

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERIA

**“USO DE UN POLIMERO HIDROFILO EN EL CULTIVO DE
CHILE SERRANO (*Capsicum annuum* L.) EN CONDICIONES DE
INVERNADERO”**

TESIS

OSCAR DAMIAN GARRIDO LOPEZ

NOVIEMBRE DE 2013

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

**USO DE UN POLIMERO HIDROFILO EN EL CULTIVO DEL CHILE
SERRANO (*Capsicum annuum* L.) EN CONDICIONES DE INVERNADERO**

TESIS

Sometida a consideración del
Departamento de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

Por

Osear Damián Garrido López

Como requisito parcial para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo

Noviembre de 2013

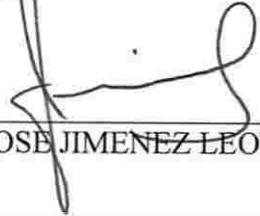
Esta tesis fue realizada bajo el consejo particular aprobada y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

INGENIERO AGRONOMO

CONSEJO PARTICULAR:

DIRECTOR: 
DR. JESUS LOPEZ ELIAS

ASESOR: 
DR. MARCO ANTONIO HUEZ LOPEZ

ASESOR: 
DR. JOSE JIMENEZ LEON

SUPLENTE: _____
DR. EDGAR OMAR RUEDA PUENTE

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y la oportunidad de vivir, estudiar y salir adelante para ser alguien en la vida.

A mi madre, que fue padre, madre y amiga. Y que siempre estuvo para apoyarme en toda la vida.

Agradezco al Dr. Jesús López Elías por haber confiado en mí para realizar esta tesis y por brindarme su tiempo y apoyo.

Agradezco a todos los profesores del Departamento de Agricultura y Ganadería por brindarme su apoyo y enseñarme todo lo que ellos saben.

Al M.C. Arturo Raya Saavedra, que siempre estuvo para ayudarme y ser un gran amigo y maestro.

A mis compañeros de generación y a todos los que conocí y me conocieron gracias.

A mis compañeros de cuarto que siempre estuvieron en las buenas y malas.

A todos ellos, le agradezco todo, que Dios los bendiga.

DEDICATORIA

En especial a mi madre Guillermina López Mendoza, que fue padre, madre y amiga, por su apoyo incondicional y por haber luchado tanto en la vida para verme crecer y ser alguien, muchas gracias madre.

A mis hermanos Hugo Cesar Garrido López y Jaime Garrido López, por haber estado a mi lado siempre y otorgarme todo su apoyo, su amor y su amistad.

A mi hija Yanira Garrido, que aunque no está a mi lado siempre tuve su apoyo, además de ser una gran inspiración y un gran impulso en mi vida para terminar mi carrera.

A mi cuñada Érica Torres López, por estar a mi lado siempre y apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis sobrinos: Raymundo Garrido Vargas, Karla Guadalupe Garrido Vargas y Miguel Ángel Garrido López, por hacer mi vida feliz.

A Horacio Hernández Rivera por haber estado conmigo en las buenas y en las malas, además de apoyarme sin pedir nada a cambio.

CONTENIDO

	Pág
INDICE DE CUADROS	<i>vii</i>
RESUMEN	<i>viii</i>
INTRODUCCION	1
LITERATURA REVISADA	4
El cultivo de chile serrano (<i>Capsicum annuum</i> L.)	4
Preparación del terreno	4
Factores climáticos	5
Variedades	6
Trasplante	6
Control de malezas	6
Riego	7
Fertilización	7
Plagas	8
Enfermedades	9
Cosecha	10
Los invernaderos	10
Condiciones ambientales	13
Efectos de la radiación solar	15
Efectos de la temperatura	15
Efectos de la concentración de CO ₂	17
Los polímeros	18
Generalidades del polímero	18
Los polímeros en la agricultura	19
Los polímeros en el cultivo del chile	21
MATERIALES Y METODOS	25
Sitio experimental	25
Invernadero	25
Material vegetativo	25
Manejo agronómico	25
Tratamientos	26
Variables evaluadas	27
Diseño experimental	27
Análisis estadístico	27

RESULTADOS Y DISCUSION	28
CONCLUSIONES	32
LITERATURA CITADA	33

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Temperaturas óptimas para el cultivo del chile.	5
Cuadro 2. Productos usados en el control de enfermedades del chile.	9
Cuadro 3. Situación de las inversiones de invernadero para hortalizas en México.	14
Cuadro 4. Número de frutos por planta, peso del fruto (g) y rendimiento (kg m^{-2}) en chile Serrano (<i>Capsicum annuum</i> L.) 'Cien Fuegos' usando poliacrilamida de potasio a dos valores de evapotranspiración (ETo).	29
Cuadro 5. Longitud (cm) y diámetro de fruto (mm) en chile Serrano (<i>Capsicum annuum</i> L.) 'Cien Fuegos' usando poliacrilamida de potasio a dos valores de evapotranspiración (ETo).	30
Cuadro 6. Volumen de agua aplicada (m^{-3}), eficiencia del uso del agua (kg m^{-3}) y contenido de clorofila en chile Serrano (<i>Capsicum annuum</i> L.) 'Cien Fuegos' usando poliacrilamida de potasio a dos valores de evapotranspiración (ETo).	31

RESUMEN

Con el propósito de evaluar un polímero hidrófilo en la producción de chile Serrano 'Cien Fuegos', durante el ciclo primavera-verano 2013 se evaluó el uso de un polímero a base de poliacrilamida en condiciones de invernadero bajo riego por goteo. Los tratamientos fueron: a). enmienda del suelo: gel aplicado en dos dosis, 0 kg ha⁻¹ y 50 kg ha⁻¹; b). Condición de humedad: dos volúmenes de riego, 80% y 100% de la evapotranspiración. El diseño experimental fue completamente aleatorio con tratamientos en arreglo factorial. La unidad experimental fue de 4 m de largo y 1.5 m de ancho (6 m²) con 20 plantas. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, precocidad, frutos por planta, peso de fruto, rendimiento, tamaño del fruto (longitud y diámetro), eficiencia del uso de agua (EUA) y contenido de clorofila en la hoja. La incorporación del polímero, al igual que el volumen de agua aplicada al cultivo, no influyó en el número de frutos por planta, rendimiento, longitud del fruto, EUA y contenido de clorofila. La incorporación del polímero no influyó sobre el peso y diámetro de fruto, viéndose favorecidos al aplicar un mayor volumen de agua. El uso del polímero incrementó el contenido de agua en el suelo, permitiendo la reducción del volumen de agua aplicada, asociado a un incremento en el número de frutos por planta y la reducción en el contenido de clorofila, sin afectar la producción del cultivo y la calidad del fruto, permitiendo el ahorro de agua y riegos menos frecuentes.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, hidrogel, invernadero, retención hídrica.

INTRODUCCION

El estado de Sonora es una de las principales zonas productoras de hortalizas de México. Cuenta con una superficie de riego tecnificada de las más importantes en el país; sin embargo, presenta altos costos por concepto de uso de energía en la extracción de agua, así como una limitada dotación de volumen de agua, misma que se ha visto reducida con el paso de los años debido a la escasez de dicho recurso. El sector agrícola ha realizado esfuerzos para mejorar el aprovechamiento del agua; sin embargo, estudios del acuífero estiman muy por debajo la recarga con respecto a la demanda de agua para riego. En este orden de ideas, diferentes agrupaciones y dependencias de gobierno coinciden que la reconversión de cultivos y la tecnificación del riego son dos aspectos claves para un uso eficiente del agua. En resumen, la baja disponibilidad de agua, el incremento en los costos de bombeo, así como en la demanda de agua por diversos sectores de la sociedad, propician la demanda de tecnología para hacer más eficiente el uso del recurso agua y asegurar la rentabilidad de la agricultura, sin perder de vista la sustentabilidad y la preservación del acuífero, sin deterioro del ambiente.

En cuanto a los cultivos, el chile (*Capsicum annuum* L.) es una hortaliza de importancia económica en México y representa una alternativa para la agricultura protegida, la cual actualmente se localiza en zonas desérticas del norte y en el centro del país donde la escasez de agua limita la producción agrícola bajo riego. El costo de producción de este cultivo fluctúa de \$10,000.00 a \$40,000.00 dólares ha⁻¹, en campo abierto e invernadero respectivamente, siendo tres los factores en donde radica la verdadera importancia del cultivo: a). Participación elevada en el valor de la producción agrícola regional y nacional, b). Opción que genera altos ingresos a los productores y, c). Es fuente generadora de empleos en las áreas de riego, ya que genera entre 150 y 160 empleos en el ciclo de

producción. A pesar de la importancia del cultivo del chile, su rendimiento es bajo en muchas regiones del país, debido probablemente a un manejo agronómico inadecuado (fertilización, variedades y densidades) o a condiciones ambientales adversas (temperatura, precipitación, suelo no apto para el cultivo) y problemas fitosanitarios, por lo que existe la tendencia hacia la búsqueda de nuevas alternativas de producción. En el 2009, los rendimientos en México fueron de 14.11 t ha⁻¹, mientras que Holanda reportó rendimientos de 262.5 t ha⁻¹, España de 42.36 t ha⁻¹ y Estados Unidos de 28.4 t ha⁻¹, siendo la producción de Holanda y España bajo condiciones de invernadero (SAGARPA, 2012). Por otra parte, la sequía en el ciclo primavera-verano de 2009 significó una reducción del 1.6% en la superficie sembrada en comparación con el año previo. La escasez de agua en buena parte del territorio nacional se ha reflejado en la disminución del rendimiento promedio, que pasó de 15.6 a 14.1 t ha⁻¹ de 2008 a 2009, respectivamente. En el año 2012 se sembraron en el país 138,188 ha de chile verde, con rendimiento promedio de 17.5 t ha⁻¹, siendo considerada la principal hortaliza del país. Ese mismo año, en Sonora se sembraron 3,413 ha, con rendimiento promedio de 26.3 t ha⁻¹, ubicándose como la cuarta hortaliza en importancia; mientras que en la Costa de Hermosillo, ese mismo año se sembraron 292 ha, con rendimiento promedio de 39.4 t ha⁻¹, ubicándola entre las cinco principales hortalizas (SIAP, 2012).

Un manejo más eficiente del agua es posible con el uso de polímeros hidrófilos (hidrogeles), que constituyen una alternativa limpia y eficiente para la agricultura. El surgimiento de los hidrogeles a base de poliacrilamida se dio en la década de los 50's y con el paso de los años se ha mejorado su capacidad de absorción de agua de 20 a 400 veces su peso (Freitas *et al.*, 2002). En contacto con el agua, esta se desplaza hacia el interior de las partículas del polímero y a medida que el agua se difunde la partícula incrementa su tamaño y las cadenas poliméricas se mueven para acomodar las moléculas de agua (Barón *et al.*, 2007). Por su alta capacidad de retención hídrica, los hidrogeles son aditivos que fueron diseñados para mejorar el establecimiento y el crecimiento vegetal en suelos de ambientes áridos; al hidratarse, los gránulos secos del polímero se gelifican formando partículas que retienen cantidades de agua equivalentes a cientos de

veces su peso seco. Las porciones de gel resultantes se comportan como pequeños reservorios individuales que presentan la mayor parte de su humedad almacenada en forma disponible para las plantas (Titttonellet *al.*, 2003).

Estudios realizados han demostrado la viabilidad del uso de hidrogeles para mejorar la capacidad de absorción de agua en el suelo, aprovechar el agua de lluvia o riego al perderse menor cantidad de agua por percolación, disminuir la evaporación de la misma, reducir de la lixiviación de nutrientes y mejorar la aireación y drenaje del suelo; factores que permiten espaciar la frecuencia de los riegos, favorecer el desarrollo del sistema radical, el crecimiento de la planta, mejorar la actividad biológica e incrementar la producción (Ross *et al.*, 2003; Rojas *et al.*, 2004; De Camposet *al.*, 2005; Sojkaet *al.*, 2005; Barón *et al.*, 2007; Ortset *al.*, 2007; Rivera *et al.*, 2007; Sojkaet *al.*, 2007), cuyo efecto es más evidente en suelos con drenaje alto (Barónet *al.*, 2007; Idroboet *al.*, 2010), de textura arenosa (Ross *et al.*, 2003), al igual que en climas áridos (Katime, 2003; Rojas *et al.*, 2004; Barón *et al.*, 2007; Albuquerque *et al.*, 2009).

Aunque existe evidencia del impacto que tiene el uso de los hidrogeles en la agricultura bajo riego por gravedad, la investigación que se ha desarrollado en riego tecnificado ha sido muy poca. Por ello, el Objetivo del presente trabajo consistió en evaluar la eficiencia del uso de un polímero hidrófilo a base de poliacrilamida, en la producción del chile Serrano cultivado en invernadero bajo riego tecnificado.

LITERATURA REVISADA

El cultivo del chile Serrano (*Capsicum annuum* L.)

En México se cultivan aproximadamente 80,000 ha con chile, en sus diferentes tipos y variedades, ya sean modificadas o naturales. Entre estas destaca el tipo Serrano, ya que esta forma parte fundamental en la cocina mexicana y por tal es económicamente atractivo, además de ser un cultivo rentable. En el país el cultivo del chile Serrano es importante porque requiere una gran cantidad de mano de obra, tanto en la etapa de desarrollo como en el corte y deja una derrama económica cuantiosa para el país. La superficie establecida de chile Serrano es de 2,000 a 3,000 ha, con rendimiento promedio de 13 tha^{-1} , pudiendo incrementar con un buen manejo y el uso de variedades mejoradas.

(<http://www.fupronay.org.mx/guia%20tecnica/guia/ArchivosPDF/CHILE%20SERRANO.pdf>).

Preparación del terreno

La preparación correcta del terreno es un aspecto de gran importancia para lograr el éxito en el cultivo del chile. Algunas de las principales labores que se tienen que realizar son: subsuelo, barbecho, rastreo, nivelación, surcado y trazo de líneas de conducción de agua (Córdova, 2003).

El suelo deberá estar bien nivelado, y que no presente desniveles pronunciados para evitar problemas de encharcamientos y con esto también daños ocasionados por secadera o damping off. Se realiza primero el subsuelo con una profundidad entre 40 y 50 cm ; se barbecha para remover la tierra y que el suelo de la parte más profunda pase a la parte superior; se realiza un desvare y se dan una a dos pasadas de rastra con la finalidad desmenuzar los residuos de la cosecha

anterior, desmoronarlos terrones y proporcionar aireación al suelo, facilitando también la elaboración de camas; se aplica materia orgánica y fertilizantes inorgánicos de fondo; posteriormente se instala un acolchado plástico como el gris/negro, gris por la parte superior para incrementar la fotosíntesis y negro por la parte inferior para el control de malezas; simultáneamente se coloca la cinta de riego, calibre 6 mm y gasto de 1L h⁻¹ por gotero. Esta práctica normalmente se realiza con una acolchadora, que a su vez va aplicando el fertilizante de fondo (granulado) y gallinaza, a la vez también va instalando la cinta y el acolchado (Martínez y Moreno, 2009).

Factores climáticos

El ciclo vegetativo del chile depende de la variedad, de la temperatura en las diferentes etapas (germinación, floración, maduración), de la duración del día y de la intensidad luminosa. El chile necesita una temperatura media diaria de 24°C. Debajo de 15°C el crecimiento es malo y con 10°C el desarrollo del cultivo se paraliza. Con temperaturas superiores a los 35°C, la fructificación es muy débil o nula, sobre todo si el aire es seco (Córdova, 2003).

En el cuadro 1 se presentan las temperaturas consideradas óptimas para el cultivo del chile.

Cuadro 1. Temperaturas óptimas para el cultivo del chile.

Fases del cultivo	Temperatura (°C)		
	Optima	Mínima	Máxima
Germinación	20-25	13	40
Formación de planta	20-25(día) 16-18(noche)	15	32
Desarrollo del fruto	26-28(día) 18-20(noche)	18	35

(<http://www.infoagro.com/hortalizas/chile.htm>)

Variedades

Una de las variedades sugeridas es la Tampiqueño 74, por ser la más rendidora y aceptada en el mercado. Hoy en día existen materiales híbridos con mayor potencial de rendimiento y de excelente calidad, además con buena aceptación en el mercado. Otras variedades son Paraíso, Coloso, Centauro y Tuxtla. Los frutos de los cultivares antes mencionados son de buena calidad, dada esta por la turgencia, tamaño, forma, color y firmeza del fruto. La firmeza del fruto está dada por el grosor del pericarpio que le da mayor peso, resistencia al ser transportada, así como el periodo de tiempo que dura en el mercado sin que disminuya su calidad (Córdova, 2003).

Trasplante

El trasplante se realiza inmediatamente después de que la plántula se extrae del semillero, teniéndose mucho cuidado de no dejarlas mucho tiempo en el sol ya que pueden deshidratarse fácilmente, buscando de preferencia una sombra en donde no esté resguardada por mucho tiempo. Normalmente el plástico usado en el acolchado ya viene con la distancia entre cada perforación, a 35 cm. En caso de que no se cuente con acolchado, se realizan perforaciones en el suelo usando una estaca, debiendo el suelo estar húmedo para que se formen bien los hoyos (Martínez y Moreno, 2009).

Control de maleza

Para el combate de malezas se puede usar el control químico, pudiendo aplicar una mezcla de Trifluralina 2 L + Bensulide 5 L ha⁻¹ o Trifluralina 2 L + Difenamida 3 kg ha⁻¹. En ambos casos se requiere incorporarlo inmediatamente después de su aplicación, con rastreo ligero a 8-10 cm de profundidad. La aplicación debe realizarse sobre terreno bien preparado y antes de surcar para el trasplante. Para determinar la cantidad de agua a utilizar se sugiere calibrar el equipo de aplicación antes del tratamiento. El control de malezas se

complementará con tres pasos de cultivadora, ya que los herbicidas recomendados no controlan algunas malezas como la hierba de venado, zacate Johnson y quelite. El paso de la cultivadora se realiza a los 40, 60 y 80 días del trasplante respectivamente y, en caso de existir especies de malezas resistentes a los herbicidas se sugiere realizar un deshierbe con azadón.

Otra forma de combatir las malezas es mediante el control mecánico. Este se realiza con cultivadoras jaladas por el tractor. Dicha labor debe complementarse con deshierbes manuales, con azadón o machete, siendo una actividad con alto costo. Por lo anterior, el control químico es una buena alternativa.

<http://www.fupronay.org.mx/guia%20tecnica/guia/ArchivosPDF/CHILE%20SERRANO.pdf>.

Riego

Las necesidades totales de agua en el cultivo del chile son de 60 a 90 cm, pudiendo llegar a 1.25 m para períodos vegetativos largos con varias cosechas. Para obtener rendimientos elevados, se requiere un suministro adecuado de agua y suelos relativamente húmedos durante todo el período vegetativo. Antes de la floración y al inicio de los primeros brotes florales de la plantación, el cultivo es más sensible a la falta o exceso de agua. La deficiencia de agua en el suelo reduce el crecimiento y desarrollo de la planta; en cambio, el exceso reduce la tasa de absorción (Orellana *et al.*, 2008).

Fertilización

La fertilización del cultivo debe de ser precisa, ya que este cultivo es muy estresante cuando se tienen cantidades excesivas de sales.

A continuación se presentan las dosis de fertilización más utilizadas para el cultivo del chile.

- a) 150-75-100 kg ha⁻¹ (N-P₂O₅- K). Fertilizar al trasplante, u ocho días después de éste, con 250 kg ha⁻¹ de la fórmula 15-15-15, más 188 kg ha⁻¹ de superfosfato simple y 104 kg ha⁻¹ de Cloruro de potasio. Al inicio de la floración, aplicar 188 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio. A los 90 días, fertilizar con 83 kg ha⁻¹ de Urea y al Inicio de la cosecha, fertilizar con 188 kg ha⁻¹ de Sulfato de Amonio.

- b) 150-50-50 kg ha⁻¹ (N-P₂O₅-K). Al trasplante u ocho días después, fertilizar con 333.3 kg ha⁻¹ de la fórmula 15-15-15. Al inicio de la floración, aplicar 165 kg ha⁻¹ de Sulfato de Amonio. A los 90 días, fertilizar con 73.3 kg ha⁻¹ de Urea y al inicio de la cosecha, fertilizar con 165 kg ha⁻¹ de Sulfato de amonio.

- c) 150-0-0 kg ha⁻¹ (N-P₂O₅-K). Al trasplante, u ocho días después de éste, aplicar 188 kg ha⁻¹ de Sulfato de amonio. Al inicio de la floración, fertilizar con 83 kg ha⁻¹ de Urea. A los 90 días, aplicar 188 kg ha⁻¹ de Sulfato de Amonio y al inicio de la cosecha, aplicar 83 kg ha⁻¹ de Urea (Orellana *et al.*, 2008).

Plagas

Las plagas más importantes en el cultivo del chile son: Pulgón saltador o psilido del tomate (*Bactericeracockerelli*Sulc.), Mosquita blanca(*Trialeurodesvaporariorum*Westwood, *Bemisiatabaci*Gennadius), Trips(*Thripstabaci*Lindemany*Frankliniellaoccidentalis*Pergande), Pulgones (*Myzuspersicae*Sulzer, *Aphisgossypii*Glover), Chicharrita (*Empoascaspp.*),Araña roja (*Tetranychusurticae* Koch), Picudo del chile (*Anthonomuseugenii* Cano),

Gusano soldado (*Spodoptera exigua*Hübner), Gusano del fruto (*Helicoverpazea*Boddie), Minador de la hoja (*Liriomyzasp.*), Pulga saltona (*Epitrixspp.*), Gusano del cuerno (*Manduca sexta*Linnaeus), Gusano quemador (*Estigmeneacrea*Drury), Nemátodoagallador (*Meloidogynespp.*) (SAGARPA, 2012).

Enfermedades

En almácigo es común que se presente *Damping off* o secadera, *Fusariumsp.*, *Phytophthorasp.*, *Pythiumsp.* o*Rhizoctoniasp.*, que se previene controlando los encharcamientos y excesos de humedad, al igual que con aplicaciones profilácticas de Captan 50% + Ridomil MZ 72 en dosis de 4 + 4 g L⁻¹ de agua, cada 4 días.

Las enfermedades más comunes de la planta del chile en la región y los productos para su control se indican en el cuadro 2 (Córdova, 2003).

Cuadro 2. Productos usados en el control de enfermedades del chile.

ENFERMEDADES	PRODUCTOS	DOSES
Mancha bacteriana	Sulfato tribásico de cobre	4.0 kgha ⁻¹
<i>Xanthomona vesicatoria</i>	Koside 101	2.0 kgha ⁻¹
Mancha bacteriana y mancha foliar	Manzate D 80%	1.5kgha ⁻¹
<i>Xanthomonas vesicatoria</i> y <i>Cercosporacapcisi</i>		
Mancha foliar	Captan 75%	2.0 kgha ⁻¹
<i>Cercosporacapcisi</i>		

(Córdova, 2003).

En los últimos años se han tenido problemas severos con virosis, para la cual no existe aún control químico, recomendándose siembras tempranas (primera quincena de octubre) y buen control de insectos vectores (mosquita blanca y pulgón, principalmente); además, se ha encontrado que desde el trasplante a la

floración, las condiciones ambientales favorecen el desarrollo de enfermedades como Tizón, por lo que se sugiere aplicar fungicidas cuando la temperatura media sea menor a 24 °C en los últimos 8 días y una humedad relativa mayor del 60% (Córdova, 2003).

Cosecha

El primer corte inicia a los 80 días después del trasplante, los siguientes cortes se realizan cada 21 ó 30 días de acuerdo a las condiciones del cultivo y del mercado. Es importante evitar periodos más largos, ya que provocan un envejecimiento prematuro de la planta. Se realizan tantos cortes como el mercado y la calidad del fruto lo permitan.

(<http://www.fupronay.org.mx/guia%20tecnica/guia/ArchivosPDF/CHILE%20SERRANO.pdf>)

Los Invernaderos

México cuenta con una diversidad en climas, suelos, personas y costumbres. Esto lo hace un país atractivo para producir hortalizas durante todo el año, con una presentación de frescura y calidad consistente. Sin embargo, la disponibilidad de agua cada vez se ha limitado debido principalmente al poco almacenamiento de las presas, sobre-explotación de acuíferos y años secos. Aquí es donde a los invernaderos se les ha visto como una alternativa como un sistema de producción intensiva, ya sea usando las ventanas de comercialización en invierno o durante todo el año, dependiendo del desarrollo y estrategia de mercado que se tenga (Valadez, 2001).

La finalidad de un invernadero es prolongar el periodo de cultivo de las hortalizas delicadas, frutales y plantas ornamentales, al igual que protegerlas de condiciones ambientales adversas tales como temperaturas extremas y precipitaciones, así como de algunas plagas como roedores y pájaros (Hananet *al.*, 1978).

Al respecto, un invernadero es aquella estructura que, además de proteger al cultivo de la lluvia, temperatura y humedad del aire extremas y el viento, permite el paso de la radiación solar reduciendo la pérdida de calor en particular de la componente del infrarrojo térmico. El grado de modificación climática va a depender del nivel tecnológico de los materiales usados en su construcción y de los equipos complementarios de climatización, humidificación, ventilación, fertilización carbónica e iluminación artificial, entre otros (Valadez, 2001).

En el siglo XVII se utilizaron armazones de madera forrados con papel translúcido impregnados de aceite y grasa, para calentar al ambiente, tal como se hace actualmente con las cubiertas de plástico. Durante el periodo de los años 60's varias tecnologías fueron utilizadas para proteger los cultivos hortícola del frío. Se inclinaron a utilizar cubiertas de vidrio, jarras de campana, camas calientes con cubierta de vidrio. Fue en los años 70's se utilizó por primera vez la denominada casa de cristal (glasshouse), utilizando una cubierta de vidrio con techo inclinado hacia un solo lado, y posteriormente se utilizó hacia ambos lados (Jensen, 1997).

La producción de alimento en invernaderos se estableció completamente hasta la introducción de polietileno, en los EE.UU en 1948. Se utilizó por primera vez el polietileno como cubierta en invernaderos cuando el profesor Emmert, de la Universidad de Kentucky, utilizó un material más barato en lugar del vidrio. Emmert es considerado como el padre de los plásticos en EE.UU ya que él desarrolló muchos de los principios de la tecnología de los plásticos con propósitos para la agricultura, a través de sus investigaciones sobre invernaderos, acolchados de plástico y cubiertas plásticas (Jensen, 1997).

El advenimiento del plástico en los últimos 30 años ha revolucionado completamente la construcción de invernaderos, haciendo posible la construcción de estructuras más baratas en los países desarrollados. El material más

comúnmente usado en regiones con climas extremos es el llamado plástico blando o película de polietileno. Este es el material más barato disponible; desafortunadamente, aún con inhibidores de los rayos UV su vida útil no es mayor a dos años (Hanan, 1998).

El tener invernaderos con tecnología de vanguardia, no garantiza un éxito total para arrancar un negocio de invernadero; sin embargo, un sistema de invernadero sencillo, sin movimiento del sistema (ventanas laterales, ventanas cenitales, calefacción, etcétera), puede ser la diferencia de la rentabilidad del negocio. Los materiales usados como los plásticos de los techos, sustratos, sistemas de fertirrigación y tipo de manguera utilizada, también son importantes para garantizar un buen principio del negocio (Valadez, 2001).

La producción de cultivos bajo invernadero es una de las técnicas más modernas que se utilizan actualmente en la producción agrícola. La ventaja del sistema de invernadero sobre el método tradicional a cielo abierto, es que bajo invernadero se establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo. Esta barrera propicia un microclima que permite proteger el cultivo del viento, lluvia, plagas, enfermedades, malezas y animales. Igualmente, esta protección permite al agricultor controlar la cantidad y calidad de luz, la temperatura y aplicar eficazmente el control químico y biológico para proteger el cultivo. (<http://www.uaq.mx/ingenieria/especialidad>)

La modificación climática propiciada por un invernadero permite reducir el ciclo del cultivo, aumentar rendimientos y cultivar fuera de época. En los últimos años se ha dado una expansión en la superficie protegida (acolchados, túneles e invernaderos) favorecida por la demanda de productos frescos y económicos a lo largo de todo el año por parte de los consumidores en los países desarrollados (Valadez, 2001).

La producción agrícola en las regiones áridas y semiáridas del país se ve limitada seriamente por la baja disponibilidad de agua debido principalmente a la escasa precipitación y a la demanda creciente de agua por otros sectores como el industrial y el de consumo humano. Una alternativa de producción en esas regiones la constituye los invernaderos que permite ahorrar volúmenes de agua arriba del 30%. Además, mediante la tecnología de invernaderos se obtienen mayores rendimientos y mejor calidad de frutos, se puede producir cuando no es posible hacerlo a campo abierto lo que se traduce en mejores precios en el mercado (Villa *et al.*, 2009).

Condiciones ambientales

El medio ambiente artificial propiciado por los invernaderos suele ser el adecuado para el crecimiento vegetal, lo cual permite generar mayor rendimiento e ingresos que el cultivo en campo abierto. Sin embargo, microfactores climáticos tales como temperatura, humedad, aireación y las precipitaciones en el interior invernaderos de plástico, junto con la labranza y la fertilización han causado la acidificación, la salinización, el enriquecimiento de nutrientes y el desequilibrio en los suelos(Xue, 1994; Li *et al.*, 2004).

En el cuadro 3 se presenta como fue la inversión en invernaderos en México en un período de cinco años, observándose que el área bajo este sistema de producción creció significativamente, siendo Sinaloa, Jalisco y Sonora los principales estados productores de hortalizas bajo condiciones de invernadero.

Grange y Hand (1998) establecieron que la humedad entre 1.0 y 0.2 kPa de la tasa neta de asimilación no afecta la fisiología y desarrollo de los cultivos hortícolas; sin embargo, el déficit de presión de vapor mayor a 1.0 kPa puede reducir el peso seco de muchas especies como begonia, Saintpaulia, dendramathema(Hanan, 1998).

Cuadro 3. Situación de las inversiones de invernadero para hortalizas en México.

ESTADO	OPERANDO		CONSTRUYENDO	
	ha (1999)	ha (1999)	ha (2004)	ha (2004)
BCN	55.5	38.0	583	80
BCS	106.5	70.5	106.5	70.5
COAHUILA	6.0	0.0	6.0	0.0
COLIMA	0.0	70.0	0.0	70.0
CHIHUAHUA	0.0	20.0	43	10
GUANAJUATO	3.0	20.0	52	24
JALISCO	162.0	30.0	427.5	97
MEXICO	0.8	0.0	0.8	0.0
MORELOS	16.0	0.0	78.5	73.5
QUERETARO	21.5	0.0	52	17
SAN LUIS POTOSI	0.0	70.0	110	12
SINALOA	169.0	30.0	504	117
SONORA	44.0	11.5	209	33
VERACRUZ	22.0	10.0	22.0	10.0
YUCATAN	35.0	0.0	71.5	47
ZACATECAS	0.0	0.0	41.0	30.0
TOTAL	641.3	370	2306	691

AMPHI (2004).

(<http://www.uaq.mx/ingenieria/especialidad>)

Las ventanas de los invernaderos son elementos de especial interés en las estructuras. Una correcta ventilación permitirá actuar, de forma económica, sobre

la temperatura, la humedad relativa y los niveles de CO₂ dentro del invernadero (Antón, 2004).

Efectos de la radiación solar

Alrededor de 30 años de observaciones permitió concluir que no importa el lugar de localización. La radiación siempre será deficiente en invernaderos en los meses de enero y febrero en el hemisferio norte para distintos cultivos (Hanan, 1998).

El denominado efecto invernadero se logra, en parte, por la absorción de la energía solar, que es recibida por la tierra en su mayor parte en forma de onda corta de longitud entre 300 y 475nm. Casi la mitad de esa energía es reflejada entre longitudes de onda larga de 3,500 y 25,000 nm. El vidrio es transparente para longitudes de onda de entre 350 y 2,400 nm, transmitiendo el 90% de luz a 350 nm de luz solar directa y difunde la radiación al espacio, pero es opaco para las ondas de más de 3,000 nm. Esta es una de las causas del efecto invernadero, aunque solamente el 22% del incremento de temperatura de un invernadero puede ser atribuido a la captación de esta radiación (Businger, 1963; Bot, 1983). Para plantas jóvenes de tomate, pepino y pimiento están a su máximo nivel de desarrollo cuando la luz integral diaria es 4 MJ m⁻² y su tasa de crecimiento relativo es de alrededor de 3 MJ m⁻² d⁻¹ (Hanan, 1998).

Efectos de la temperatura

El período de crecimiento de los cultivos en invernadero varía considerablemente. Algunos cultivos como el rábano y la lechuga tienen un período de crecimiento de entre 4 y 15 semanas, dependiendo principalmente de la estación de crecimiento, por lo que diferentes cultivos pueden desarrollar sucesivamente en un año. Otros cultivos de hortalizas como el tomate, pimiento y pepino se puede cultivar todo el año en condiciones climáticas moderadas, mientras que en climas relativamente cálidos estos pueden ser cultivados durante

8 meses, debido a las altas temperaturas dentro de los invernaderos en el verano. La temperatura óptima para la germinación de las variedades sin semilla es 26.7 a 27.8 °C. Variedades con semilla germinan de 21.1 a 23.9 °C. La semilla a menudo viene con la temperatura de germinación impresa en el envase, siendo necesario comprobar los requerimientos de temperatura para estar seguros (University of Alaska, 2009).

Algunos cultivos bajo invernadero son más sensibles a las bajas temperaturas que otros. Las temperaturas mínimas no deberían ser inferiores a 18.3 °C para una producción sostenida. Temperaturas prolongadas por arriba de 35 °C también debe evitarse durante la producción de frutos, puesto que la calidad de estos a temperaturas extremadamente altas se ve reducida (Hochmuth *et al.*, 1996).

La temperatura junto con la humedad relativa es el factor más importante en este cultivo. Con temperaturas bajas se tiene una paralización del cultivo, y no se recupera fácilmente en días posteriores con temperaturas adecuadas, ni con abonados. Se debe evitar caer por debajo del cero vegetativo 15 °C, durante un periodo mayor de 24 horas continuas, lo que podría resultar muy difícil sin apoyo de calefacción (Aguado, 2002).

Con temperaturas entre el cero vegetativo y el mínimo, la planta manifiesta síntomas en las hojas que pueden llegar a confundirse con deficiencias (y de hecho lo son) pero cuya causa principal es la temperatura. Estos síntomas no desaparecen con el restablecimiento de la temperatura (Aguado, 2002).

La coincidencia de bajas temperaturas durante el desarrollo del botón floral (entre 15 y 10 °C) da lugar a la formación de flores con algunas anomalías: pétalos curvados y sin desarrollar, formación de múltiples ovarios que pueden evolucionar a frutos distribuidos alrededor del principal, acortamiento de

estambres y de pistilos, engrosamiento de ovarios y de pistilos y fusión de anteras.(<http://www.infoagro.com/hortalizas/chile.htm>)

El daño por frío en la luz es considerada como una especie de fotoinhibición. Hace alrededor de 30 años, (Lyon ,1973) señaló que el daño por frío de las plantas manifiesta características distintas. En primer lugar, existe un umbral de temperatura por debajo del cual se induce el daño por frío (Powles *et al.*, 1982).

Esto contrasta con la fotoinhibición del fotosistema y que muestra una dependencia de la temperatura relativamente lineal, sin ningún tipo de umbral de daño por temperatura (Terashima *et al.*, 1994).

Efectos de la concentración de CO₂

Niveles altos de CO₂ de alrededor de 500 Pa (5,000 ppm) han sido investigados; sin embargo, usualmente los niveles altos resultan en daños a la planta. Concentraciones bajas, para algunas especies como pimientos, tomate y berenjena, podrían presentar amarillamiento en el follaje en concentraciones menores a 50 Pa (500 ppm) (Hanan, 1998).

La mayoría de los autores han encontrado que el incremento de CO₂ tiende a cerrar los estomas. Ecuaciones ajustadas han mostrado que incrementar 10 Pa de CO₂ reduce la conductividad de 3 al 4% en pimiento, pepino y tomate, y en un 11% en berenjena (Hanan, 1998).

Los polímeros

Generalidades del polímero

El término hidrogel (polímero hidrófilo) se utiliza para denominar a un tipo de material de base polimérica caracterizado por su extraordinaria capacidad para absorber agua y diferentes fluidos. La hidrofilia de estos geles es debido a grupos como: -OH, -COOH, -CONH₂ y -SO₃H, propiedad de absorber agua que les convierte en materiales de enorme interés. Estos hidrogeles se obtienen mediante polimerización y entrecruzamiento simultáneo de uno o varios monómeros mono o poli funcionales. La característica de estos monómeros (tipo de grupos que lo forman) y el grado de entrecruzamiento determina las propiedades de hinchamiento del xerogel (hidrogel seco) y por lo tanto su aplicabilidad. En la mayoría de los casos, un solo monómero no proporciona al mismo tiempo buenas propiedades mecánicas y gran retención de agua, por ello es necesario recurrir a la copolimerización para poder obtener un mejor compromiso de estas dos propiedades (Escobar *et al.*, 2002).

Al respecto, Ortiz *et al.* (2006) definen al hidrogel como una red polimérica la cual tiene la propiedad de absorber grandes cantidades de disolvente, causando cambios macroscópicos en las dimensiones del polímero. La propiedad más importante que presentan los hidrogeles es el grado de hinchamiento, además la capacidad de absorción, permeabilidad para disolver diferentes solutos.

Estos polímeros forman redes tridimensionales porosas de gran flexibilidad con capacidad reversible de adsorción y desadsorción de grandes cantidades de agua, hasta 10,000 veces su masa inicial; propiedad muy importante en muchas aplicaciones para sustituto de arena en cultivo de plantas en vista de las múltiples aplicaciones (Pirela *et al.*, 2009).

En contacto con el agua, esta se desplaza hacia el interior de las partículas del polímero y a medida que el agua se difunde la partícula incrementa su tamaño y las cadenas poliméricas se mueven para acomodar las moléculas de agua; simultáneamente, la presencia de puntos de entrecruzamiento evita que las cadenas en movimiento se separen y por tanto el que se disuelvan en el agua (Barón *et al.*, 2007).

Los polímeros en la agricultura

Tittonet *et al.* (2003) señalan que los polímeros sintéticos con alta capacidad de retención hídrica, aditivos diseñados para mejorar el establecimiento de plantas en ambientes áridos, son beneficiosos para el establecimiento de hortalizas bajo condiciones de estrés hídrico, incrementando estos la incorporación de nutrientes, al igual que la retención de agua en el medio de cultivo.

Evaluando la germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en dos tipos de suelos, utilizando un hidrogel comercial y un hidrogel sintetizado en el laboratorio, en dosis de 0, 0.45 y 0.90%, se observó que la presencia del hidrogel favoreció significativamente la germinación de las plantas, en comparación con el suelo en su estado natural. Los resultados permitieron concluir que, en principio la presencia de los hidrogeles y su capacidad de absorber y retener agua tienen un efecto positivo sobre la germinación de las plántulas (Rojas *et al.*, 2006).

El desarrollo científico de los últimos años permite incorporar tecnología en el campo para superar la dependencia de las condiciones climáticas, con el objetivo de obtener una buena cosecha y reducir los costos de producción. Las estadísticas señalan que en la actualidad el 80% de agua es utilizada con fines de riego agrícola, pero solamente se aprovecha la mitad de este recurso; desperdiciándose lo demás en su flujo hacia los mantos freáticos o la evaporación.

La aplicación del hidrogel en el campo permite pensar en un incremento en la cosecha y calidad de la misma, así como un ahorro importante de agua y una reducción de costos de producción.

(<http://www.acmor.org.mx/cuam/biol/238ahorrando.pdf>)

Lobo *et al.* (2012) mencionan que los acondicionadores del suelo, ya sean naturales (orgánicos) o sintéticos, pueden no solo mejorar la estructura del suelo a través de la estabilización de los agregados, sino que también puede tener un efecto positivo en la retención de humedad, la fertilidad del suelo y sobre la infiltración.

El uso de los hidrogeles ha venido a reducir los costos de producción en la agricultura, ya que estos absorben y retienen agua evitando su uso excesivo, tornándose autofinanciable, con vida útil muy amplia si se le aplica el mantenimiento adecuado. Transcurrido un año, sólo hay que reponer un 20% y si las condiciones climáticas no fueron extremas en la siguiente temporada puede que no sea necesario hacer reposición alguna. Las pruebas de campo han demostrado que al utilizar el hidrogel las cosechas incrementan hasta en un 30% en relación con el método tradicional, y con mayor calidad de la producción. En la reforestación, donde normalmente el 80% de los árboles que son plantados se secan, al utilizar el hidrogel los porcentajes se invierten y sólo se observan pérdidas en un 20%. En el estado de Jalisco el uso del hidrogel es aprovechado por la asociación de productores de tequila en sus viveros; aunado a esto, se han hecho pruebas en campos de reforestación y varios sembradíos de maíz con buenos resultados.

(<http://www.gaceta.udg.mx/Hemeroteca/paginas/125/8-125.pdf>)

Un estudio sobre el uso de los hidrogeles para el combate a la sequía mostró que se logró reducir el tiempo transcurrido entre un riego y otro, mostrando beneficios adicionales como el permitir la absorción del rocío de la noche y el ser biodegradable. Se han observado resultados satisfactorios con el

hidrogel en sembradíos estáticos (aquellos donde no se utiliza arado, como en los árboles frutales); sin embargo, en cultivos rotativos, como frijol y maíz, no funcionaría porque al arar la tierra el gel se fragmentaría.

(<http://noticias.universia.net.mx/ciencia-nn-tt/noticia/2012/01/30/908328/ibero-desarrolla-nuevo-gel-combate-sequia.pdf>)

Los materiales a base de polímeros se usan en la agricultura para mejorar la mecanización de esta y la producción de cultivos, al igual que para mejorar el cultivo de las plantas en condiciones climáticas adversas y proveer condiciones más favorables para el desarrollo de la planta. En las plantaciones agrícolas se usan en cantidades cada vez mayores, para obtener mayor rendimiento y mejorar la calidad de las plantas en un tiempo más corto. Estos polímeros son usados como acondicionadores del suelo, en la siembra y trasplante, el revestimiento de la semilla para controlar la germinación, como mejoradores de la aireación del suelo y, para la esterilización del mismo, pudiendo beneficiar a las plantas en las distintas etapas de desarrollo (germinación, crecimiento, evapotranspiración, floración y formación de frutos) (Akelah, 2013).

Los polímeros en el cultivo del chile

Evaluando la aptitud de los polímeros en la producción de plántulas de pimiento, en condiciones de invernadero, Tittonel *et al.* (2002) evaluaron un copolímero de propenamida-propeonato, encontrando que la adición del polímero mejoró la precocidad, uniformidad y tamaño de la plántula. La tasa de crecimiento incrementó como consecuencia de un mejor desarrollo foliar; la relación vástago/raíz no fue favorablemente afectada por adición del polímero; los parámetros de calidad de la plántula mejoran, ya sea por una mayor retención hídrica, como por una mayor capacidad de intercambio iónico, o por ambas razones.

Evaluando polímeros adicionados con nutrientes en la producción de plántulas de pimiento en invernadero, Tittonelet *al.* (2003) encontraron que la adición del polímero al sustrato permite mejorar la velocidad y uniformidad de la emergencia, y aunque el efecto de los polímeros sobre el crecimiento inicial de las plántulas de pimiento es poco claro, su calidad tiende a mejorar.

En un estudio evaluando el efecto de la concentración del polímero hidroabsorbente Terracottem® (2.5, 5.0, 7.5 y 10.0 g L⁻¹) sobre el pH y la conductividad eléctrica (CE), en mezclas de sustratos utilizados para la producción de plántulas de chiles ornamentales (*Capsicum annuum* 'Gion Red'), la adición de Terracottem® no modificó el pH, ni la CE, ni contribuyó a mejorar el crecimiento inicial en las plántulas en semillero de *C. annuum* (Vieira *et al.*, 2005).

En otro estudio en invernadero se evaluó el uso de Terracottem® (una mezcla de polímeros hidro-absorbentes, fertilizantes, reguladores del crecimiento de la raíz y cenizas volcánicas), en dosis de 4 y 2 g L⁻¹ de suelo, y dos niveles de humedad (100% y 80% de la capacidad de campo) sobre la producción de biomasa aérea y de raíz en chile verde (*Capsicum annuum*) establecido en un suelo arenoso, se encontró que la mayor cantidad de biomasa aérea se obtuvo con el uso de Terracottem® en dosis de 4 g L⁻¹, independientemente del nivel de humedad; en tanto que la mayor biomasa de raíz se obtuvo con Terracottem® a mayor nivel de humedad, independientemente de la dosis. Además, el menor consumo de agua por unidad de biomasa se obtuvo con Terracottem® a dosis de 4 g L⁻¹ (Loto *et al.*, 2006; Torres *et al.*, 2008).

Evaluando el efecto de un polímero en la calidad de semilla de chile cv. Byadagikaddi, semillas de chile fueron tratadas con diferentes dosis del polímero, con y sin fungicida. En el primer experimento, las semillas tratadas con el polímero a dosis de 7 g kg⁻¹ de semilla + Thiram® a dosis de 2 g kg⁻¹ de semilla

presentaron mayor respuesta en la germinación (69.4%), longitud de raíz (5.8 cm), longitud del hipocotilo (8.5 cm), peso seco de plántula (38.8 mg en 10 plántulas), índice de vigor (991), índice de germinación (10.9), emergencia en campo (66.1%), con una disminución en la conductividad eléctrica (2.0 dS m^{-1}), contenido de humedad (7.89%) e infección de semilla (8.0%). En el segundo experimento, las semillas tratadas con polímero a dosis de 20 ml kg^{-1} de semilla+ Thiram a dosis de 2 g kg^{-1} de semilla presentaron mayor respuesta en la germinación (69.8%), longitud de raíz (5.9 cm), longitud del hipocotilo (8.8 cm), peso seco de plántula (39.3 mg en 10 plántulas), índice de vigor (1030), índice de germinación (10.9), emergencia en campo (66.1%), con una disminución en la conductividad eléctrica (2.0 dS m^{-1}), contenido de humedad (7.7%) e infección de semilla (7.3%) (Manjunatha, 2007).

En un experimento llevado a cabo para evaluar el efecto de tres tipos de sustrato (polvo de coco, espuma de formaldehído de urea y cáscara de arroz), adicionados con gel de poliacrilamida (10 g bolsa^{-1}), sobre el crecimiento y rendimiento de pimiento dulce (*Capsicum annuum* L.), se observó que la altura de la planta, el peso fresco de la hoja y el diámetro del tallo fueron mayores al usar fibra de coco y menores para la cáscara de arroz, sustrato que también mostró un menor rendimiento y calidad del fruto (Del Amor y Gómez-López, 2009).

La adición de hidrogel como acondicionador de suelo es una técnica recomendada para incrementar la capacidad de retención de agua en los sustratos usados en la producción de plántulas, buscando evaluar la respuesta de plántulas de pimiento dulce se usaron cuatro dosis del hidrogel Hydroplan-EB® (0, 1.0, 1.5 y 2.0 g kg^{-1} de sustrato), incorporado al sustrato Bioterra®. El uso del hidrogel no influyó en el sistema radicular de las plántulas de pimiento y tampoco se observó efecto sobre la longitud del brote; sin embargo el hidrogel mostró efecto sobre el peso seco de la parte aérea, observándose un mayor crecimiento foliar al incrementar la dosis (Alves y Ortenzi, 2010).

En estudio realizado por Lobo *et al.* (2012) evaluando el efecto de dos acondicionadores de suelo: el polímero hidroabsorbente Terracottem® y estiércol bovino y dos niveles de humedad (100% y 80% de la capacidad de campo), sobre la absorción de nutrientes por el cultivo del chile verde (*Capsicum annuum* L.) en un suelo arenoso, se observó que los acondicionadores del suelo y sobre todo el hidrogel, dieron como resultado mayores concentraciones de N, P y K absorbido, lo que se puede atribuir a un incremento en la eficiencia en el uso del agua cuando se aplica el hidrogel. Para el crecimiento de biomasa aérea, no se observaron diferencias significativas entre el Terracottem® a nivel de humedad bajo, con respecto al uso de estiércol a nivel de humedad alto.

Con el propósito de mejorar la eficiencia en el uso del agua en la producción de chile, López-Elías *et al.* (2013) evaluaron el uso de un polímero hidrófilo a base de poliacrilamida (Lluvia Sólida®, 25 kg ha⁻¹) en chile Anaheim cv. Cardón, usando riego por goteo bajo condiciones de invernadero. El polímero no presentó efecto en la producción y calidad del fruto, ni en la EUA; sin embargo, con el polímero se tuvo un incremento del 1.5% en contenido de humedad en el suelo, que representó una reducción del 12% en el volumen de agua aplicada y una lectura SPAD de 58.4 contra 57.7 del testigo, por lo que el uso del polímero hidrófilo puede ser una práctica importante para productores que deseen aplicar riegos menos frecuentes, además de reducir el tiempo de riego.

MATERIALES Y METODOS

Sitio experimental

El presente trabajo se llevó a cabo en un invernadero localizado en el Campo Experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, a los 29°00'48'' lat N, 111°08'07'' long O y 151 msnm, durante el ciclo primavera-verano de 2013.

Invernadero

El invernadero tiene una superficie de 225 m², con cubierta de polietileno de 8 mil de espesor, pared húmeda, dos extractores y sin sistema de calefacción. El suelo es de textura franco arenosa y agua para riego con conductividad eléctrica de 0.57 dSm⁻¹ y pH de 7.2.

Material vegetal

El cultivo evaluado fue chile Serrano (*Capsicum annuum* L.) 'Cien Fuegos'.

Manejo agronómico

El trasplante se realizó el 1 de febrero de 2013 con una densidad de 3.3 plantas m⁻², a doble hilera separada 30 cm, con distanciamiento de 40 cm entre plantas y distancia entre hileras de 1.5 m. Establecido el cultivo, su manejo fue de acuerdo a las prácticas habituales del productor de la región, llevándose a cabo aplicaciones preventivas y de control químico de insectos y enfermedades.

Las plantas fueron entrenadas usando tutoreo horizontal, con hilo rafia de polipropileno sujeto a estacas de madera colocadas cada 2.5 m en ambos costados de las hileras.

El riego y los fertilizantes se distribuyeron a través de goteros de 1.0 L h⁻¹. La humedad del suelo se midió diariamente por la mañana, durante todo el ciclo del cultivo, usando tensiómetros colocados a 20 cm de profundidad. La fertilización total fue de 290N-75P-250K-70Ca-45Mg kg ha⁻¹, distribuida a lo largo del ciclo del cultivo, ajustada de acuerdo al análisis inicial del suelo y a los análisis foliares realizados quincenalmente.

El área experimental fue de 113 m² dentro de la cual se establecieron 16 unidades experimentales de 4.5 m² (3.0 m de largo por 1.5 m de ancho) con 14 plantas totales y cinco útiles para mediciones.

Tratamientos

Los tratamientos a evaluar fueron: a). Enmienda al suelo: gel aplicado en dos dosis, 0 kg ha⁻¹ y 50 kg ha⁻¹ y, b). Condición de humedad: dos volúmenes de riego, considerando el 80% y 100% de la evapotranspiración (ET₀).

El gel utilizado fue un polímero hidrófilo a base de poliacrilamida (PAM), Lluvia sólida®, consistente en un granulado sólido absorbente que ayuda a mejorar la capacidad de retención de agua en la zona radical, cuya composición es: poliacrilamida (94.13%) y humedad (5.87%); el cual, previamente hidratado, se colocó al centro de la hilera del cultivo a una profundidad de 20 cm.

La ETo se obtuvo de la información meteorológica obtenida de una estación automática Adcon A730 MD.

Variables evaluadas

Se evaluó la altura de planta, precocidad, producción comercial (frutos por planta, peso de fruto y rendimiento), tamaño del fruto (longitud y diámetro), eficiencia del uso de agua (EUA) y contenido de clorofila en la hoja. Para la altura de la planta se usó una cinta metálica con precisión de 1 mm; para la precocidad se consideró un amarre del 25% de los frutos; para el peso de fruto se usó una balanza digital marca Ohaus Scout-Pro SP601, con precisión de 0.1 g; para la longitud al igual que el diámetro del fruto se usó un vernier digital marca Mitutoyo CD-6" CS, con precisión de 0.01 mm; para la medición del contenido de clorofila se usó el SPAD 502 (Minolta®) que mide la absorbancia de la hoja en la región del rojo (600-700 nm) e infrarrojo cercano (>700 nm). Una vez cosechados los frutos se seleccionaron de acuerdo a su tamaño (15 a 25 cm de largo), color verde uniforme y superficie lisa y recta. En total se efectuaron seis cortes, iniciando la recolección el día 10 de abril de 2013 y concluyendo en el mes de junio del mismo año.

Diseño experimental

El diseño experimental fue un completamente aleatorio con estructura de tratamientos en arreglo factorial (2*2) con 4 repeticiones.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos en el experimento se usó el paquete estadístico SAS 6.12 (SAS Institute Inc., 1996). Se realizó el análisis de varianza de los datos, obteniéndose también la prueba de rango múltiple de Duncan con nivel de probabilidad del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSION

El número de frutos por planta (cuadro 4) no presentó diferencias significativas con la incorporación del polímero al suelo, al igual que con el volumen de agua aplicada al cultivo; mientras que para la interacción enmienda al suelo - condición de humedad, se observó que al aplicar un menor volumen de agua al cultivo el uso del polímero incrementó el número de frutos por planta, en tanto que al no usar el polímero se requirió de un mayor volumen de agua para incrementar el número de frutos por planta, pudiendo resultar útil su uso en condiciones de estrés hídrico moderado en zonas áridas como se observó en estudios realizados por Savéet *al.* (1995).

El peso de fruto presentó un incremento al aplicar un mayor volumen de agua al cultivo, con diferencias significativas entre tratamientos de condición de humedad, y aunque con un mayor peso de fruto con la incorporación del polímero al suelo, no se observaron diferencias significativas con el uso de la enmienda (cuadro 4).

Para el rendimiento (cuadro 4), aunque se observó un incremento al aplicar un mayor volumen de agua al cultivo, no se encontraron diferencias significativas tanto con la incorporación del polímero al suelo, como con el volumen de agua aplicada al cultivo; resultados que no coinciden con aquellos de Nissen y García (1997), Nissen y San Martín (2004), al igual que Ezzat *al.* (2011).

Cuadro 4. Número de frutos por planta, peso de fruto (g) y rendimiento (kg m^{-2}) en chile Serrano (*Capsicum annuum* L.) 'Cien Fuegos', usando poliacrilamida de potasio a dos valores de evapotranspiración (ETo).

Variable	80% ETo	100% ETo
Frutos planta⁻¹		
0 kg gel ha ⁻¹	55.9 ± 14.4	63.1 ± 3.5
50 kg gel ha ⁻¹	67.4 ± 8.5	57.5 ± 12.4
Peso fruto⁻¹ (g)		
0 kg gel ha ⁻¹	13.7 ± 1.5 b †	14.4 ± 1.5 a
50 kg gel ha ⁻¹	12.9 ± 1.1 b	15.4 ± 1.3 a
Rendimiento (kg m^{-2})		
0 kg gel ha ⁻¹	2.6 ± 1.0	3.0 ± 0.2
50 kg gel ha ⁻¹	2.9 ± 0.6	3.0 ± 0.9

† Medias con diferente letra minúscula entre columnas indican diferencias significativas. (Duncan, $P \leq 0.05$).

Para la longitud del fruto (cuadro 5), estadísticamente no se encontraron diferencias significativas con la incorporación del polímero al suelo, al igual que con el volumen de agua aplicada al cultivo.

El diámetro del fruto presentó un incremento al aplicar un mayor volumen de agua al cultivo, con diferencias significativas entre condición de humedad, y aunque con un mayor diámetro del fruto con la incorporación del polímero al suelo no se observaron diferencias significativas con el uso de la enmienda (cuadro 5).

No obstante que está demostrado que los polímeros hidrófilos son buena práctica para mejorar la calidad del fruto en diversos cultivos (Nissen y García, 1997; Nissen y San Martín, 2004; Ezzat *et al.*, 2011), en el presente trabajo no se encontró efecto positivo del polímero sobre la calidad del fruto de chile Serrano.

Cuadro 5. Longitud (cm) y diámetro de fruto (mm) en chile Serrano (*Capsicum annuum* L.) 'Cien Fuegos', usando poliacrilamida de potasio a dos valores de evapotranspiración (ET₀).

Variable	80% ET ₀	100% ET ₀
Longitud (cm)		
0 kg gel ha ⁻¹	11.4 ± 1.0	11.2 ± 0.5
50 kg gel ha ⁻¹	10.7 ± 0.6	11.5 ± 0.3
Diámetro (mm)		
0 kg gel ha ⁻¹	17.9 ± 0.9 b [†]	18.8 ± 0.9 a
50 kg gel ha ⁻¹	17.1 ± 0.5 b	19.9 ± 1.1 a

† Medias con diferente letra minúscula entre columnas indican diferencias significativas. (Duncan, $P \leq 0.05$).

Con la incorporación del polímero al suelo, lecturas posteriores al riego mostraron un incremento en el contenido de humedad en el suelo (datos no presentados), coincidiendo con estudios realizados por Akhteret *al.* (2004), Bhardwajet *al.* (2007), Bhatet *al.* (2009) y Dorrajiet *al.* (2010), permitiendo la reducción del volumen de agua aplicada al cultivo en un 20% (cuadro 3), al igual que la frecuencia de los riegos, como lo muestran también estudios realizados por Akhteret *al.* (2004), De Campos *et al.* (2005), Torres *et al.* (2008) y Agabaet *al.* (2011).

Para la eficiencia del uso de agua (cuadro 6), aunque se observó un incremento al aplicar un menor volumen de agua al cultivo e incorporar el polímero al suelo, con 5.5 kg m⁻³, no se encontraron diferencias significativas tanto con la incorporación del polímero al suelo, como con el volumen de agua aplicada al cultivo.

Para el contenido en clorofila (cuadro 6), no se encontraron diferencias significativas con la incorporación del polímero al suelo, al igual que con el volumen de agua aplicada al cultivo; mientras que para la interacción enmienda al suelo - condición de humedad, se observó que al aplicar un menor volumen de

agua al cultivo el uso del polímero redujo el contenido de clorofila, en tanto que al no usar el polímero el contenido de clorofila incrementó, pudiendo dicha reducción ser el resultado de un mayor número de frutos por planta.

Cuadro 6. Volumen de agua aplicada (m^3), eficiencia del uso de agua ($kg\ m^{-3}$) y contenido de clorofila en chile Serrano (*Capsicum annuum* L.) 'Cien Fuegos', usando poliacrilamida de potasio a dos valores de evapotranspiración (ETo).

Variable	80% ETo	100% ETo
Volumen de agua aplicada (m^3)		
0 kg gel ha^{-1}	5248 \pm 52.5 b [†]	6557 \pm 65.6 a
50 kg gel ha^{-1}	5248 \pm 52.5 b	6557 \pm 65.6 a
EUA ($kg\ m^{-3}$)		
0 kg gel ha^{-1}	5.0 \pm 1.6	4.6 \pm 0.5
50 kg gel ha^{-1}	5.5 \pm 1.2	4.6 \pm 1.4
Contenido de clorofila (lectura SPAD)		
0 kg gel ha^{-1}	69.3 \pm 2.7	66.5 \pm 1.2
50 kg gel ha^{-1}	66.0 \pm 2.1	68.6 \pm 1.1

† Medias con diferente letra minúscula entre columnas indican diferencias significativas; Medias con diferente letra mayúscula entre hileras indican diferencias significativas. (Duncan, $P \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

La incorporación al suelo de un polímero hidrófilo a base de poliacrilamida, al igual que el volumen de agua aplicada al cultivo de Chile Serrano 'Cien Fuegos', cultivado en invernadero bajo riego por goteo, no influyó en el número de frutos por planta, el rendimiento, la longitud del fruto, la eficiencia del uso de agua y el contenido de clorofila. La incorporación del polímero al suelo no influyó sobre el peso y el diámetro de fruto, viéndose favorecidos al aplicar un mayor volumen de agua al cultivo. El uso del polímero incrementó el contenido de agua en el suelo y permitió la reducción del volumen de agua aplicada al cultivo, asociado a un incremento en el número de frutos por planta y la reducción en el contenido de clorofila, sin afectar la producción del cultivo y la calidad del fruto, permitiendo el ahorro de agua y riegos menos frecuentes, resultando útil su uso en zonas áridas bajo condiciones de estrés hídrico moderado.

LITERATURA CITADA

- Agaba, H., J.B.O. Lawrence, J. Obua, J.D. Kabasa and M. Worbes. 2011. Hydrogel amendment to sandy soil reduces irrigation frequency and improves the biomass of *Agrostis stolonifera*. *Agricultural Sciences* 2(4):540-550.
- Aguado, G. 2002. Guía del pepino. Suelo en invernadero frío. Tudela. P. 8.
- Akelah, A. 2013. Functionalized polymeric materials in agriculture and the food industry. Springer. P. 367.
- Akhter, J., K. Mahmood, K.A. Malik, A. Mardan, M. Ahmad and M.M. Iqbal. 2004. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. *Plant Soil Environ.* 50(10):463-469.
- Albuquerque, J.A.C., V.L.A. De Lima, D. Menezes, C.A.V. Azevedo, J. Dantas e J.G. Da Silva. 2009. Características vegetativas do coentros submetido a doses do polímero hidroabsorvente e lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13(6):671-679.
- Alves, P.A. y R. Ortenzi. 2010. El uso de diferentes dosis de hidrogel para la producción de plántulas de pimiento. *Pesquisa Aplicada y Agrotecnologia.* 3(2):53.
- Antón, M. 2004. Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Universidad Politécnica de Cataluña. Tesis. En: http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0420104-100039/03CAPITOL2.pdf.
- Barón, A., I.X. Barrera, L.F. Boada y G. Rodríguez. 2007. Evaluación de hidrogeles para aplicaciones agroforestales. *Revista Ingeniería e Investigación* 27(3):35-44.
- Barreto, Z.A., J.G. López, F.R. Juárez, J.Farias y M. Bazán. 2009. Uso de vermicomposta en suelo salino con plantas de chile serrano (*Capsicum annuum*) en invernadero. X Simposio Internacional y V Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. pp. 77-108.

- Bhardwaj, A.K., I. Shainberg, D. Goldstein, D.N. Warrington and G.J. Levy. 2007. Water retention and hydraulic conductivity of cross-linked polyacrylamides in sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71(2):406-412.
- Bhat, N.R., M.K. Suleiman, H. Al-Menaie, E.H. Al-Ali, L. Al-Mulla, A. Christopher, V.S. Lekha, S.I. Ali and P. George. 2009. Polyacrylamide polymer and salinity effects on water requirement of *Conocarpus lancifolius* and selected properties of sandy loam soil. *European Journal of Scientific Research* 25(4):549-558.
- Bot, G.P.A. 1983. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. Wageningen Agricultural University. Wageningen, The Netherlands. P. 240. Ph.D. Thesis.
- Businger, J.A. 1963. The glasshouse (greenhouse) climate. In: *Physics of Plant Environment*. W.R. Van Wijk (Ed.). Amsterdam, North Holland Publ. Co. pp. 277-318.
- Córdova, A.R. 2003. El cultivo de chile serrano en la zona media de San Luis Potosí. SAGARPA, INIFAP, Fundación Produce San Luis Potosí, A.C. Folleto para Productores 37:28.
- De Campos, A.C., S.R. Lucena e A.A. Schmitz. 2005. Produção de meloeiro utilizando um polímero hidrofílico em diferentes frequências de irrigação em casa-de-vegetação. *Irriga, Botucatu* 10(1):82-87.
- Del Amor, F.M. and M.D. Gómez-López. 2009. Agronomical Response and Water Use Efficiency of Sweet Pepper Plants Grown in Different Greenhouse Substrates. *Hortscience* 44(3):810-814.
- Dorraj, S.S., A. Golchin and S. Ahmadi. 2010. The effects of hydrophilic polymer and soil salinity on corn growth in Sandy and loamy soils. *Clean - Soil, Air, Water* 38(7):584-591.
- Escobar, J.L., D.M. García, D. Zaldívar e I. Katime. 2002. Hidrogeles. Principales características en el diseño de sistemas de liberación controlada de fármacos. *Revista iberoamericana polímeros* 3: 1-25.
- Ezzat, A.E., A.A. EL-Awady and H.M. Ahmed. 2011. Improving nitrogen utilization efficiency by potato (*Solanum tuberosum* L.). *Nature and Science* 9(7):34-42.
- Freitas, T.L., A. Bertonha e A.C. Andrade. 2002. Uso de hidrogel na agricultura. *Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta* 1(1):23-31.
- Grange, R.I. and D.W. Hand. 1987. A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. *Horticultural Science and Biotechnology* 62(2):125-134.

- Hanan, J.J. 1998. Greenhouses. Advanced technology for protected horticulture. CRC Press LLC. USA.
- Hanan, J.J., W.D. Holley and K.L. Goldsberry. 1978. Greenhouse management. Springer-Verlag. New York, USA.
- Hochmuth, R.C., L.C. Leon and G.J. Hochmuth. 1996. Evaluation of twelve greenhouse cucumber cultivars and two training systems over two seasons in Florida. Proc. Fla. State. Hort. Soc. 109:174-177.
- Idrobo, H., A.M. Rodríguez y J.E. Díaz. 2010. Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente 9:33-37.
- Jensen, M. 1997. Food production in greenhouse. In: Plant production in closed Ecosystems. Kluwer, Dordrecht. The Netherlands. pp. 1-14.
- Kant, A.C. and M. Turan. 2011. Hydrogel substrate alleviates salt stress with increase antioxidant enzymes activity of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. African Journal of Agricultural Research 6(3):715-724.
- Katime, I.A. 2003. Hidrogeles inteligentes. Revista Iberoamericana de Polímeros. 4(2): 11-42.
- Lobo, D., D. Gabriels and G. Depaola. 2012. Effect of soil conditioners on nutrient uptake by a green pepper crop. AgroEviron.
- Lobo, D., D. Torres, D. Gabriels, N. Rodríguez and D. Rivero. 2006. Effect of organic waste compost and a water absorbent polymeric soil conditioner (hydrogel) on the water use efficiency in a *Capsicum annuum* (green pepper) cultivation. Proceeding of Agro Environ. pp. 453-459.
- López-Elías, J., M.A. Huez-López, E.O. Rueda-Puente, J. Jiménez-León, J.C. Rodríguez, L.K. Romero-Espinoza y F.X. Dávila-Carrera. 2013. Evaluación de un polímero hidrófilo en Chile Anaheim (*Capsicum annuum*) cultivado en invernadero. Terra Latinoamericana 31(2):115-118.
- Lyons, J.M. 1973. Chilling injury in plants. Annual Review of Plant Physiology 24:445-466.
- Manjunatha, S.N. 2007. Effect of polymer coating on storability of chilli (*Capsicum annuum* L.) seeds. Department of Seed Science and Technology College of Agriculture, Dharwad. University of Agricultural Sciences, Dharwad-580 005.
- Martínez, J., E. Moreno. 2009. Manual técnico del manejo de Chile en campo abierto. SAGARPA. Fundación Produce Nuevo León, A.C. P. 21.
- Nissen, J. y K. San Martín. 2004. Uso de poliácridamidas y el riego en el manejo hídrico de lechugas (*Lactuca sativa* L.). Agro sur 32(2):1-12.

- Nissen, J. y R. García. 1997. Efecto del uso de una poliacrilamida en la lixiviación de nitrógeno y de potasio sobre trigo (*Triticum* sp.), en un suelo volcánico. *Agro sur* 25(2):196-202.
- Orellana, F.E., J.C. Escobar, A.J. Morales, I.S. Méndez, R.A. Cruz, M.E. Castellón. 2008 Cultivo del chile dulce. Centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal. P. 49.
- Ortiz, E., R. Antonio, J. Cruz, A.M. Mendoza, A.B. Morales. 2006. Síntesis y caracterización de hidrogeles obtenidos a partir de acrilamida y metilcelulosa. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 7(4):247-253.
- Orts, W.J., A. Roa-Espinosa, R.E. Sojka, G.M. Glenn, S.H. Iman, K. Erlacher and J.S. Pedersen. 2007. Use of synthetic polymers and biopolymers for soil stabilization in agricultural, construction and military applications. *Journal of Materials in Civil Engineering* 19(1):58-66.
- Pirela, M., A. Briceño y G. González. 2009. Síntesis y caracterización de hidrogeles híbridos de poliacrilamida/hidroxiapatita como posibles biomateriales. XIV Congreso Venezolano de Microscopía y Microanálisis. Ciudad de Mérida, Venezuela. P. 4.
- Powles, S.B., J.A. Berry and O. Björkman. 1982. Interaction between light and chilling temperature on the inhibition of photosynthesis in chilling-sensitive plants. *Plant, Cell Environ.* 6(2):117-123.
- Rivera, C.A., C.A. Baeza y W. Chavarriga. 2007. Efecto de un retenedor de agua y dosis crecientes de fertilizantes foliares sobre la producción de tomate chonto y larga vida bajo cubierta plástica agrocler. *Agron.* 15(1):103-119.
- Rojas, B., M. Ramírez, R. Aguilera, J.L. Prin y C. Torres. 2006. Los hidrogeles poliméricos como potenciales reservorios de agua y su aplicación en la germinación de semillas de tomate en diferentes tipos de suelos. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 7(3):199-210.
- Rojas, B., R. Aguilera, J.L. Prin, H. Cequea, J. Cumana, E. Rosales y M. Ramírez. 2004. Estudio de la germinación de semillas de tomate en suelos áridos extraídos de la península de Araya (Venezuela) al utilizar polímeros de tipo hidrogeles. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 5(1):17-27.
- Ross, C.W., R.E. Sojka and J.A. Foerster. 2003. Scanning electron micrographs of polyacrylamide-treated soil in irrigation furrows. *J. Soil Water Conservation* 58(5):327-331.
- SAGARPA. 2012. Comité Estatal del Sistema Producto Chile de Michoacán A.C. Plan Rector. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). P. 93.
- SAS Institute Inc. 1996. The SAS System for Windows Release 6.12. Cary, N. C. USA.

- Savé, R., M. Pery, O. Marfá and L. Serrano. 1995. The effect of a hydrophilic polymer on plant water status and survival of transplanted pine seedlings. *HortTechnology* 5(2):141-143.
- SIAP. 2012. Análisis estadístico de producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México. <http://www.siap.gob.mx/>
- Sojka, R.E. and J.A. Entry. 2000. Influence of polyacrylamide application to soil on movement of microorganisms in runoff water. *Environmental Pollution* 108(3):405-412.
- Sojka, R.E., D.L. Bjorneberg, J.A. Entry, R.D. Lentz and W.J. Orts. 2007. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. *Advances in Agronomy* 92:75-162.
- Sojka, R.E., J.A. Entry and J.J. Fuhrmann. 2006. The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil. *Applied Soil Ecology* 32(2):243-252.
- Sojka, R.E., J.A. Entry, W.J. Orts, D.W. Morishita, C.W. Ross and D.J. Horne. 2005. Synthetic- and bio-polymer use for runoff water quality management in irrigation agriculture. *Water Science & Technology* 51(3-4):107-115.
- Terashima I., S. Funayama and K. Sonoike. 1994. The site of photoinhibition in leaves of *Cucumis sativus* L. at low temperatures is photosystem I, not photosystem II. *Planta* 193:300-306.
- Tittonell, P.A., J. De Graziya A. Chiesa. 2002. Adición de polímeros super absorbentes en el medio de crecimiento para la producción de plántulas de pimiento (*Capsicum annuum* L.). *Horticultura Brasileira* 20(4):641-645.
- Tittonell, P.A., J. De Grazia y A. Chiesa. 2003. Emergencia y tasa de crecimiento inicial en plántulas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivados en sustratos adicionados con polímeros superabsorbentes. *Revista Ceres* 50(291):659-668.
- Torres, D., D. Rivero, N. Rodríguez, H. Yendis, D. Lobo, D. Gabriels y F. Zamora. 2008. Efectos de un acondicionador sintético (Terracottem®) y un acondicionador orgánico (Bocaschi) sobre la eficiencia del uso de agua en el cultivo del pimentón. *Agronomía Trop.* 58(3):277-287.
- University of Alaska. 2009. Cucumber production in greenhouses. Cooperative Extension Service. HGA-00434. En: <http://www.uaf.edu/ces/publications-db/catalog/anr/HGA-00434.pdf>.
- Valadez, A. 2001. La producción de hortalizas en México. Buenavista, Saltillo, Coahuila. P. 7. <http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort01/>

Ponencia_08.pdf

- Vieira, M.A., W.B.VazandA.A.F.Foerreira. 2005. Use of conditioning polymer in ornamental pepper seedlings production. *Acta horticulturae* 683:411-416.
- Villa, M., E.A. Catalán, M.A. Insunza, A.Román, M.L. González y J. Valdéz.2009. Cultivares y nutrición de chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) en invernadero de clima controlado. *Biotecnia* XI(2):13-19.
- Villarreal, H.J.2009.Estudio de los polímeros hidrogeles sintetizados a partir de acilamida con el biopolímero poli(3-hidroxibutirato) y el ácido acílico.Universidad de Oriente. Venezuela. Tesis de grado del Departamento de Química, de la Escuela de Ciencias.
- Xue, J.C. 1994. The soil factors causing physiological defect of vegetable cultivated in protected farmland and countermeasures. *SoilFertilizer* 1:4-9.