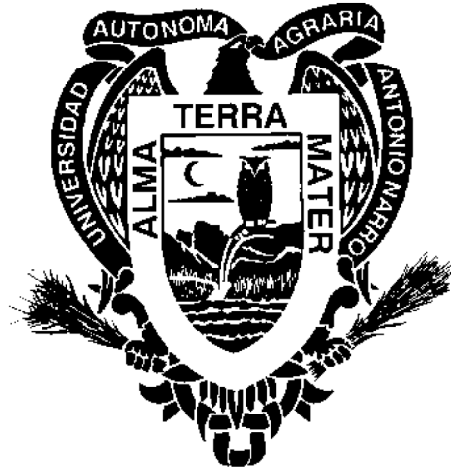


UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISION DE INGENIERIA



Requerimientos Hídricos del Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum*,
Mill.), bajo condiciones de Acolchado, Riego por Goteo e Invernadero.

Por:

JUVENTINO ROSALES ROSALES

TESIS

Presentada como requisito parcial para
obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio del 2010.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
DIVISION DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Requerimientos Hídricos del Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum*,
Mill.), bajo condiciones de Acolchado, Riego por Goteo e Invernadero.

Realizado por:

JUVENTINO ROSALES ROSALES

Que somete a Consideración del H. Jurado Examinador como
Requisito Parcial para Obtener el Título de:
INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION

Aprobado por:



Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho
PRESIDENTE DEL JURADO



M.C. Alfredo Sánchez López
SINODAL



M.C. Tomas Reyna Cepeda
SINODAL



Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Dr. Raul Rodríguez García
COORDINADOR DE LA DIVISION DE INGENIERIA

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México. Junio del 2010.

Coordinación de
Ingeniería

INDICE

Página

I. INTRODUCCION	1
1.1. OBJETIVO	4
II. REVISION DE LITERATURA.....	5
2.1. EL CULTIVO DE TOMATE.	5
2.1.1. Origen.	5
2.1.2. Clasificación Botánica.	5
2.1.3. Morfología del Cultivo.	6
2.1.3.1. Raíz.	6
2.1.3.2. Tallo.....	7
2.1.3.3. Hojas.	7
2.1.3.4. Flores.	8
2.1.3.5. Fruto.	9
2.1.3.6. Semillas.....	9
2.1.4. Importancia de Cultivo.	9
2.1.5. Calidad del Fruto.....	11
2.1.6. Requerimientos de Nutrientes.	12
2.1.7. Requerimientos de Temperatura.....	13
2.1.8. Requerimientos de Suelo.....	14
2.1.9. Requerimientos de Humedad.....	15

INDICE	Página
2.2. EL ACOLCHADO DE SUELO CON PELICULAS PLASTICAS.....	16
2.2.1. El Acolchado de Suelo en México.	16
2.2.2. Ventajas del Acolchado de Suelos.	19
2.2.2.1. Ventajas.	19
2.2.2.2. Limitantes.	21
2.2.3. Efectos del Acolchado.	22
2.2.3.1. Efecto sobre la textura.	22
2.2.3.2. Efecto sobre la humedad del suelo.	23
2.2.3.3. Efecto sobre la temperatura del suelo y del aire.	24
2.2.3.4. Efecto sobre la disponibilidad de nutrimentos.	25
2.2.4. Clases de Plásticos.	26
2.2.4.1. Plástico negro opaco.	27
2.2.4.2. Plástico blanco.	27
2.2.4.3. Plástico plata.....	28
2.2.4.4. Plástico blanco-negro.....	28
2.2.4.5. Plástico plata-negro.....	28
2.2.4.6. Plástico transparente.....	29
2.2.5. Características de los Plásticos.	29
2.2.5.1. Duración de los plásticos.....	29

INDICE	Página
2.2.5.2. Espesor de los plásticos.....	30
2.3. RIEGO POR GOTEO.	30
2.3.1. Antecedentes.	31
2.3.2. El Riego por Goteo en el Mundo.	31
2.3.3. Características del Riego por Goteo.	32
2.3.3.1. Características principales.	32
2.3.4. Ventajas del Riego por Goteo.	33
2.3.5. Inconvenientes del Riego por Goteo.	34
2.4. ESTIMACION DE REQUERIMIENTOS HIDRICOS DEL CULTIVO.	35
2.5. ALGUNOS TRABAJOS SOBRE ACOLCHADO Y RIEGO POR GOTEO.....	45
III. MATERIALES Y METODOS.	51
3.1. LUGAR Y FECHA DE ESTABLECIMIENTO.	51
3.2. LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL SITIO EXPERIMENTAL.	51
3.3. CLIMA.....	52
3.4. SUELO.....	52
3.5. MATERIALES Y EQUIPO REQUERIDO.....	53
3.5.1. Semillero.	53
3.5.2. Sitio Experimental.	53
3.6. ESTABLECIMIENTO DEL ENSAYO.....	54

INDICE

Página

3.7. CONSIDERACIONES ESTADISTICAS.	56
3.8. PARAMETROS DE OBSERVACION.....	57
IV. RESULTADOS.....	58
V. CONCLUSIONES.....	70
VI. BIBLIOGRAFIA.	72

INDICE DE CUADROS

Página

1. Nuevas designaciones de tamaños.....	12
2. Temperatura requerida por la semilla para germinar en el suelo.	14
3. Requerimientos Agua del Cultivo de Tomate.....	15
4. Modelos matemáticos para obtener el valor de Kc por diferentes métodos, (García- Benavides, 1979).....	42
5. Niveles de Abatimiento de Humedad Aprovechable para las etapas Fenológicas.	56
6. Resultados Obtenidos.	59
7. Valores obtenidos para la regresión entre la lámina consumida y rendimiento de tomate bajo condiciones de invernadero y riego por goteo.....	63
8. Valores de Kc obtenidos para el cultivo de tomate bajo condiciones de acolchado de suelos, riego por goteo en invernadero.....	65

INDICE DE GRAFICAS

Página

1. Lámina consumida por tratamiento	60
2. Rendimientos obtenidos por tratamiento	60
3. Eficiencia en uso del agua por tratamiento.....	61
4 Rendimiento delo cultivo de Tomate	62
5. Modelos de diferentes autores para el cálculo de Kc y su comportamiento, para el cultivo de Tomate.	64
6. Fluctuaciones de humedad por tratamiento	66
7. Calidades del fruto del tratamiento 1	67
8. Calidades del fruto del tratamiento 2.	67
9. Calidades del fruto del tratamiento 3.	68
10. Calidades del fruto del tratamiento 4.	68
11. Calidades del fruto del tratamiento 5.	69

I. INTRODUCCION

El agua es el recurso limitante de producción agrícola, ya que en más del 80 por ciento del territorio nacional, el riego es necesario para la producción de los cultivos.

Las características climáticas de México hacen del riego una práctica; indispensable en el 52 por ciento de la superficie nacional, necesaria en el 30 por ciento, conveniente en el 11 por ciento e innecesaria en el 7 por ciento. Por otra parte, las posibilidades de construir grandes obras hidráulicas son cada vez menores. En lo que respecta al agua subterránea, el 75 por ciento de los acuíferos del norte México están sujetos a veda.

La eficiencia global del uso del agua en México, solo alcanza el 45 por ciento, lo que indica, que más de la mitad del agua que se destina a la producción agrícola, se pierde sin ser aprovechada por los cultivos.

Estudios recientes, indican, que el usuario es el elemento, que más peso tiene en lo relativo a eficiencia de riego por el

desconocimiento; de las técnicas de riego, la falta de infraestructura y el bajo costo del agua.

En riego por goteo, la pérdida de agua se reduce considerablemente hasta que la eficiencia pasa a depender solamente de la uniformidad de aplicación y de la relación de evapotranspiración.

El coeficiente de uniformidad en goteo, por ser un sistema de riego más preciso, logra uniformidades comprendidas entre el 90 y 94 por ciento. Los valores normales de la relación de evapotranspiración, son iguales a 0.9 o mayores.

El acolchado de suelos con películas de plástico es una técnica que consiste, en cubrir parcial o totalmente la superficie del suelo. Algunos de los beneficios que se logran con esta práctica son; incremento en la temperatura del suelo, control de malezas, mayor disponibilidad de agua para el cultivo y reducción de la evaporación. Se logra un balance hídrico adecuado para una producción aceptable, tanto en rendimiento por unidad de superficie como en las características de la cosecha.

Por lo expuesto anteriormente se deduce la necesidad de plantear estrategias, que permitan hacer un uso racional y eficiente del agua.

1.1. OBJETIVO

Evaluar el efecto del Acolchado de Suelo y Riego por Goteo, en la eficiencia del uso del agua en el cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.), bajo condiciones de invernadero.

Incrementar el rendimiento y calidad del cultivo de Tomate mediante Acolchado, Riego por Goteo e Invernadero.

PALABRAS CLAVE

- 1. TOMATE**
- 2. ACOLCHADO DE SUELOS**
- 3. RIEGO POR GOTEO**
- 4. INVERNADERO**
- 5. REQUERIMIENTOS HIDRICOS**
- 6. RIEGO Y DRENAJE**
- 7. IRRIGACION**
- 8. EFICIENCIA DEL USO DE AGUA**
- 9. HORTALIZAS**

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. EL CULTIVO DE TOMATE.

2.1.1. Origen.

Algunos autores consideran que la forma primitiva de *Lycopersicon esculentum*, es la variedad botánica *cerasiforme* (“Tomate cereza”), originaria de la región de Perú-Ecuador donde se difundió a toda la América Tropical.

2.1.2. Clasificación Botánica.

La designación *Lycopersicon esculentum*, en la publicación de revisión del género que incluye el tomate, (Miller, 1940 citado por Cásseres, 1981), se ha considerado como correcta, ya que es la más usada y aceptada.

Dos especies fueron reconocidas: *Pimpinellifolium* y *Lycopersicon esculentum*, esta última con las siguientes variedades botánicas; *Comune*, Tomate común; *Grandifolium*, Tomate hoja de papa;

Validium, Tomate Erecto o arbusto; *Cerasiforme*, Tomate cereza; *Pyriforme*, Tomate pera. (Bailey, 1949 citado por Cásseres, 1981).

2.1.3. Morfología del Cultivo.

La planta de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) tiene las siguientes características:

2.1.3.1. Raíz.

La planta originaria de semilla presenta una raíz principal que crece unos 2.5 cm diarios hasta llegar a los 60 cm de profundidad, (Folquer, 1976). Cuando corresponde a plantas que fueron trasplantadas, debido a las lesiones sufridas, se presenta formando un denso sistema de raíces adventicias, extendidas lateralmente, (López, 1976); este caso presenta el sistema radical que se desarrolla más en anchura que en profundidad.

El 75 por ciento de las raíces se encuentran en un espacio de 25 cm de diámetro por 45 cm de profundidad, (Folquer, 1976).

2.1.3.2. Tallo.

En el primer período de desarrollo se mantiene erguido hasta que el propio peso lo recuesta sobre el suelo, y se vuelve recurrente. La longitud es de 50 cm en cultivares enanos y llega a 2.5 m en los cultivos que son de crecimiento “indeterminado”.

La superficie del tallo es angulosa, con pelos agudos y otros glandulares capitados cuya esencia confiere su aroma característico a la planta.

Hasta la primera inflorescencia la ramificación es monopodial. En la primera inflorescencia se termina el eje primario, que es desplazado lateralmente por el brote que corresponde a la axila de la hoja siguiente que viene a ocupar la dirección de dicho eje. Esto se repite con cada nueva inflorescencia dando como resultado la ramificación “simpodial”, (Folquer, 1976).

2.1.3.3. Hojas.

Las dos primeras hojas verdaderas son simples, luego aparecen las compuestas (sectadas), hasta llegar a las típicas

imparipinadas que tienen de 7 a 9 folículos. Su longitud es 10 a 40 cm, (Folquer, 1976).

La disposición de las hojas sobre los tallos es alterna, (López, 1976). Las hojas son compuestas, formadas por 7 ó 9 hojas sencillas.

2.1.3.4. Flores.

Flor de pedúnculo corto, cáliz gamosépalo con 5 ó 10 lóbulos. El androceo presenta 5 ó más estambres unidos a la corola, con anteras conniventes. El gineceo presenta de 2 a 30 carpelos que originan los lóculos del fruto, es constituido por pistilo de ovario supero con estilo liso y estigma achatado, se desplaza a través del tubo formado por las anteras, (Folquer, 1976).

Las inflorescencias pueden ser en; racimos simples, racimos bifurcados ó ramificados, (López, 1976). La flor puede ser presentada en inflorescencias de 1 a 50 flores, (Folquer, 1976).

2.1.3.5. Fruto.

El fruto es una baya carnosa y pubescente cuando joven, pero glabra y brillante cuando madura, de un color rojo ó amarillo, globoso ó deprimido en cada extremo, liso surcado, de 2 a 15 cm de diámetro, (Folquer, 1976). El fruto se desarrolla lento al principio, después rápidamente para alcanzar el volumen máximo, (López, 1976).

2.1.3.6. Semillas.

Las semillas son numerosas y reniformes, de color café de 3 a 5 mm de largo y de 2 a 4 mm de ancho, pequeña, velluda y de germinación superficial, (Cásseres, 1981). La semilla de tomate, en condiciones normales conserva su capacidad de germinación durante más de 4 años, no tiene período de dormición por lo que puede germinar poco después de ser cosechada, (Folquer, 1976).

2.1.4. Importancia de Cultivo.

El cultivo de tomate tiene una gran importancia socioeconómica, La Confederación Nacional de Productores de Hortalizas, a través de su boletín anual informativo de 1989,

proporciona los siguientes datos; la producción nacional hortofrutícola fue de 8'500,000 ton, con un valor de 2.5 billones de viejos pesos, correspondiendo al cultivo de tomate 1'586,200 ton, con un valor de 0.565 billones de viejos pesos, el 22.6 por ciento de la producción nacional hortofrutícola. El cultivo de tomate proporciona 271,200 empleos; 214,248 empleos directos y 56,952 empleos indirectos.

El tomate es un cultivo de alto valor comercial y una enorme importancia mundial, por la aceptación general del fruto en la alimentación y su utilización en forma variada, además de sus excelentes cualidades organolépticas, y un alto valor nutricional y contenido de licopeno y vitamina C, demostrado que están inversamente relacionados con el desarrollo de ciertos tipos de cánceres.

La participación del cultivo de tomate en la actividad hortofrutícola con fines de exportación es de un total de 1'500,000 ton corresponden al tomate 316,000 ton, el 21.06 por ciento de la producción nacional con fines de exportación, (CNPH, 1989).

La superficie cultivada de tomate en México, ha sido variable a través del tiempo. En 1980 la superficie fue de 88, 286 hectáreas, en

1990 la superficie fue de 105, 124 hectáreas, aportando 1.5 y 2.2 millones de toneladas. Posteriormente la superficie tiende a decrecer, en 1997 fue de 102, 872 hectáreas, en 1998 fue de 79, 140 hectáreas y en 1999 fue de 71, 900 hectáreas, manteniendo el mismo nivel de producción de 2.3 millones de toneladas, lo cual se debió principalmente a mejoras en los sistemas de riego, introducción de la técnica de fertirrigación y uso de híbridos con mayor potencial productivo, también por el uso de plásticos agrícolas.

2.1.5. Calidad del Fruto.

Se efectúa la cosecha según lo lejos del mercado. Se puede cosechar los tomates verdes y su maduración se realiza en una semana. Sin embargo para que un tomate sea capaz de enrojecer, debe haber perdido sus pelos glandulares, además de presentar un aspecto liso y brillante.

El tomate de exportación se cosecha en el estado verde sazón, o sea cuando a llegado su desarrollo máximo, (Cásseres, 1981). Generalmente se empaca de acuerdo con normas establecidas en el país comprador. Por ejemplo el tomate que se exporta a los Estados Unidos lleva un número de tomates basado en la cantidad que contiene una

caja de madera nueva y liviana en la cual se acomodan de 2 a 4 capas de frutos, (Cásseres, 1981).

Cuadro 1. Nuevas designaciones de tamaños.

Nuevas Designaciones y Tamaños.			
Calidad	Medida	No. Por Caja	Clasificación
1	De 48 a 54 mm	7 X 7	Extra chico
2	De 54 a 58 mm	7 X 7	Chico
3	De 58 a 64 mm	6 X 7	Mediano
4	De 64 a 73 mm	6 X 7	Grande
5	De 73 a 88 mm	5 X 6 ó 5 X 5	Extra grande
6	De 88 mm en adelante	4 X 5	Máximo grande

2.1.6. Requerimientos de Nutrientes.

La fertilización adecuada es muy importante, para una producción óptima de tomates, deben existir nutrientes suficientes para

la planta. El suelo provee naturalmente algunos de ellos, pero si no los hay, entonces deberán ser agregados, (Cásseres, 1981), por lo que es conveniente que el agricultor tenga su propia experiencia, puesto que cada dato y cada consejo sólo tiene un valor indicativo, únicamente conociendo la parcela y experimentando adecuadamente, puede lograrse justo equilibrio entre las exigencias nutritivas de los cultivos, en todo ello debe saberse con claridad que el nitrógeno es el elemento que determina el vigor vegetativo de la planta, el anhídrido fosfórico influye sobre la abundancia de la fructificación y el potasio mejora la calidad del fruto haciéndolo más azucarado y sabroso, (López, 1976).

2.1.7. Requerimientos de Temperatura.

El tomate, dado que es una planta de origen tropical, precisa temperaturas sensiblemente altas para asegurar el ciclo total de su vegetación y madurar a todos los frutos completamente, el ciclo estival debe ser largo relativamente, (López, 1976). El crecimiento máximo de la planta (producción de materia seca) es obtenida a 23° C de temperatura, (Folquer, 1976)

Cuadro 2. Temperatura requerida por la semilla para germinar en el suelo.

Mínima	Rango Optimo	Optima	Maxima
10° C	16-29° C	29° C	35° C

El calor y el viento seco provocan la caída de la flor. El tomate prospera en climas cálidos y soleados, no tolera fríos ni heladas, requiere de un período mayor de 110 días con temperaturas favorables, (Cásseres, 1981).

2.1.8. Requerimientos de Suelo.

El pH del suelo debe estar entre 5.5 y 6.8; el suelo debe ser profundo con buena aireación y drenaje. El tomate puede producirse en muchos tipos de suelos, pero los suelos arenosos son más apropiados para cosechas tempranas, mientras que los migajones en general favorecen cosechas tardías totales más altas, (Cásseres, 1981). En los suelos pesados las plantas pueden sufrir por exceso de humedad o intensa sequía, (López, 1976).

2.1.9. Requerimientos de Humedad.

Al cultivo de tomate se le puede aplicar el agua usando varios métodos de riego, pero los deseables son los que mantienen el follaje seco, pues el agua sobre el follaje ayuda al desarrollo de los agentes patógenos, (Cásseres, 1981).

Bajo temperatura caliente y seca, puede consumir una lámina de 1 cm de agua por día. En temperatura fría, una lámina de 0.3 cm de agua puede ser usada para la evapotranspiración por día en el campo.

Cuadro 3. Requerimientos Agua del Cultivo de Tomate.

Requerimientos de agua de riego	
Variable	Cultivo de Tomate; F. Tradicional
Lámina de Riego mm.	400 - 600
Eficiencia uso del agua Kg/m ³	10 - 12
Coeficiente de desarrollo Kc para;	
inicio,	0.4 - 0.5,
desarrollo,	0.7 - 0.8,
mediados de recolección	1.05 - 1.25,
y finales de recolección.	0.8 - 0.9.

2.2. EL ACOLCHADO DE SUELO CON PELICULAS PLASTICAS.

2.2.1. El Acolchado de Suelo en México.

En nuestro país, la productividad no ha mantenido incrementos al paralelo con el crecimiento de la población, ni a la de sus demandas, lo que ha originado un déficit alimentario que se soluciona a corto plazo gracias a la importación de productos agropecuarios básicos. Ante esta problemática, es necesario buscar alternativas para apoyar las ya propuestas y mantener la producción tanto en las zonas actualmente en operación como en aquellas que lo son potencialmente si se aplican los adelantos tecnológicos generados y válidos, (PRONAP-SARH, 1988).

El acolchado de suelos, técnica que se ha usado, desde hace mucho tiempo por los agricultores. Al inicio consistió en la colocación sobre el suelo, de residuos orgánicos en descomposición (paja, hierbas, cañas, hojas secas, etc.), (Ibarra y Rodríguez, 1986). La finalidad de colocar estos materiales es; reducir la evaporación en el suelo, controlar la presencia de malas hierbas y en varios cultivos evitar que el fruto

permanezca en contacto con el suelo y su humedad, (PRONAPA-SARH, 1988).

Para enfrentar estos problemas, la agricultura dispone del plástico, denominado polietileno para acolchado o mulch, con el cual se cubren las camas como capa protectora. Esta capa actúa como barrera de separación entre el suelo y el ambiente para amortiguar los efectos negativos.

El acolchado de suelos es una técnica empleada para proteger los cultivos y el suelo de la acción de los agentes atmosféricos.

Las técnicas de agroplásticultura en México, han sido implementadas en aquellas áreas con problemas de escasez de agua, optimización de suelo y control de clima, Reyes, 1992). En el año de 1983 se inicio en México su uso por PEMEX y CIQA, (Hernández, 1984), y ha tenido sus frutos al ser aceptadas estas técnicas por los agricultores.

Del total de la superficie que utiliza plásticos para técnicas de; acolchado, microaspersión y riego por goteo en frutales y hortalizas, el 80 por ciento busca la optimización del agua y en el 20

por ciento restante de la superficie, se necesita controlar el clima con el uso de mayas y películas de cubierta, (Reyes, 1992)

El uso de los plásticos es basado en dos aspectos técnicos principales: disponibilidad de agua y manejo del clima, (Reyes, 1992), así encontramos que en Baja California es importante el riego por goteo y el acolchado de suelos, en hortalizas por la falta de agua, por otra parte se usa también en alta escala los microtúneles para luchar contra las heladas y todo esto en cultivo de tomate.

En México, durante 1990 se reportaron 3,982 ha., con acolchado de suelos, con un consumo de 1,393 toneladas de plástico, (Reyes, 1992).

El futuro de los agroplásticos es muy bueno, porque el potencial de crecimiento en el uso de las tecnologías de agroplásticos es de más del 95 por ciento en México. Actualmente de los 6.3 millones de hectáreas de riego en donde se puede usar cualquiera de las técnicas de plasticultura.

La región que utiliza en México la mayor área de acolchado de suelos es la del Pacífico Norte con cultivos hortícolas, donde sobresalen

el tomate, el melón, la berenjena, la sandía, la calabacita en sus diferentes tipos, los chiles y los pepinos, entre otros; en esta región se estima una superficie de 18,000 a 25,000 hectáreas, seguido por la región del bajío en los estados de Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Colima, Aguascalientes, Zacatecas y Morelos, entre otros. La superficie total de acolchado en México en 2008 se estima de 75,000 a 80,000 hectáreas, principalmente en los cultivos hortícolas.

2.2.2. Ventajas del Acolchado de Suelos.

Actualmente, un gran interés respecto al arropado con plástico, es su uso para adelantar el desarrollo, madurez y la eficiencia del uso del agua de los cultivos, (Ibarra y Rodríguez, 1986)

2.2.2.1. Ventajas.

- 1). Reduce la evaporación del agua del suelo. Debido a que el material plástico es impermeable a los líquidos, impide la evaporación, quedando disponible el agua únicamente para el cultivo.

- 2). Aumento en la temperatura del suelo. En el día el plástico transmite al suelo la energía calorífica recibida del sol, produciendo el

efecto invernadero. Durante la noche, el plástico retiene el paso de las radiaciones IR (energía calorífica generada por el sol y las plantas) y mantiene durante la noche, temperaturas para las raíces y plantas más altas que las del medio ambiente, sirviendo como un medio de defensa para la planta contra las bajas temperaturas.

3). Control de malas hierbas o malezas. Gracias a la utilización de láminas de plástico se frena el desarrollo de malas hierbas, debido a las temperaturas presentes debajo del plástico y en el caso de plásticos opacos por lo imposible de realizar la fotosíntesis.

4). Mejoramiento de la estructura del suelo. La acción de raíces sobre el suelo que las rodea y el aumento de materia orgánica por la cantidad de raíces al finalizar el ciclo de cultivo tienen influencia en una mejoría de la estructura del suelo superficial.

5). Conserva la fertilidad del suelo. La temperatura y humedad del suelo al ser incrementadas debido al acolchado de suelo, favorecen la nitrificación y por tanto, la absorción del nitrógeno. Al estar protegido el suelo, las lluvias no lo lavan, los fertilizantes no son removidos y como consecuencia existe una gran disponibilidad de nitrógeno para la planta.

6). Calidad de los frutos. El plástico actúa como barrera de separación entre el suelo y la parte aérea de la planta, esto evita que los frutos estén en contacto con el terreno, lo que ayuda a conservar su calidad.

7). Adelanto de cosecha. El suelo acolchado proporciona a la planta, mejores condiciones para su desarrollo, que se traduce en la presentación temprana de frutos adecuados para cosecharse.

8). Reflexión de la luz. Los plásticos plata y blanco hacia el sol, reflejan la luz solar, proporcionando a las hojas luz en el anverso y reverso, con lo cual se estimula la fotosíntesis, se mejora la calidad de los frutos, se obtienen cosechas más tempranas y este efecto tiene gran influencia contra la presencia de mosca blanca y otros áfidos.

2.2.2.2. Limitantes.

- 1). La operación manual requiere abundante mano de obra.
- 2). El costo del material condiciona que solo se efectúe en cultivos altamente remunerativos.

3). Necesidad de conocimientos técnicos para la aplicación de esta práctica, para no originar problemas de exceso de humedad, (PRONAPA-SARH, 1988).

2.2.3. Efectos del Acolchado.

2.2.3.1. Efecto sobre la textura.

Las condiciones que contribuyen a la formación de la estructura del suelo son; la sequía, la humedad, las heladas y aumento de temperatura y las combinaciones de estas. Las raíces que penetran en el terreno contribuyen a su estructuración, porque toman parte del agua que ahí se encuentra, lo que provoca su deshidratación y favorece para una mejor penetración de agua, (Chen y Katan, 1980). Pocos trabajos de investigación se han realizado para estudiar a detalle el efecto del arropado plástico sobre la estructura del suelo, pero observaciones realizadas han mostrado que este mantiene la estructura del terreno en estado igual al que se encontraba cuando se colocó el plástico, y esto es asociado con un buen desarrollo de las raíces y plantas, (Balderi, 1979).

2.2.3.2. Efecto sobre la humedad del suelo.

El contenido de agua en el suelo altera y modifica el desarrollo de los cultivos, porque es esencial para cada reacción biológica de las plantas, desde la germinación hasta senescencia, (PRONAPA-SARH, 1988).

El agua es componente estructural de proteínas y ácidos nucleídos en las células vegetales y regula la temperatura interna de las plantas mediante el proceso de transpiración, (Salisbury y Ross, 1978).

Al ser la cubierta de plástico impermeable a los líquidos y al vapor de agua, impiden la evaporación de agua desde el suelo, y consecuentemente este elemento sigue disponible para las plantas cultivadas, (Lal, 1974). Bajo el plástico la cantidad de agua es generalmente superior a la del suelo desnudo, (Ibarra y Rodríguez, 1986). De igual manera el plástico negro opaco no deja desarrollar malezas en el terreno, debido a que se evita el paso de luz, impidiendo con esto la realización de la fotosíntesis y reduce así el consumo de agua por esas plantas resultando en un ahorro de este insumo, que beneficia notablemente la productividad del cultivo, (PRONAPA-SARH, 1988).

Las ventajas mencionadas se logran al controlar parte de los factores que ocasionan pérdidas de agua en el suelo, específicamente al reducir la evaporación del agua desde la superficie del suelo a la atmósfera.

Al efectuar adecuadamente el suministro de agua de riego y explotar las características del acolchado respecto a la humedad del suelo, se mantiene un régimen hídrico constante, muy cercano al óptimo, (Ibarra y Rodríguez, 1986).

2.2.3.3. Efecto sobre la temperatura del suelo y del aire.

La temperatura del suelo, es un factor principal que se ve modificado, por las acciones directas del arropado plástico, influyendo directamente en diversas alteraciones del medio ambiente en que se desarrollan los cultivos, ya que de la energía almacenada como calor en el suelo, dependerán la velocidad de los procesos fisiológicos más importantes para la planta como son; absorción del agua, translocación de nutrientes, respiración de la planta y producción de sustancias hormonales de crecimiento y desarrollo, (Salisbury y Ross, 1978).

El reflejo (albedo) de radiación provocada por el plástico negro opaco, incrementa la temperatura del aire hasta la altura de 25

cm sobre la superficie del suelo, durante las horas más calientes del día (13:00 a 18:00 hrs), este incremento en la temperatura del aire fue entre 5°C y 7°C, sobre la superficie cubierta con plástico negro opaco, a diferencia de la superficie del suelo desnudo, (Maeda, 1986). Este incremento en la temperatura del aire puede incrementar la fotosíntesis del cultivo debido a que el estrato inferior de hojas de las plantas reciben una mayor radiación debido al reflejo ocasionado por el plástico, permitiendo de esta manera incrementos en la productividad, (Katan, 1981).

2.2.3.4. Efecto sobre la disponibilidad de nutrimentos.

En general, el incremento en la disponibilidad de elementos nutrimentales, en la solución del suelo, se debe a la mayor temperatura en el suelo, que provoca una mayor velocidad de reacción de los elementos químicos, lo cual repercute en un mejor desarrollo y crecimiento de las plantas bajo el acolchado plástico, aún en condiciones de concentración de sales relativamente alta.

La temperatura, la humedad y la naturaleza físico-química del suelo, influye decididamente en sentido positivo o negativo, sobre la nitrificación, (Ibarra y Rodríguez, 1986). Un suelo protegido por

plástico, no está sujeto a la erosión, así los elementos nutrientes no son lavados, (Hernández, 1984).

2.2.4. Clases de Plásticos.

Los plásticos utilizados para acolchar pertenecen al grupo de los termoplásticos. Se producen en uno o dos colores para control de la temperatura del suelo, con y sin barrera para evitar fuga de biosidas y con paquetes de estabilización que garantizan duraciones de más de diez meses en condiciones extremas de radiación, temperaturas y aplicación de insecticidas. Los colores comerciales son; negro opaco, blanco, blanco-negro, plata-negro, plata y transparente.

En México, el uso de los plásticos para la agricultura es una actividad relativamente nueva pero que crece rápidamente. Los indicadores de la industria mexicana del plástico señalan que, el consumo de productos plásticos en la agricultura ha incrementado al pasar de 326 000 toneladas en 1995 a 641 000 toneladas en 2007, de las cuales el 80 por ciento corresponden a plásticos que se utilizan en el suelo.

Los más utilizados han sido los plásticos negros, pero se han descubierto grandes beneficios adicionales con el desarrollo de los polietilenos plata, plata-negro y blanco negro, que además de bloquear el paso de luz, producen también reflexión, con lo cual aportan luz al reverso de las hojas, estimulando la fotosíntesis y por lo tanto la precocidad y el tamaño de los frutos.

2.2.4.1. Plástico negro opaco.

Durante el día, el plástico permite la absorción de energía en aproximadamente un 50 por ciento; un mismo valor de energía es reflejada, por lo que el calor en torno al follaje de la planta es apreciable, redundando en un mayor desarrollo de la misma, (Ibarra y Rodríguez, 1986).

2.2.4.2. Plástico blanco.

Estas películas transmiten al suelo del 40 por ciento al 70 por ciento de la luz recibida, por lo tanto, tiene la propiedad de calentar el suelo más que el negro y menos que el transparente.

2.2.4.3. Plástico plata.

Los acolchados plata, presentan una gran reflexión fotolumínica hacia el follaje de la planta, incrementando el proceso de fotosíntesis y ahuyentando a los insectos. La transmisión de luz hacia el suelo es menor a la del color blanco.

2.2.4.4. Plástico blanco-negro.

Tiene la cualidad de mantener el suelo fresco, tiene la propiedad de brindar una excelente reflexión de luz fotosintética por el lado blanco e impide el paso de la luz por el lado negro, evitando el desarrollo de malezas por debajo del plástico.

2.2.4.5. Plástico plata-negro.

Esta película tiene gran reflexión fotosintética hacia el follaje de la planta, incrementando el proceso de fotosíntesis y ahuyentando a los insectos. La transmisión de luz al suelo es mínima, por lo tanto, evita el calentamiento excesivo del suelo y el desarrollo de las malezas.

2.2.4.6. Plástico transparente.

El 80 por ciento de la radiación es transmitida al suelo. En la noche, la permeabilidad del plástico a la radiación de longitud de onda infrarroja, significa que la pérdida de energía térmica de radiación terrestre sea considerable, (Ibarra y Rodríguez, 1986).

2.2.5. Características de los Plásticos.

2.2.5.1. Duración de los plásticos.

Todos los plásticos son eventualmente degradados por su exposición a la radiación ultravioleta. La velocidad de este proceso varía con cada plástico. En si la duración de los plásticos para acolchado depende, principalmente de la latitud y de la estación del crecimiento del cultivo a que sea expuesto, (Ibarra y Rodríguez, 1986).

En la actualidad los plásticos se producen con una duración variable, desde tres meses para plásticos de solarización hasta cerca de 24 meses de acuerdo a la duración del cultivo, misma duración que casi se puede duplicar bajo sistema de invernadero.

2.2.5.2. Espesor de los plásticos.

Los plásticos son producidos en rango de espesor normalmente dado en micrones, donde un micrón es igual a 0.001 milímetros. Algunos estudios sugieren que un espesor de 38 micrones, tanto en plástico transparente como en plástico negro, es suficiente para cubrir un ciclo vegetativo hasta de 7 meses, (Quezada, 1991).

2.3. RIEGO POR GOTEO.

El riego por goteo, es el sistema que para lograr mantener el agua en la zona radicular, en condiciones más favorables para la planta, aplica el agua gota a gota. De esta forma, el agua es aplicada por medio de conductos cerrados, desde el punto de toma hasta la misma planta, a la que se aplica por medio de dispositivos que se conocen como; goteros o emisores.

2.3.1. Antecedentes.

Se inició su ensayo, en Alemania en 1899 y en U.S.A., en 1918, mediante tuberías porosas o perforadas enterradas. El sistema resultó caro, por el material que se empleó, presentó problemas de obstrucción, por las raíces que terminaban tapando las salidas.

Puede afirmarse prácticamente que el riego por goteo, tal como lo conocemos en la actualidad, empezó en Inglaterra, después de la segunda guerra mundial, en invernaderos semilleros y jardinería, utilizándose como emisores microtubos. Sin embargo es en la década de los sesenta, tras el perfeccionamiento de las técnicas de extrusión e inyección de los plásticos, y en el país de Israel se inicia su expansión.

2.3.2. El Riego por Goteo en el Mundo.

Después de la utilización comercial en Israel, se ha expandido rápidamente por todo el mundo. En 1974 había 85,000 has., de riego por goteo instaladas en los cinco continentes, de las que 42,000 has., estaban en Estados Unidos, 7,500 has., en México, 12,000 has., en Australia, 15,000 has., en Sudamérica y 7,000 has., en Israel.

La implantación en muchos países esta sujeta a la reducción de los costos, mediante el descubrimiento de materiales más baratos de los que se utilizan hoy en día, o al empleo de productos autóctonos.

2.3.3. Características del Riego por Goteo.

El riego por goteo supone una mejora tecnológica importante, que contribuirá, por tanto, a una mayor productividad. Contempla un cambio dentro de los sistemas de aplicación de agua al suelo que incidirá en las prácticas culturales como una nueva técnica de producción agrícola.

2.3.3.1. Características principales.

1). El agua se aplica al suelo desde una fuente que puede considerarse puntual, se infiltra y se mueve en el terreno en dirección vertical y horizontal.

2). No se moja todo el suelo, sino sólo parte del mismo, que varía con las características del suelo, el caudal del gotero y tiempo de aplicación. En esta parte húmeda, la planta concentrara sus raíces para alimentarse.

3). Al existir zonas secas no exploradas por las raíces y zonas húmedas, puede considerarse en cierto modo un cultivo en fajas o surcos, pero con un sistema radical inferior.

4). El mantener un nivel óptimo de humedad en el suelo implica una baja tensión en el mismo. El nivel de humedad que se mantiene es inferior a la capacidad de campo, esto es muy difícil obtener con otros sistemas de riego.

2.3.4. Ventajas del Riego por Goteo.

Ahorro importante de agua, mano de obra, abonos y productos fitosanitarios. Son normales los ahorros de agua, del 50 por ciento respecto a los sistemas convencionales.

Posibilidad de regar cualquier tipo de terreno, por accidentados o pobres que sean. La pendiente en el terreno no es un obstáculo a este tipo de riego, por la regulación de caudales que puede conseguirse.

Utilización de agua de baja calidad, agua que según normas internacionales de calidad. Son peligrosas o no válidas para el riego, se están utilizando sin ningún problema en cultivos hortícolas.

Permite realizar, simultáneamente al riego, otras labores culturales, pues al haber zonas secas, no existe obstáculo para desplazarse sobre el terreno.

2.3.5. Inconvenientes del Riego por Goteo.

Es un sistema caro, para su instalación se tiene una limitante de tipo económico en su aplicación de los cultivos.

En zonas frías y con cultivos sensibles a las heladas, el riego por goteo no protege contra las mismas, por lo que su uso debe descartarse.

En zonas áridas en que no existe posibilidad de lavado, el uso sistemático y durante varios años, de aguas de mala calidad puede arruinar los terrenos de cultivo sin no se riega en forma adecuada.

Obstrucción de los goteros por las partículas que arrastra el agua, y que en ocasiones, puede provocar dañar la instalación y el cultivo.

2.4. ESTIMACION DE REQUERIMIENTOS HIDRICOS DEL CULTIVO.

La inversión en un sistema de riego avanzado y costoso como el sistema de riego por goteo, debe de ir acompañado de todo su potencialidad, para mejorar la producción de los cultivos y hacer un uso eficiente del agua de riego. Determinar cuánto y cuando regar, son dos de los aspectos críticos en el manejo de los riegos, estos aspectos se estudian en la programación de riegos, la alta frecuencia y la localización en el riego por goteo, difieren en su programación de los otros sistemas. Mientras que en el riego por aspersión o riego por superficie, la infiltración del agua en el suelo ocurre en un tiempo anterior y corto en relación al período de extracción, en el riego por goteo; infiltración, distribución y extracción del agua son procesos prácticamente simultáneos. Esta característica es la diferencia básica del sistema de riego por goteo, lo cual ocasiona que su programación sea mediante un balance de agua y el papel del suelo como un almacén

de agua, como lo es para los sistemas de riego por superficie, pierde importancia para la programación de riegos, mientras que es clave la determinación precisa de las necesidades hídricas del cultivo.

El procedimiento más extendido para programar los riegos, se basa en realizar un balance de agua en volumen de suelo explorado por las raíces, considerando a éste, como un depósito del que el cultivo extrae el agua que la atmósfera le demanda.. Ese depósito tiene una capacidad de Humedad Aprovechable (H.A), donde los límites son Capacidad de Campo (C.C) y Punto de Marchitez Permanente (P.M.P). Estos son una función de la textura del suelo y es también una función de la profundidad radicular efectiva.

En riego por superficie se calculan los consumos día a día, hasta que su valor acumulado alcanza el abatimiento permitido. La humedad aprovechable para el caso de riego por goteo, esta determinada en base en el déficit hídrico permitido (abatimiento), sin que ocasione reducción en la producción por efecto de stress hídrico. Este abatimiento se establece como una fracción de la humedad aprovechable.

$$H.D = H.A * B = B(CC - PMP) * Z \dots\dots\dots 1$$

El balance de agua se impone que el cambio del contenido de humedad del suelo (ΔW), debe de ser igual a la diferencia entre las entradas; riego, lluvia (LL), ascenso capilar (AC) y las salidas; evapotranspiración (ET), drenaje (D), escurrimiento (S). La ecuación de balance de agua, puede expresarse de la siguiente forma.

$$\Delta W = LL + (R - D - S) + AC - ET \dots\dots\dots 2$$

Si se considera que las pérdidas por escurrimiento y drenaje, están asociadas al riego por superficie, la expresión 2 se convierte en:

$$\Delta W = LLe + NRN + AC - ET \dots\dots\dots 3$$

Donde NRN son las necesidades de riego netas Y LLe es la precipitación efectiva, que para nuestro caso también se puede eliminar porque las aportaciones por lluvia en invernadero son mínimas.

$$\Delta W = NRN + AC - ET \dots\dots\dots 4$$

Debido a que el interés de nuestro estudio se enfoca en las necesidades hídricas del cultivo, analizaremos cada uno de los componentes de la fórmula de balance de agua.

Evapotranspiración (ET) es la suma de dos procesos; Transpiración y Evaporación desde la superficie del suelo. Dependen de parámetros climáticos, del cultivo y del suelo. Cuando esta se reduce hasta un nivel mínimo, el cultivo sufre de stress hídrico.

La ET correspondiente al cultivo, cuando el suministro es limitado (ETc), se estima en base a parámetros del propio cultivo (Coeficiente de Cultivo Kc) y a la demanda evaporativa, función de clima, que se cuantifica mediante el término evapotranspiración de Referencia (ETo), según la define, (Doorembos y Pruit, 1977).

$$ETc = Kc * ETo \dots\dots\dots 5$$

Donde ETo es la Evapotranspiración de Referencia.

La ETo es función de variables climáticas (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento), para su estimación se usan, expresiones empíricas basadas en su relación con todas o algunas de estas variables, o bien con relación a la evaporación desde la superficie libre de agua (Eo). Las expresiones empíricas más usadas para estimar ETo, son mencionadas por, (Doorembos y Pruit, 1977).

Todas estas derivaciones empíricas que requieren datos climáticos, que usualmente se toman de estaciones que están alejadas del campo, donde se necesitan estimar la ETo, en ocasiones la elevada variabilidad especialmente en los valores de ETo, ocasionan errores importantes. Por eso se recomienda, la utilización del tanque evaporímetro clase A, este método se basa en que ETo y Eo responden a la demanda evaporativa de forma similar.

$$ETi = Kp * Eo \dots\dots\dots 6$$

El coeficiente de tanque (Kp), es función de la localización del tanque y su estimación requiere, un conocimiento general del régimen de viento y de humedad relativa. Valores apropiados de Kp pueden obtenerse de Doorembos y Pruitt, si se utiliza un tanque clase A y para cultivos en condiciones de cielo abierto.

Se sabe que la ETc, en condiciones de cultivo protegido (Invernadero de Plástico), es menor que la ETc en condiciones de cultivo a cielo abierto, debido fundamentalmente a la reducción de los niveles de radiación, la velocidad del viento y el aumento de la humedad relativa. En estas condiciones ETo, se puede estimar utilizando

expresiones empíricas desarrolladas en Francia, entre las que destacan la de, (Mermier y Cols, 1970).

$$ETo(inv) = 0.67R(inv) - 0.17 \dots\dots\dots 7$$

Donde $R(inv)$ es la radiación en el interior del invernadero expresada en mm/día.

Si no se dispone de datos de $R(inv)$, se puede estimar en función de la radiación solar en el exterior:

$$R(inv) = F * Re \dots\dots\dots 8$$

Donde F es un factor de reducción que depende del tipo de cubierta.

En ensayos realizados en invernaderos en Almería, (Castilla, 1986), se encontró que esta expresión sobreestima sensiblemente la $ETo(inv)$ y sugiere el uso de un tanque evaporímetro clase A con un coeficiente $Kp=1$.

Coeficiente de cultivo (Kc). Los factores que determinan los valores del coeficiente del cultivo son: las características del cultivo, la fecha de plantación o siembra, la duración y ritmo de su período de

desarrollo, así como algunas condiciones climáticas, especialmente la frecuencia de lluvias o del riego en las primeras fases de crecimiento.

La función del coeficiente de cultivo, para cultivos anuales puede definirse a partir del valor de K_c en el período que comprende desde siembra o plantación hasta el inicio del crecimiento, unido a los valores de K_c cuando el cultivo se encuentra en su máximo desarrollo y próximo de cosecha. Estos tres valores definen la función de K_c , si se conoce la fecha en que el cultivo empieza su crecimiento, alcanza su máximo desarrollo e inicia su maduración, Manual 24 de la FAO.

Los valores iniciales de K_c dependen fundamentalmente de la evaporación del suelo y es función fundamental de la humedad o la frecuencia de riego, (Doorembos y Pruitt, 1977), proponen un método fácil para estimar el K_c , para sistemas de riego por superficie. En el caso de riego por goteo, se puede suponer que K_c sea inferior que el estimado para riego por superficie, al disminuir el área mojada. En cultivos anuales, ésta diferencia debe ser pequeña, dado que la menor superficie mojada, se compensa con una mayor frecuencia de riego y debe considerarse despreciable en relación a la ET_c estacional, (Doorembos y Pruitt, 1977).

La evapotranspiración real o estacional, definida como la cantidad de agua perdida por el complejo suelo-planta, en las condiciones meteorológicas, edáficas y biológicas existentes. Matemáticamente podemos expresarlo de la siguiente manera:

$$ET_c = F(ET * K_c * R) \dots\dots\dots 9$$

Donde R es un factor que depende del contenido de humedad.

Sobre el coeficiente K_c , existen varios métodos para su determinación, los cuales se ilustran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Modelos matemáticos para obtener el valor de K_c por diferentes métodos, (García- Benavides, 1979).

METODO	MODELO
Hargreaves	$K_c = - 0.01335 + 0.4099C - 0.000402C^2$
Palacios	$K_c = 0.1303 + 0.01092C + 0.0000168C^2 - 0.00000096C^3$
Grassi	$K_c = 0.04053 + 0.0308C - 0.000237C^2$
Demmead y Shaw	$K_c = 0.3469 - 0.00298C + 0.00038C^2 + 0.000000355C^3$

Donde C es la edad del cultivo expresada en por ciento.

En trabajos realizados en Chapingo, México, para maíz en condiciones de secano, se estimó el R^2 para los distintos modelos mencionados en el cuadro 4, resultando el método de Grassi con un valor más alto de $R^2 = 0.996$, esto se debe de probar para cada una de las regiones, donde se quiera estimar requerimientos hídricos del cultivo, para poder determinar el mejor modelo que representa las condiciones actuales de producción.

Así podemos indicar que el coeficiente K_c depende en general, de las características morfológicas y fisiológicas de una especie determinada y expresa la variación de su capacidad para extraer agua del suelo, en el transcurso del ciclo vegetativo.

Existen otro tipo de modelos como el de (Mojarro, 1988), en el cual se estiman el K_c , en función del Índice de Área Foliar (IAF), como sigue:

$$K_c = 0.45(IAF)^{0.5} \dots\dots\dots 10$$

Mojarro trabajó en el cultivo de frijol, con un valor de R^2 .

CH, es el contenido de humedad en por ciento, que se obtiene con la fórmula:

$$CH = \frac{Hs - pmp}{CC - pmp} \times 100 \dots\dots\dots 11$$

Donde:

Hs = por ciento de humedad del suelo

Pmp = por ciento de humedad a 15 atmósferas

CC = por ciento de humedad a 1/3 de atmósfera

De donde podemos determinar ETc:

$$ETc = ETp * Kc * Ks \dots\dots\dots 12$$

Existen cuando menos, 7 métodos para estimar el Kc y otros tantos para Ks, para ETp se pueden mencionar más de 6 que pueden efectuarse desde nivel mensual, quincenal, semanal o diario, esto nos llevo a la evaluación de la mejor metodología para estimar ETp y el valor del coeficiente de desarrollo del cultivo Kc.

La estimación del valor de ETp, es necesario en primer lugar para determinar los requerimientos hídricos del cultivo y en segundo lugar para obtener un diseño capaz de satisfacer con nuestras máximas

demandas hídricas del cultivo. Los valores de ET por lo general se emplean de investigaciones realizadas en otras localidades, pero no de investigaciones realizadas en el área de interés, por lo que se utilizan coeficientes de corrección, a continuación comentamos algunos.

(Goldber, Gornat y Rimon, 1979), plantean la posibilidad de emplear el término “Transpiración Potencial” (T_p), en lugar de Evapotranspiración Potencial (ET_p), ambos estarían relacionados con la expresión; $T_p = 0.6 \times ET_p(\text{del cultivo}) = ET_d$ (Evapotranspiración de diseño), si se dispone de evaporación de tanque evaporímetro clase A, podemos estimar mediante la siguiente expresión: $0.7 \times E_v \text{ de tanque} = ET_d$.

2.5. ALGUNOS TRABAJOS SOBRE ACOLCHADO Y RIEGO POR GOTEO.

Las limitaciones existentes para incrementar la superficie cultivada, propiciadas principalmente por la escasez del recurso agua, (Jasso y Luna, 1990), y considerando las medidas adoptadas; por la Comisión Nacional del Agua, de hacer respetar el volumen concesionado de extracción y las aplicaciones de la Comisión Federal de Electricidad con objetivo de incrementar la tarifa eléctrica, (León, 1990),

es necesario motivar a los usuarios a través de programas de transferencia de tecnología, (Flores, 1990), esto motiva a tener conciencia de hacer un uso más eficiente de los recursos Agua y Energía, lo que contribuye a la expectativa a corto plazo de una adopción generalizada de sistemas de riego que permitan incrementar la eficiencia en el aprovechamiento del agua, (León, 1990), sin embargo se requiere mayor apoyo a la investigación y a la transferencia de tecnología, (Jasso y Luna, 1990).

La aplicación de la Tecnología tendrá que ser orientada hacia la práctica más que a la teoría y perfectamente acorde a las condiciones del productor y de la región, para que la posibilidad de adopción sea mayor, (Flores, 1990).

El acolchado de suelos, técnica utilizada por los agricultores desde hace mucho tiempo, los materiales usados en esta técnica son sustituidos en el presente por plásticos. Su utilización presenta alternativas para incrementar; rendimiento, calidad y eficiencia en el uso del agua, por lo anterior es importante investigar para obtener evidencias que favorezcan su transferencia de tecnología.

Algunos beneficios detectados en trabajos de investigación se presentan a continuación:

El suelo recibe beneficios directos de la práctica de acolchado. Al acolchar el suelo con películas plásticas en el cultivo de tomate se comprobó que la compactación del suelo tiende a disminuir, mientras que la temperatura se incrementa, (Jasso y Ramiro, 1991). En el cultivo de calabacita bajo sistema de invernadero, en CIQA Saltillo, el acolchado incrementó la temperatura del suelo, efecto que se detecta al registrarse aumento en la nitrificación y disponibilidad de nutrimentos, (Flores, Quezada y Linares, 1992).

Las malezas en el cultivo son controladas con el uso de la técnica de acolchado de suelos, en el cultivo de tomate en tres sistemas de cultivo, en Buenavista, Saltillo, las plantas desarrollaron más altura y con la maleza controlada en un 100 por ciento, (González, 1991), cuando se arropa el suelo con plástico negro la incidencia de malezas es prácticamente nula. El hecho que las malezas sean controladas, aportan un beneficio indirecto al cultivo, las plantas desarrollan más altura y la mayor concentración de raíces se encontró a la profundidad de 0 - 45 cm., así como la concentración radical a profundidad mayor a 50 cm. no fue significativa, (García y Flores, 1991).

El cultivo al tener una mayor concentración radical y las plantas un mayor desarrollo, es de esperarse un rendimiento superior y una mejoría en la calidad de fruto; en el cultivo de tomate en tres sistemas de cultivo, en Buenavista, Saltillo, el polietileno negro fue el principal componente de sistema de cultivo que contribuyó a mejorar el rendimiento y la calidad del fruto, (González, 1991). En San Luis Potosí, en cultivo de tomate, el rendimiento y la calidad del fruto se incrementó significativamente al acolchar el suelo, (Jasso y Ramiro, 1991), en los sistemas de acolchado y estacado se aumentó la calidad del fruto con respecto al sistema tradicional, (González, 1991).

El rendimiento total en promedio, para los acolchados en cultivos de Pimiento Morrón, fue de 64,829 toneladas por hectárea, contra 46,773 toneladas por hectárea, de los testigos por lo que se puede afirmar que el acolchado incrementó el rendimiento, en tomate alcanzó su máximo, regando a un 80 por ciento de A.H.A durante la fase de floración-fructificación bajo la técnica de acolchado, (González, Aguirre y Briones, 1991). En lechuga el desarrollo y rendimiento del cultivo, es significativamente mayor al utilizar acolchado plástico, (Figueroa y Briones, 1991).

De acuerdo a la precocidad de los cultivos, debido a la técnica de acolchado de suelos, el coeficiente de cultivo (K_c), muestra ajustes en sus diferentes etapas, que en su momento han requerido ser estudiados, al utilizar los coeficientes de cultivo (K_c) para el cultivo de tomate proporcionados por la ONU-FAO, los valores del coeficiente de cultivo disminuyeron en relación al testigo (inicial 0.50, 0.80, 1.25, final 0.90), (Núñez, 1988), en un estudio sobre pimiento morrón, se sugiere que los coeficientes de cultivo sean disminuidos, en 12.5, 9.3 y 10.0 por ciento en las primeras tres etapas del cultivo, en cambio en la última deberá ser aumentado en 12.2 por ciento, (Márquez, 1991).

La eficiencia en el uso del agua, es aumentada con el uso del acolchado de suelos y el sistema de riego por goteo; en un estudio sobre cultivo de lechuga el consumo de agua disminuye notablemente, (Figuroa y Briones, 1991), de los sistemas de riego evaluados, el mejor fue el riego por goteo con una eficiencia de producción de 3.16 kilogramos por metro cuadrado, el 53 por ciento más que el riego por aspersión, (Berumen, Figuroa y Romo, 1991), la mayor eficiencia en el uso del agua en manzano fue mostrado con cintilla superficial y acolchado plástico, pero se estima que el enterrado de la cintilla puede proporcionar semejante eficiencia si no se descuida la filtración del

agua, la inyección de ácidos y la dosificación lenta de herbicidas a través del sistema, (Briones y Guerrero, 1991).

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1. LUGAR Y FECHA DE ESTABLECIMIENTO.

El experimento quedo establecido en el campo experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) con fecha, 20 de Marzo de 1992, en la ciudad de Saltillo, Coahuila.

3.2. LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL SITIO EXPERIMENTAL.

EL Centro de Investigación en Química Aplicada, se localiza al noreste de la ciudad de Saltillo, Coah., área comprendida, en las coordenadas 25 grados 27 minutos de latitud norte y 101 grados de longitud oeste, con respecto al meridiano de Greenwich, con una altitud de 1610 msnm.

3.3. CLIMA.

El clima se define como seco estepario BSoK(X')(e), siendo BSo el más seco de los BS, con lluvias en verano e invierno. La precipitación media anual es de 365 mm, los meses más lluviosos son de Junio a Septiembre. La temperatura media anual es de 18° C., la evaporación mensual promedio es de 178 mm., registrándose los valores más altos de Mayo con 236 mm., y Junio con 234 mm., según la clasificación de W Köppen modificada por García.

3.4. SUELO.

Está clasificado en las cartas G14-C13 como un Zolonchak órtico, con profundidad mayor de 100 cm, drenaje interno bueno, (CETENAL, 1974), tiene pendiente moderada, sin peligro de inundaciones, si se desmonta es ligeramente susceptible a la erosión, el material madre es la lutita arenisca, carbonatos y bicarbonatos muy elevados de origen aluvial.

3.5. MATERIALES Y EQUIPO REQUERIDO.

3.5.1. Semillero.

Se estableció bajo condiciones de invernadero, con sustrato a base de suelo de bosque con alto contenido de materia orgánica, fue desinfectado con calor, la fecha de siembra fue el 4 de Febrero de 1992.

3.5.2. Sitio Experimental.

Consistió en dos invernaderos tipo capilla de 12 m de ancho por 15 m de largo, contruidos con estructura metálica PTR 2" cedula 40, finalmente se les colocó su cubierta de polietileno térmico (CP-124) de 200 micras de espesor, fijándose a la estructura metálica con cintilla de madera de 1 por 2 pulgadas. Los invernaderos están orientados Norte-Sur, con acceso hacia el Sur y cortinas abatibles laterales.

Se realizó un muestreo, con el fin de obtener un análisis de; fertilidad, salinidad y curva de retención de humedad, los análisis se

realizaron en el Laboratorio de Calidad de Agua y Rehabilitación de suelos, del Departamento de Riego y Drenaje, de la U.A.A.A.N.

3.6. ESTABLECIMIENTO DEL ENSAYO.

La preparación del suelo consistió en un barbecho, a una profundidad de 35 cm., posteriormente se rastreó en cruz, las camas de siembra se realizó en forma manual, con dimensiones de 1.4 m de ancho y 3.0 m de largo.

La instalación del sistema de riego consta de; cinta de riego de la marca T-Tape de 0.008 de pulgadas de espesor y goteros cada 30 cm, con gastos de operación de 390 lph/100 m de cinta, la presión de operación es de 8 psi, la conducción del agua fue con poliducto hidráulico de $\frac{3}{4}$ de pulgada, colocando una válvula en cada unidad experimental y un manómetro a la entrada de cada uno de los invernaderos.

Las conexiones de líneas principales y laterales, se realizó con conectores de inserción y la alimentación a las líneas regantes (cinta de riego), fue través de tubing e insertores omni de 7/8 de pulgadas.

Al término de la instalación del sistema de riego, se realizó la fertilización, se efectuó el 27 de Marzo de 1992, con una fórmula de 200-200-200, aplicando todo el Fósforo y Potasio y el 50 por ciento de Nitrógeno, utilizando como fuentes; triple 17 y urea, el Nitrógeno restante se aplicó al momento de la floración.

Posteriormente se realizó el acolchado de suelo, con polietileno de color negro de 37.5 micras de espesor y 1.5 m de ancho, la forma de aplicación fue manual, después se perforó el plástico para realizar el trasplante.

La distribución de plantas fue de 30 cm entre plantas y 1.4 m entre camas, para obtener una densidad de 23,800 plantas/ha.

3.7. CONSIDERACIONES ESTADÍSTICAS.

Se utilizó, un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones, se evaluaron cuatro tratamientos, que consistieron en diferentes niveles de abatimiento de la humedad aprovechable, para cuatro etapas fenológicas del ciclo vegetativo; Establecimiento (E), Desarrollo (V), Floración (F) y Maduración (M). Además se consideró un tratamiento adicional con un nivel de humedad constante.

Cuadro 5. Niveles de Abatimiento de Humedad Aprovechable para las etapas Fenológicas.

Tratamiento	Etapas Fenológicas			
	E	V	F	M
1	30	30	30	20
2	30	50	50	30
3	30	30	40	50
4	30	30	50	50
5	50	50	50	50

3.8. PARAMETROS DE OBSERVACION.

Contenido de humedad en el suelo. Se determinó por el método gravimétrico; con barrena se muestreo cada tercer día, los estratos de 0 - 30 cm y 30 - 60 cm de profundidad.

Evaporación del tanque evaporímetro clase A. Se llevo un registro diario de la evaporación del tanque evaporímetro clase A, bajo condiciones de invernadero.

Rendimiento y calidad. Se estimo cada uno de los cortes, tanto en ton/ha como por clases, se cosechó dos veces por semana.

IV. RESULTADOS.

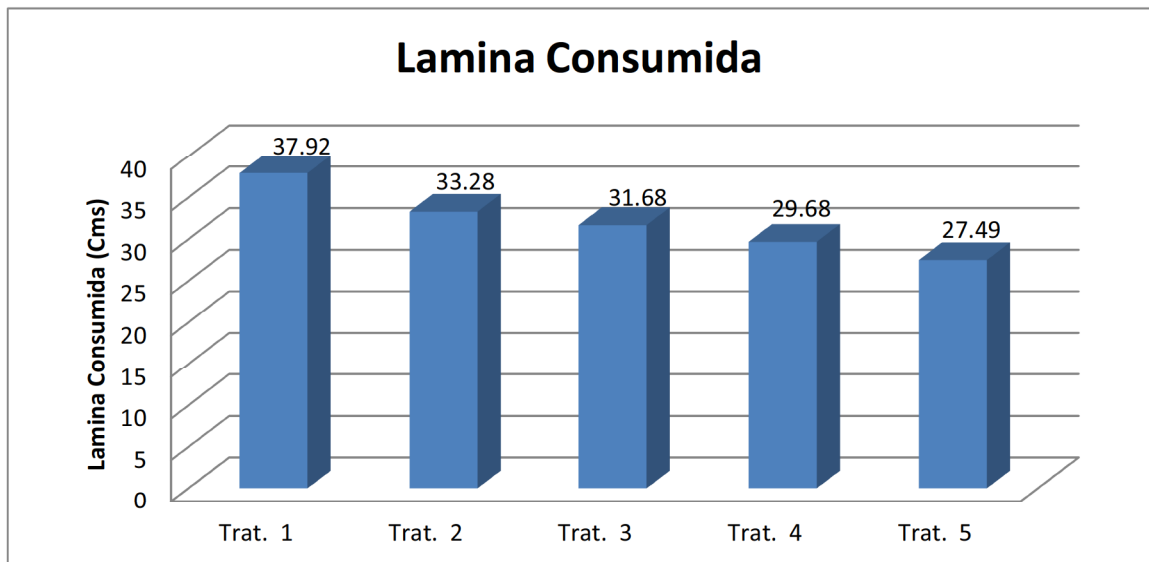
Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 6, en el cual se observa, una estrecha relación entre el agua consumida y el rendimiento, debido a que los mayores rendimientos se registraron con la mayor lámina consumida, si se observa la columna de eficiencia en el uso del agua, se notara que el tratamiento 3 es el que presenta el máximo valor de eficiencia en el uso del agua, esto es importante en las condiciones donde el agua es el factor limitante, ya que el rendimiento solo se afecto en un 9 por ciento, esto nos indica la importancia de los niveles de abatimiento de humedad aprovechable, con la finalidad de hacer un uso eficiente de los recursos hídricos sin afectar significativamente el rendimiento.

Cuadro 6. Resultados Obtenidos.

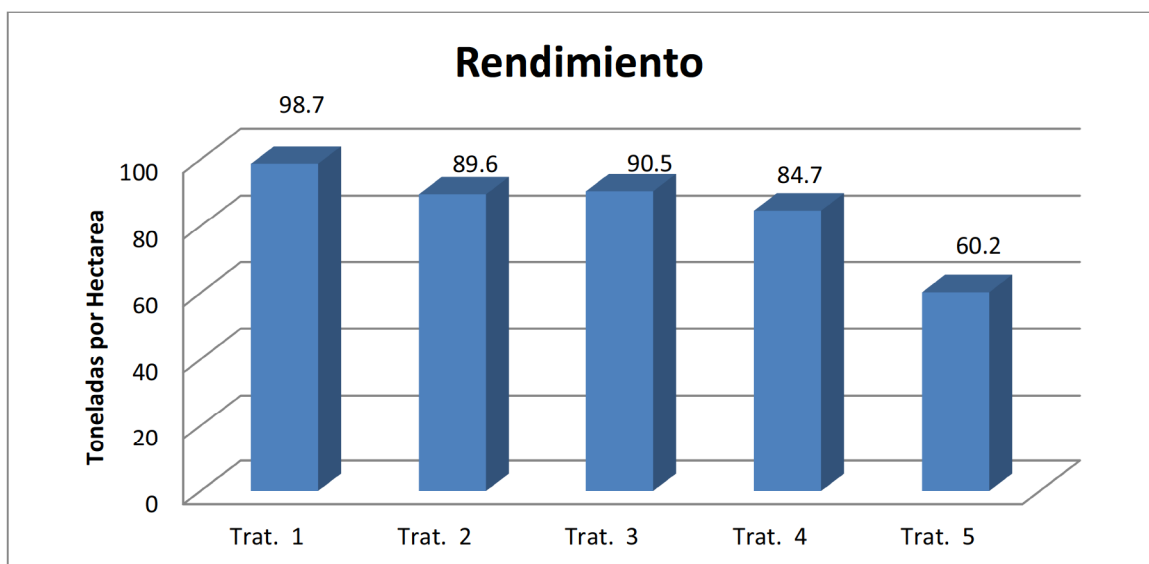
Tratamiento	Lamina consumida en cm	Rendimiento ton/ha	Eficiencia en uso del agua. Kg/m³
1	37.92	98.7	26.02
2	33.28	81.6	24.51
3	31.68	90.5	28.56
4	29.70	84.6	28.48
5	27.49	60.2	21.89

En la siguientes gráficas se muestra el comportamiento de la lámina consumida, el rendimiento y la eficiencia en uso del agua, en donde observamos que para este trabajo el valor más alto de rendimiento fue obtenido con una lámina consumida de 37.92 cm y un rendimiento aproximado de 100 ton/ha, el tratamiento 3 tiene la mayor eficiencia de uso de agua 28.56 kg/m³ con un rendimiento de 90.5 ton y una lámina consumida de 31.68 cms.

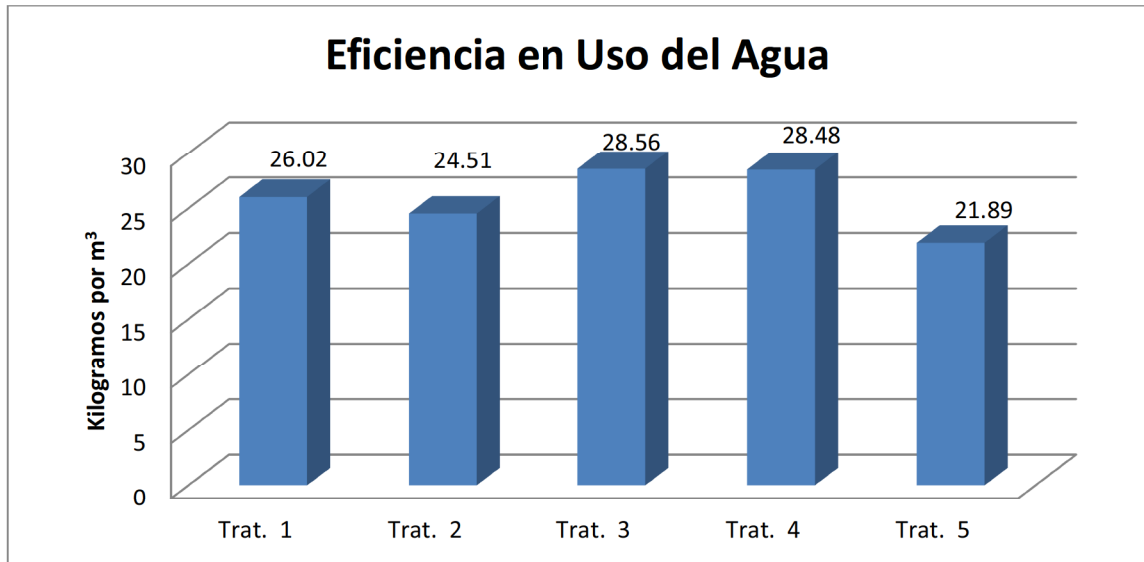
Gráfica 1. Lámina consumida por tratamiento



Gráfica 2. Rendimientos obtenidos por tratamiento



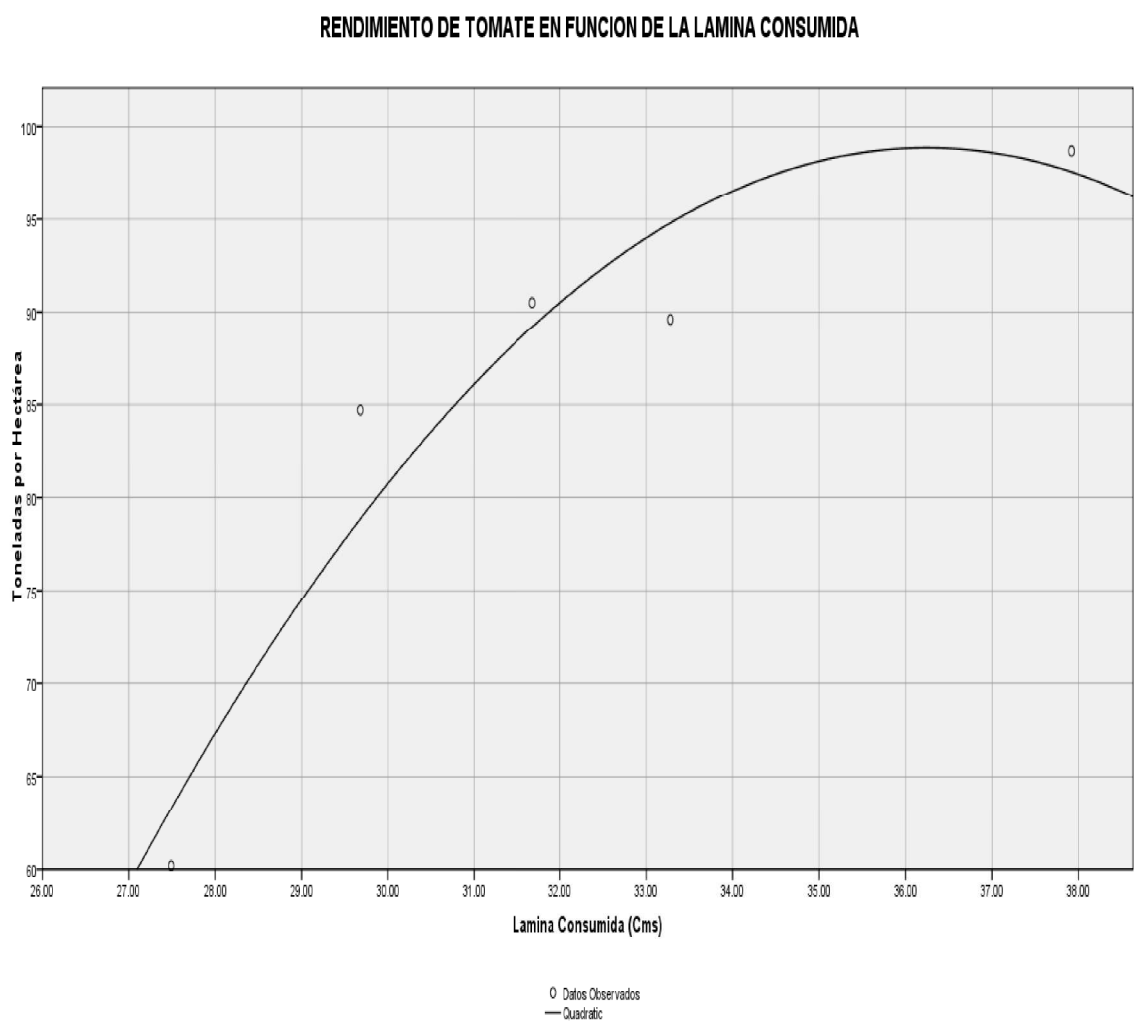
Gráfica 3. Eficiencia en uso del agua por tratamiento



En la gráfica 4, se observa el comportamiento típico, de una función de suministro de agua, en la cual existe una relación directamente proporcional al inicio, para posteriormente convertirse, en un efecto desfavorable para el rendimiento del cultivo, además el valor de la constante de la regresión tiene valores negativos, algo que no sucede en algunos otros trabajos, por ejemplo de fertilizantes en los que el valor de la constante son positivos, esto no representa el efecto de otros factores no estudiados, pero en el caso de riegos, al no recibir ningún aporte de agua, el cultivo no prospera, considerando que el

contenido de humedad en el suelo es nulo y la única fuente de suministro de agua es el riego.

Gráfica 4. Rendimiento del cultivo de Tomate



A continuación se muestran en el cuadro 7, los parámetros de la regresión.

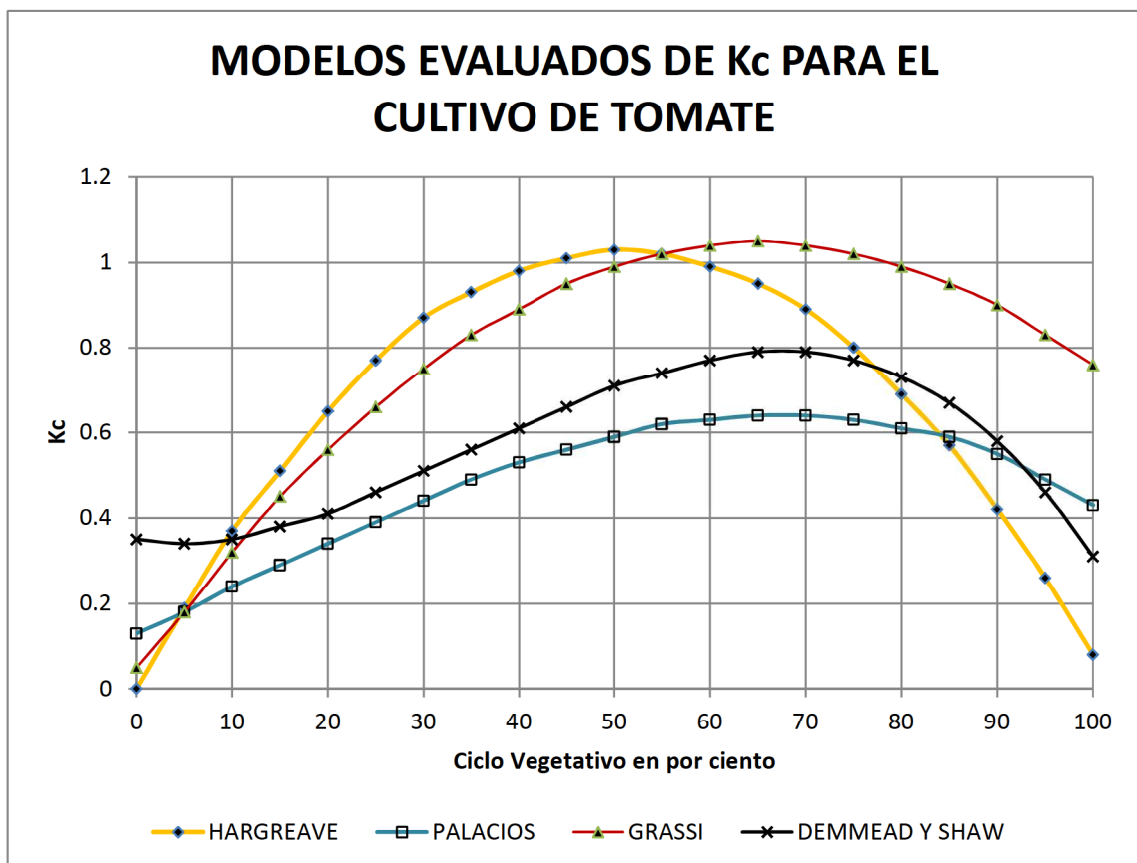
Cuadro 7. Valores obtenidos para la regresión entre la lámina consumida y rendimiento de tomate bajo condiciones de invernadero y riego por goteo.

Parámetro	Valor
Constante	-511.1
Error Estándar de "Y" estimada	6.063
No. de observaciones	5
Grado de Libertad	2
Coefficiente para (X)	33.659
Error Estándar de (X)	14.892
Coefficiente de (X ²)	-0.464
Error Estándar de (X ²)	0.226

Con la finalidad de poder determinar el momento oportuno del riego, se calcularon los valores de Kc, en base en la

evapotranspiración real del cultivo obtenida en base a muestreos del suelo, mediante el método gravimétrico y la evapotranspiración potencial, estimada en base a lecturas de evaporación diarias en tanque evaporímetro clase A, los datos se presentan a continuación y el comportamiento de los diferentes autores en la gráfica 5.

Gráfica 5. Modelos de diferentes autores para el cálculo de K_c y su comportamiento, para el cultivo de Tomate.



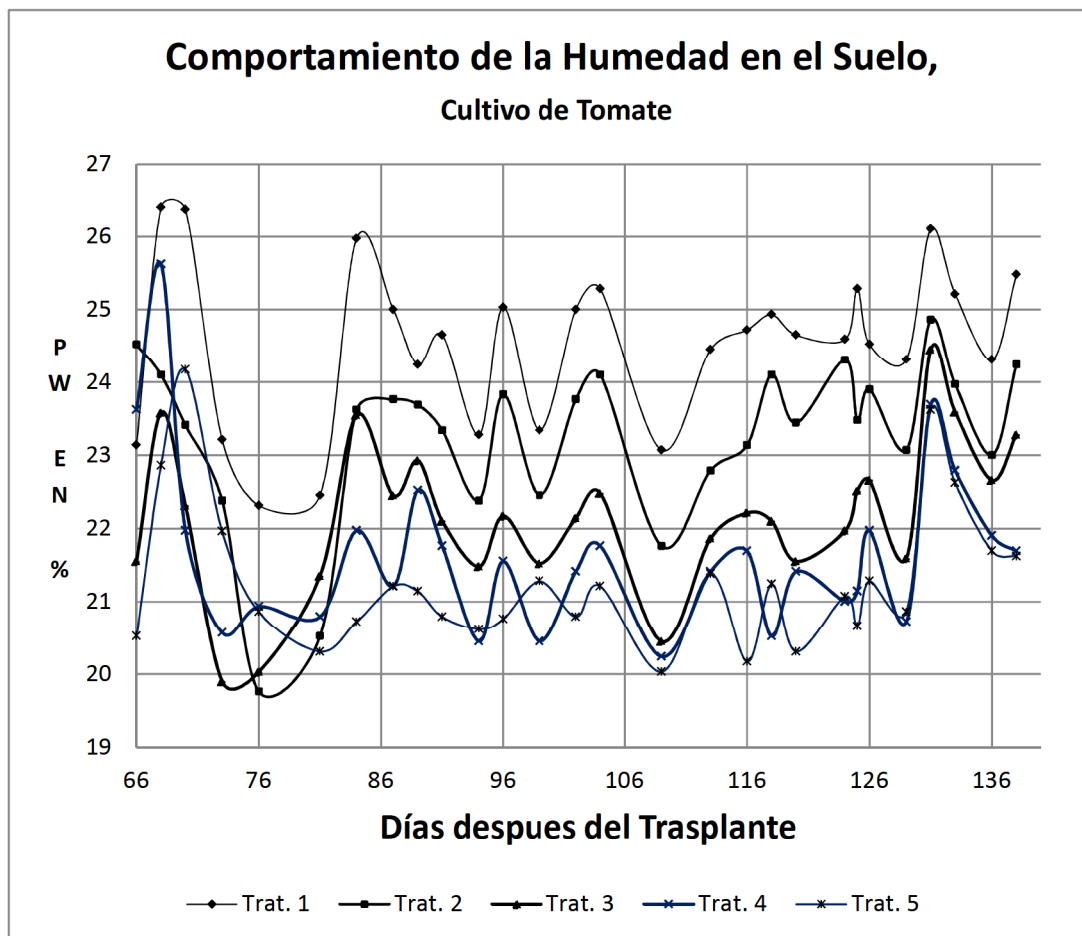
Cuadro 8. Valores de Kc obtenidos para el cultivo de tomate bajo condiciones de acolchado de suelos, riego por goteo en invernadero.

Tratamiento	Floración	Maduración
1	0.93	0.717
2	0.85	0.633
3	0.825	0.633
4	0.825	0.578
5	0.825	0.578

Cabe hacer mención que estos valores de Kc, se deben de tomar con reserva, debido a las condiciones en que llevo el trabajo de campo, debido a que el control de la humedad no fue adecuado de acuerdo a los tratamientos, como lo muestra la gráfica 6, donde podemos observar que el período comprendido de los 66 a 76 días después del trasplante, la fluctuaciones de humedad son demasiado drásticas, ocasionando un stress en el cultivo, aún cuando fue similar para cada uno de los tratamientos, a partir de los 86 días después del trasplante, se observa el efecto de los tratamientos en el contenido de

la humedad en el suelo, por lo cual solo reportamos los valores de Kc para la etapa de floración y maduración ó engrosamiento del fruto.

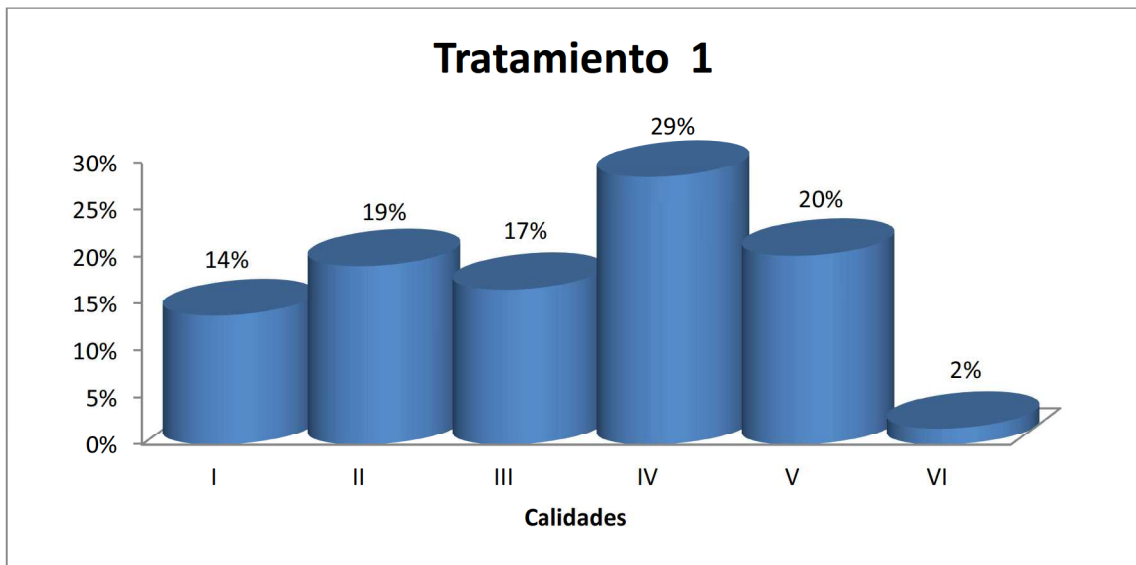
Gráfica 6. Fluctuaciones de humedad por tratamiento



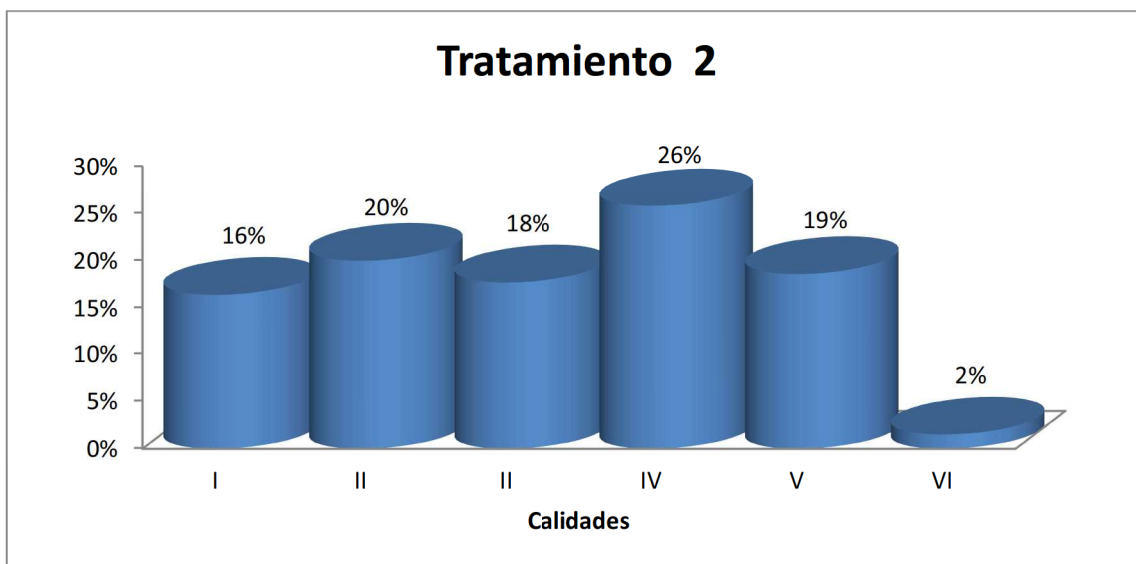
Finalmente comentaremos el comportamiento de la calidad, como se muestra en las gráficas; 7, 8, 9, 10, y 11, la mayoría de los

tratamientos fueron de clase IV, esto debido al aspecto del stress que comentamos anteriormente.

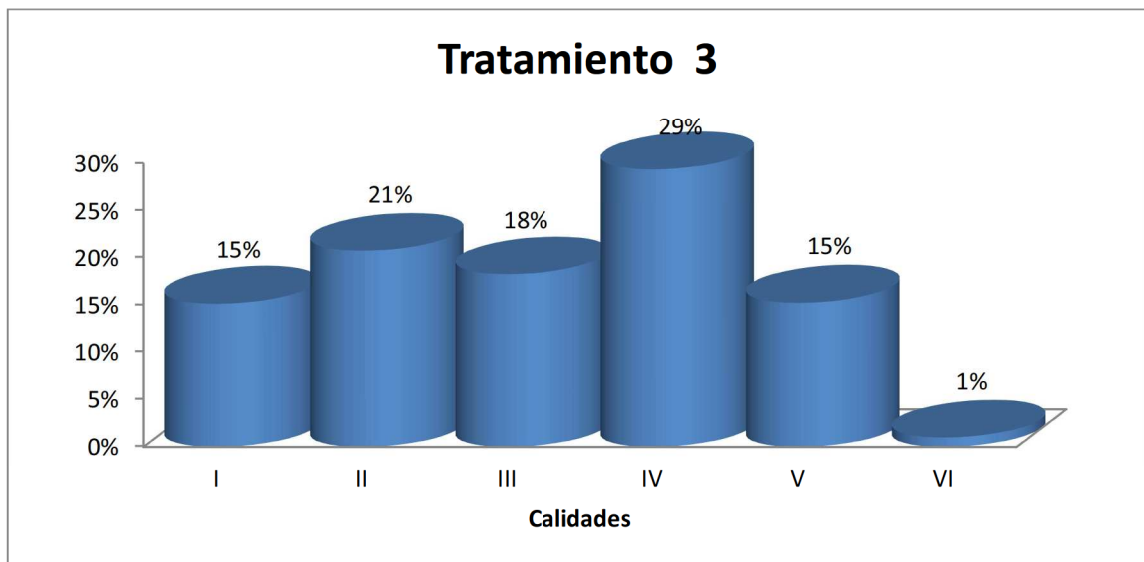
Gráfica 7. Calidades del fruto del tratamiento 1



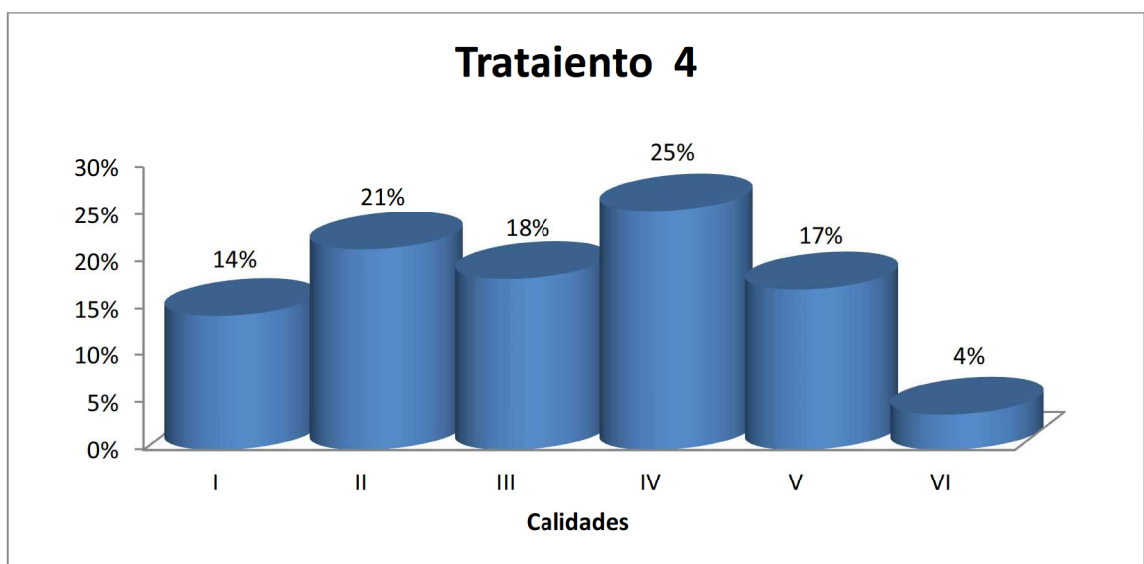
Gráfica 8. Calidades del fruto del tratamiento 2.



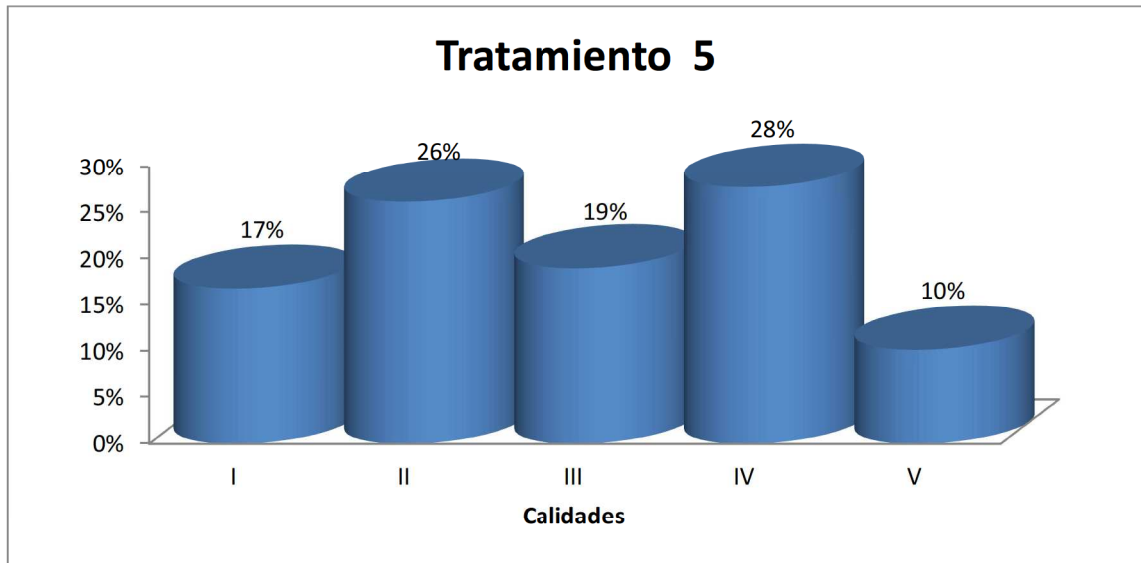
Gráfica 9. Calidades del fruto del tratamiento 3.



Gráfica 10. Calidades del fruto del tratamiento 4.



Gráfica 11. Calidades del fruto del tratamiento 5.



V. CONCLUSIONES.

El efecto del stress hídrico, se ve bien marcado para la etapa de pleno desarrollo y floración, como lo demuestra el tratamiento cuatro, que manejó los niveles de abatimiento más bajos y por consecuencia el segundo más bajo en rendimiento.

Una forma de manejo del abatimiento de humedad en el suelo, lo demuestra el tratamiento tres, en el cual se ocasionó un stress para la etapa de floración, pero las demás etapas se mantienen en condiciones favorables por lo que la reducción del rendimiento, sólo fue un 9 por ciento, con respecto al mejor rendimiento.

Para el caso del rendimiento de tomate, este se presenta de una manera directamente proporcional a la lámina consumida y es el caso de los resultados obtenidos por el tratamiento uno, con un rendimiento de 98.7 ton/ha y una lámina consumida de 37.92 cms., siendo los datos observados más altos.

Lo óptimo en los resultados nos refiere a la eficiencia en uso del agua, que toma en cuenta un factor limitante para la agricultura en México que es el agua, por consiguiente observamos que la máxima

eficiencia en uso de agua la obtuvo el tratamiento tres con un resultado de 28.56 kg/m³.

Sobre la calidad en el cultivo de tomate para este trabajo, podemos concluir que sobresale la calidad IV en todos los tratamientos, provocado por el stress hídrico entre los días 66 y 76 días después del trasplante.

En lo referente a los modelos para estimar Kc, el que mejor se ajusta para estas condiciones, es el de Palacios Vélez, pero cabe hacer mención que es necesario, hacer más investigación con la finalidad de monitorear todas las etapas fenológicas.

VI. BIBLIOGRAFIA.

- Aguilera, C.M. y Martínez, E.R. (1980). Relaciones Agua Suelo Planta Atmosfera. Departamento de Enseñanza, Investigación y servicio de Irrigación. Universidad Autónoma de Chapingo. 2ª Edición. Chapingo, México. pp 165-168.
- Aljibury, F.K, Marsha, A.W y Huntamer, J. (1974). "Water use whit drip irrigation". En II Internat. Drip Irrigation Congress Proceedings. California, U.S.A.
- Balderi, C.F. (1979). Plastic and hay mulches for tropical fruit crops: Observations and economics. Proceedings of the Florida State Horticultura Society 89:234-236.
- Berumen, P.S, Figueroa, V.R. y Romo, P.L.L. (1991). Evaluación de los Métodos de Riego por Goteo y Microaspersion en el Cultivo del Tomate (*Lycopersicum esculentum Mill*) en la Comarca Lagunera. XXIV Memorias del Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Pachuca, Hidalgo. México. pp. 119

- Briones, S.G. y Guerrero, P.G. (1991). Irrigación Subsuperficial con Cintillas de Goteo y Acolchado Plástico en Manzano. XXIV Memorias del Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Pachuca, Hidalgo. México. pp. 217.
- Casseres, E. (1981). Producción de Hortalizas. 3ª Edición, 1ª Reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San Jose, Costa Rica, C.A.
- Castilla, N. (1986). Contribución al estudio de los cultivos enaredados. Tesis Doctoral, C.R.P.D.
- Chen, y Katan, J. (1980). Effect of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties. Soil Sci 130(5):271-277.
- Chou, Y.L. (1977). Análisis Estadístico. Segunda Edición. Editorial Interamericana. México. pp. 299-330.
- C.N.P.H. (1989). Confederación Nacional de Productores de Hortalizas, Boletín Anual temporada 1988-1989. pp. 53-58.

Dooremb, J. y Pruitt, W.D. (1970). Las necesidades del agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

Estudio FAO Riego y Drenaje 24. (1977). Las necesidades de agua de los cultivos.

Estudio FAO Riego y Drenaje 56. (2006). Evapotranspiración del cultivo.

Federal Register, Sección de reglas y reglamentos. Nuevas designaciones y tamaños. Sept. 5, 1973. U.S.A.

Fernández, T.S. (1982). Plásticos ¿Una Opción para la Agricultura? Ciencia y Desarrollo No. 47 CONACYT. México.

Figurera, V.R y Berumen, P.S. (1991) Evaluación del Desarrollo y la Productividad del Agua en el Cultivo de Lechuga (*Lactuca sativa*) Bajo 4 Regímenes de Humedad con y sin Acolchado. XXIV Memorias de Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Pachuca, Hidalgo. México. pp. 117.

- Figueroa, V.R., Berumen, P.S., Vazquez, V.C. y Renteria, R.L. (1991). Respuesta del cultivo de Tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) a 5 laminas de agua bajo condiciones de acolchado plástico del suelo. XXV Memorias del Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Guerrero. México. pp. 329.
- Flores, L.L.F (1980). La Investigación Agrícola sobre el Uso Eficiente del Agua. XXIII Memorias del Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera, México. pp. 141-151.
- Flores, V.J., Quezada, M.R. y Linares, O.H. (1991). Efecto del acolchado en la movilización de nutrimentos en calabacita bajo invernadero. XXV Memorias del Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Guerrero. México. pp. 178.
- Folquer, F. (1976). El Tomate. Editorial Hemisferio Sur. 1ª Edicion. Buenos Aires, Argentina. pp. 1-53.
- Garcia, E. (1964) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen, para adaptarla a las condiciones de la Republica Mexicana. Editada en México. E.N.A. Chapingo, México. pp. 71.

García, A.D. y Flores, L.L.F. (1991). Estudio del comportamiento del sistema radical al utilizar acolchado con polietileno negro en el cultivo de Maíz. XXIV Memorias del Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Pachuca, Hidalgo. pp. 130.

Gavande, S.A. (1973). Física de Suelos, Principios y Aplicaciones. Editorial Limusa. México. pp. 158-193.

González, J.A. (1991). Efecto de tres regímenes de humedad en tres sistemas de Cultivo de Tomate. Tesis, Buenavista, Saltillo, Coahuila. Mexico. pp 158-193.

Hernández, D.J. (1984). Respuesta del Cultivo de Sandía (*Citrullus lanatus* E) a tres factores de la Producción; Acolchado de Suelos, Fertilización Nitrogenada y Fertilización Fosfatada. Tesis. UAAAN. Buenavista, saltillo; Coahuila, México.

Ibarra, J.L. Rodríguez, P.A. (1991). Acolchado de Suelos con Películas Plásticas. Editorial Limusa. México. 132 p.

- Jasso, I.R. y Rodríguez, P.A. (1990). Alternativas Tecnológicas para un Uso Eficiente de Agua. XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera, México. pp. 153-168.
- Katan, J. (1981). Solar heating (Solarization) of soil for control of soil borne pests. *Ann. Rev. Phytopathol.* 19:211-236
- Lal, R. (1974). Soil temperature, soil moisture and maize yield from. Mulched and unmulched tropical soils. *Plant and soil.* 40:129-143.
- Leon, F.J.C. (1990). Adopción de tecnología para mejorar el aprovechamiento del agua. XXIII Memorias del Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera, México. pp. 231-245.
- López, P.J. (1976), *El Cultivo del Tomate*. Ediciones Mundi-Prensa. Tercera Edición. Madrid, España. pp. 1-36.
- Márquez, L.G. (1991). Efecto de la Irrigación en Caracteres Agronómicos del Pimiento Morrón (*Capsicum annum L.*) Desarrollado con Sistema de Acolchado. Buenavista, Saltillo; Coah, México.

Munguía, L.J.P. (1985). El acolchado de suelos y la práctica del riego en el Cultivo de Espinaca (*Spinaca oleracea L.*) Var. Viroflay. Tesis. UAAAN. Buenavista, Saltillo; Coah, México.

Núñez, P.G. (1988). La influencia del riego en el Cultivo de Tomate (*Lycopersicum esculentum, Mill*), bjo el sistema de acolchado en condiciones de invernadero. Buenavista, Saltillo; Coahuila, México.

Ortiz, S.C. (1982). Agrometeorología. Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Pronapa-Sarh (1988). Uso de las películas de plástico como arropado del suelo para la producción agrícola. Gómez Palacio, Durango. 139 p.

Ramírez, H.P. (1985). El Riego en el Cultivo de la Espinaca (*Spinaca oleracea, L*) Var. Viroflay, bajo practica de acolchado. Tesis. UAAAN. Buenavista, Saltillo; Coahuila, México.

Reyes, C.P. (1982). Diseños de Experimentos Aplicados. Segunda Edición. Segunda Reimpresión. Editorial Trillas. México. pp. 82-116.

Rodríguez, F. (1981). Comportamiento del Cultivo del Melón bajo tres tipos de Películas Plásticas. Tesis. U.M. Edo. México.

Salisbury, F.B. y Ross, C.W. (1978). Plant physiology wadsworth publishing co.