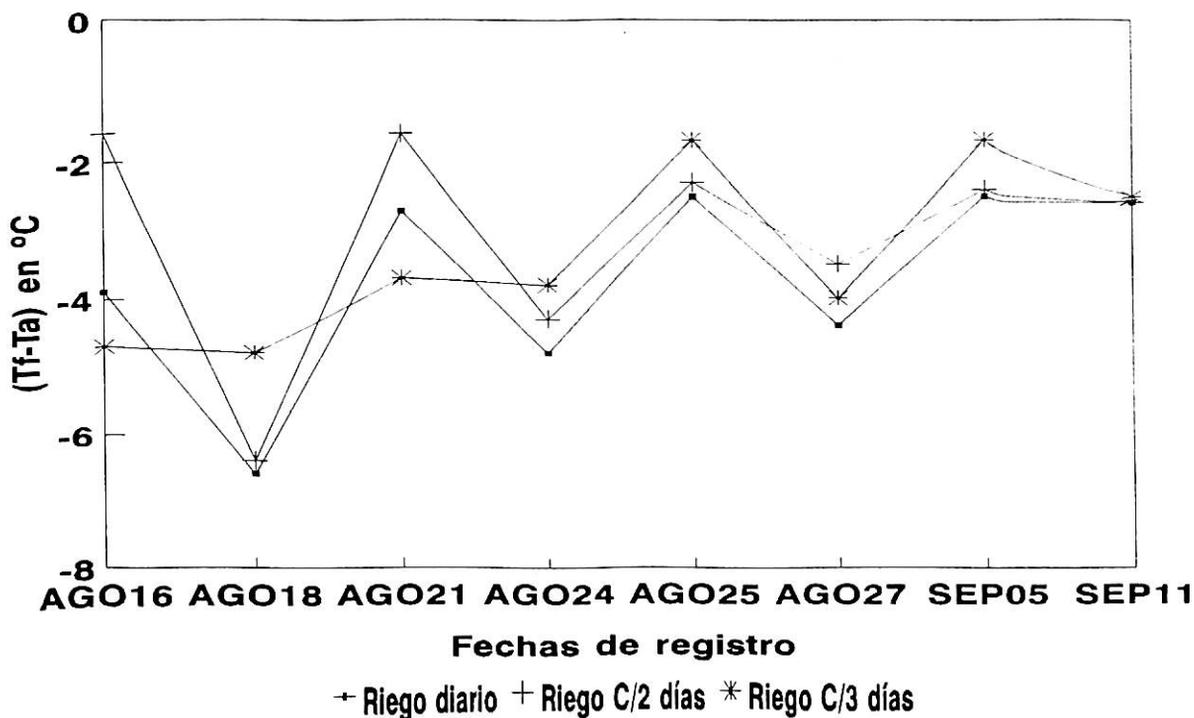


Figura 4.19. Diferencias de temperatura en °C del follaje de la planta de tomate en tres intervalos de riego.

CONCLUSIONES.

1.- El hidrogel incrementó el contenido de humedad disponible total a las tensiones de 0.3, y 15.0 bars en las diferentes dosis de hidrogel, existiendo un incremento de 14.41 por ciento del testigo a la dosis mayor de hidrogel.

2.- En general existió un alto porcentaje de humedad fácilmente accesible (0.3-1.0 bar) al incorporar hidrogel al sustrato, esta humedad se incrementa a medida que aumenta la dosis de hidrogel.

3.- La incorporación de hidrogel al sustrato empleado mejoró la porosidad, en un 0.47 por ciento por kilogramo. Presentando mayor porcentaje de porosidad en las dosis mayores del hidrogel, el incremento de la dosis mayor de hidrogel respecto al testigo fue de 7.86 por ciento.

4.- El hidrogel aumenta la expansión del sustrato, presentando un incremento en expansión de 16.71 por ciento del testigo a la dosis máxima de hidrogel.

5.- El uso de hidrogel disminuyó 2.39 por ciento de aireación a capacidad de recipiente, a medida que aumentó la dosis de hidrogel.

6.- Los mayores beneficios de las propiedades físicas se presentan con las dosis mayores de hidrogel.

7.- El análisis de varianza para el rendimiento total de tomate no mostró diferencia significativa con la incorporación de hidrogel, mientras que para los intervalos de riego si hubo significancia. El mayor rendimiento se obtuvo entre las dosis

de 2 y 4 kg/m³ de hidrogel-sustrato en los tres intervalos de riego, variando de 2.2 a 5.0 kg/planta. Mientras que para el tratamiento de riego diario el rendimiento fue de 4.2 a 5.0 kg/planta y para el tratamiento de riego aplicado cada tres días el rendimiento fue de 2.2 a 2.8 kg/planta.

8.- Se presentó mayor altura de planta mediante la aplicación del riego diario, y solo un pequeño incremento resulto al efecto de las dosis de hidrogel

LITERATURA CITADA

- American Greenhouse Vegetable Growers News. 1989. Tomatoes in bags of jelly. Amer. Greenhouse Veg. Growers News. May (5): 5-6.
- Baxter, L. and L. Waters, Jr. 1986. Effect of a hydrophilic polymer seed coating on the field performance of sweet corn and cowpea. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111:31-34
- Bearce, B. C. and R. W. McCollum. 1977. A comparison of peat lite and non composted hardwood bark mixes for use in pot and bedding plant production and the effects of a new hidrogel soil amendment on their performance. Flor. Rew. 10: 21-24.
- Bugbee, G. J. and C. R. Frink. 1986. Aeration of potting media and plant growth. Soil Science. 141(6): 438-441.
- Cook, F. C. and S. D. Nelson. 1986. Effect of polyacrylamide on seedling emergence in crust-forming soils. Soil Science. 141(5):328--333
- Evans, R. T; I. Sisto and D. C. Bowman. 1990. The effectiveness of hydrogels in container plant production is reduced by fertilizer salts. Foliage Dig. 3: 3-5.
- El-Sayed, H; R. C. Kirkwood and N. B. Graham. 1991. The effects of a hydrogel polymer on the growth of certain horticultural crops under saline conditions. Journal of experimental Botany. 42(240):891-899.
- Foster, W. J. and G. J. Keever. (1990). Water absorption of hydrophylic polymers (hydrogels) reduced by medra amendments. J. Environ. Hort. 8(3): 113-114.
- Gavande, A. S. 1979. Física de Suelos. Principios y Aplicaciones. Editorial Limusa, México, D.F. pág. 33-53; 107-127; 157-178.
- Gehring, J. M. and A. J. Lewis III. 1990. Effect of hydrogel on wilting and moisture stress of bedding plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105(4): 511-513.
- Henderson, J. C. and D. L. Hensley. 1986. Efficacy of a hidrophilic gel as a transplant aid. Hort. Sci. 21(4): 991-992.

- Henderson, J. C. and D. L. Hensley. 1987. Effect of a hydrophilic gel on seed germination of three tree species. *Hort. Sci.* 22(3):450-452.
- Johnson, M. S. and C. J. Veltkamp. 1985. Structure and functioning of water-storing agricultural polyacrylamides. *J. Sci. Food Agr.* 36: 789-793.
- Johnson, M. S. 1985. Degradation of water-absorbing polymers used as soil ameliorants. *Arab. Gulf. J. Sci. Res.* 3(2): 745-750.
- Kramer, P. J. 1974. *Relaciones Hídricas de Suelos y Plantas. Una síntesis moderna*, Edutex. S. A. México. pag. 393-442
- Letey, J; P. R. Clark, and C. Amrhein. 1992. Water-Sorbing polymers do not conserve water. *Calif. Agr.* 46(3): 9-10.
- Luthin, J. N. 1979. *Drenaje de Tierras Agrícolas. Segunda Edición*. Editorial limusa, S.A. México. pag. 28-57.
- Mitchell, A. R. 1986. Polyacrylamide application in irrigation water to increase infiltration. 141(5): 353-358.
- Narro F, E. A. 1987. *Física de suelos con enfoque agrícola*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pag.33-57.
- Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration. Moisture profiles and relation to experiment. *Soil Science.* 84(2):163-178.
- Pryor, A. 1988. Pretty poly. *California Farmer*. Oct. (10): 12.
- Regulski, F. J. Jr. 1984. Rewetting characteristics of container media composed of gasifier residue in combination with pine bark or peat moss. *HortScience.* 19(6): 813-815.
- Rendón et. al. 1983. *Sistematización de toma de datos en campo*. INIFAP Zona Centro. Programa de Hortalizas. pág. 11-12.
- Terry, R. E. and S. D. Nelson. 1986. Effects of polyacrylamide and irrigation method on soil physical properties. *Soil Science.* 141(5): 317-320
- Tess, R. W. and G. W. Poehlein. 1985. *Applied polymer science*. ACS. Symp. Ser. 285. Amer. Chem. Soc; Washington, D.C.
- Wallace, G.P. and C.J. Colette. 1984. Effects of hydrogel incorporation in peat lite on tomato. Growth and water relations. *Soil Sci. Plant. ANAL.* 15(7): 799-810.

- Wallace, A;G. A. Wallace and J.W.Cha.1986. Mechanisms involved in soil conditioning by polymers. *Soil Science*. 141(5):381-385.
- Wallace, A. and G. A. Wallace. 1986 a. Effect of polymeric soil conditioners on emergence of tomato seedlings. *Soil Science*. 141(5):321-323.
- Wallace, A.G. and A.Wallace.1986 b. Control of soil erosion by polymeric soil conditioners. *Soil Science*. 141(5): 363-367.
- Wang, Y. T. 1989. Medium and hydrogel affect production and wilting of tropical ornamental plants. *Hort Science*. 24(6):941-944.

A P E N D I C E

Cuadro A.1. Análisis de varianza para evaluar la porosidad a capacidad de recipiente, mediante un diseño completamente al azar.

FV	GL	SC	CM	F	F(0.05-0.01)
TRATAMIENTO	4	108.08	27.02	10.61	3.48 - 5.99
ERROR	10	25.457	2.55		
TOTAL	14	133.54			

C.V.= 2.4264 %

Cuadro A.2. Análisis de varianza para evaluar la aireación a capacidad de recipiente, mediante un diseño completamente al azar.

FV	GL	SC	CM	F	F(0.05-0.01)
TRATAMIENTO	4	19.19	4.8	8.15	3.48 - 5.99
ERROR	10	5.88	0.59		
TOTAL	14	25.07			

C.V.= 11.6089 %

Cuadro A.3. Análisis de varianza para evaluar la capacidad de expansión a capacidad de recipiente, mediante un diseño completamente al azar.

FV	GL	SC	CM	F	F(0.05-0.01)
TRATAMIENTO	4	420.05	105.04	11.68	3.48 - 5.99
ERROR	10	89.93	8.99		
TOTAL	14	510.08			

C.V.= 20.9038 %

Cuadro A.4. Análisis de varianza para evaluar el consumo de agua mediante un diseño en bloques al azar, con arreglo en parcelas divididas.

FV	GL	SC	CM	F	F(0.05-0.01)
REPETICIONES	2	61.31	30.66		
FACTOR A	2	13,489.13	6,744.56	1,431.7	6.94-18 **
ERROR A	4	18.84	4.71		
FACTOR B	4	40.06	10.02	0.86	2.78-4.22
A x B	8	37.66	4.71	0.4	2.36-3.36
ERROR B	24	280.75	11.7		
TOTAL	44	13,927.75			

C.V.= 3.543 %

Cuadro A.5. Análisis de varianza para evaluar el rendimiento total de tomate en gramos por planta, mediante un diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas.

FV	GL	SC	CM	F	F(0.05-0.01)
REPETICIONES	2	4,633,792	2,316,896		
FACTOR A	2	29,406,912	14,703,456	24.43	6.94-18 **
ERROR A	4	2,407,360	601,840		
FACTOR B	4	1,378,784	344,696	1.94	2.78-4.22
A x B	8	1,358,560	169,820	0.95	2.36-3.36
ERROR B	24	4,271,264	177,969		
TOTAL	44	43,456,672			

C.V= 12.675 %

Cuadro A.6. Análisis de varianza para evaluar el número de frutos totales por planta, mediante un diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas.

FV	GL	SC	CM	F	F(0.05-0.01)
REPETICIONES	2	48.53	24.27		
FACTOR A	2	231.6	115.8	2	6.94-18 **
ERROR A	4	231.87	57.97		
FACTOR B	4	75.88	18.97	0.7	2.78 - 4.22
A x B	8	272.39	34.05	1.26	2.36 - 3.36
ERROR B	24	650.94	27.12		
TOTAL	44	1,511.2			

C.V= 12.675 %

Cuadro A.7. Análisis de varianza para evaluar el número de racimos por planta, mediante un diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas.

FV	GL	SC	CM	F	F(0.05-0.01)
REPETICIONES	2	4.04	2.02		
FACTOR A	2	22.04	11.02	3.49	6.94-18 **
ERROR A	4	12.62	3.16		
FACTOR B	4	4.8	1.2	0.4	2.78 - 4.22
A x B	8	42.4	5.3	1.77	2.36 - 3.36
ERROR B	24	72.1	3.1		
TOTAL	44	157.91			

C.V.= 15.810 %

Cuadro A.8. Análisis de varianza para evaluar la materia seca foliar en gramos por planta, mediante un diseño en bloques al azar, con arreglo en parcelas divididas.

FV	GL	SC	CM	F	F(0.05-0.01)
REPETICIONES	2	1,904.94	952.47		
FACTOR A	2	521.75	260.88	1.31	6.94 - 18
ERROR A	4	796.5	199.13		
FACTOR B	4	1,096.75	274.19	2.24	2.78 - 4.22
A x B	8	1,339.94	167.49	1.37	2.36 - 3.36
ERROR B	24	2,933.31	122.22		
TOTAL	44	8,593.19			

C.V.= 7.961 %

Cuadro A.9. Pruebas de Tukey en la evaluación de las propiedades físicas de las mezclas hidrogel - sustrato, al 0.05 nivel de significancia.

DOSIS	KG/M ³	POROSIDAD	AIREACION	CAP. DE EXP.
0		69.9200 A	8.5433 A	21.2600 A
2		67.0833 AB	6.6833 AB	18.1533 AB
4		65.7300 ABC	6.6067 AB	15.3500 AB
6		64.0267 BC	6.1533 B	10.4833 BC
8		62.0233 C	5.0467 B	6.4833 C