

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

APLICACIÓN RADICAL DE CO~~MO~~ USO DE ACOLCHADOS PLÁSTICOS Y SISTEMAS DE MANEJO EN TOMATE DE CASCARA (*Physalis ixocarpa*, Brot.)



DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



T E S I S

Que como requisito parcial para obtener el grado de :
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

SALOMÓN SOLDEVILLA CANALES

CHAPINGO, MÉXICO, 1997

DX 85943
- 152103



ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL COMITÉ ASESOR INDICADO, HA SIDO REVISADA Y APROBADA POR EL JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE :

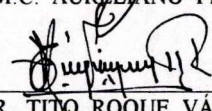
**MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALISTA EN HORTICULTURA**

COMITÉ ASESOR :

PRESIDENTE: _____


M.C. AURELIANO PEÑA LOMELÍ

ASESOR : _____

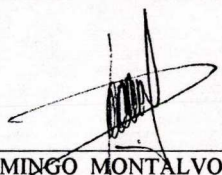

DR. TITO ROQUE VÁSQUEZ ROJAS

ASESOR : _____

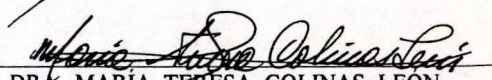

M.C. FLORIBERTO SOLÍS MENDOZA

REPRESENTANTES DE COORDINACIÓN :

COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO EN HORTICULTURA : _____


M.C. DOMINGO MONTALVO HERNÁNDEZ

COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO EN LA UACH : _____


DRA. MARÍA TERESA COLINAS LEÓN

Chapingo, México, Febrero de 1997.

DEDICATORIA

A mis padres SALOMÓN Y ROSAURA, quienes me han guiado correctamente en este largo camino sin fin. Por el gran apoyo que me han dado para iniciar una faceta más de mi vida profesional.

Especialmente a mis hermanos JOHN y GROCIO muchas gracias por su apoyo incondicional.

A mis hermanos MIRTHA, JOSÉ, ROGER, JANNETH y MAX quienes en todo momento me han apoyado para lograr una meta más.

A mi cuñada-hermana ROSMERY doy mis gracias por la delicadeza y familiaridad en cada acto suyo. Igualmente por la nobleza y buenos deseos de mi cuñado JORGE.

A mis sobrinos JULIO CÉSAR Y RENATO SALOMÓN quienes por el momento son la razón y motivo para seguir luchando.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Fitotecnia a través del Programa de Maestría en Ciencias en Horticultura por el apoyo brindado durante la realización de los estudios y la investigación correspondiente.

Al Director M.C. Aureliano Peña Lomeli y asesores M.C. Floriberto Solís Mendoza y Dr. Tito R. Vásquez Rojas por la acertada, decidida participación y valiosos consejos en los estudios y la realización del presente trabajo experimental.

A los revisores Dra. María T. Colinas León y M.C. Domingo Montalvo Hernández, quienes pusieron su empeño para que el presente trabajo tenga la aprobación correspondiente. Igualmente mi agradecimiento por su amistad.

A los profesores de la Maestría en Horticultura del Departamento de Fitotecnia, quienes con su orientación, enseñanza y amistad han ayudado a mi desarrollo profesional.

Al personal del laboratorio de Fisiología Vegetal, Ecología, a los trabajadores del Campo Experimental, a los administrativos del Departamento de Fitotecnia y a las secretarias de la Coordinación de Posgrado por su apoyo constante e incondicional.

A todas las personas que por el momento olvido mencionar, muchas gracias.

A los compañeros de la maestría generación 95-96 y 96-97 por su apoyo y amistad. Y mucho agradecimiento a Obdulia, de quien siempre recibí su apoyo y comprensión.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Indice general.....	v
Lista de Cuadros.....	ix
Lista de Figuras.....	xi
Resumen.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. El cultivo de tomate de cáscara.....	4
2.1.1. Importancia.....	4
2.1.2. Características agroecológicas	5
2.2. El carbono en las plantas.....	9
2.2.1. Importancia del carbono para las plantas.....	9
2.2.2. Mecanismos de acción del agua carbonatada.....	12
2.2.2.1. Absorción y disponibilidad de nutrientes para las plantas y modificación del pH del suelo.....	12
2.2.2.2. Aumento del carbono para la fotosíntesis.....	14
2.2.2.3. Enriquecimiento del aire del suelo.....	15
2.2.2.4. Enriquecimiento del dosel de la planta.....	16
2.2.2.5. Interacción del bióxido de carbono con los pesticidas.....	17
2.3. Uso de materiales plásticos en la agricultura.....	18
2.3.1. Situación e importancia de la plasticultura.....	18
2.3.2. Materiales usados en el acolchado de suelos.....	21
2.3.3. Características de los materiales plásticos utilizados en el acolchado de suelos.....	23
2.3.3.1. Transparencia.....	23
2.3.3.2. Opacidad.....	23
2.3.3.3. Duración.....	23
2.3.3.4. Medida y espesor.....	25

2.3.3.5. Color.....	26
2.3.4. Efecto del acolchado de los suelos con materiales plásticos.....	27
2.3.4.1. Influencia sobre la temperatura del suelo.....	27
2.3.4.2. Efecto sobre la humedad del suelo.....	30
2.3.4.3. Efecto sobre la fertilidad del suelo y la nutrición de los cultivos..	31
2.3.4.4. Influencia sobre el crecimiento de malas hierbas.....	32
2.3.4.5. Influencia sobre los componentes del rendimiento y la calidad....	33
2.3.4.6. Influencia sobre el comportamiento de plagas y enfermedades....	35
2.3.4.7. Influencia sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo.....	37
2.3.4.8. Influencia sobre las variables fisiológicas.....	38
2.3.4.9. Influencia sobre la concentración de bióxido de carbono en el suelo.....	39
2.3.4.10. Influencia sobre los costos de producción.....	39
2.4. Sistemas de manejo en los cultivos.....	39
 III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
3.1. Primera fase experimental.....	42
3.1.1. Ubicación y características del sitio experimental.....	42
3.1.2. Características del material vegetal.....	42
3.1.3. Sistema de manejo del experimento.....	43
3.1.4. Diseño de tratamientos.....	43
3.1.5. Diseño experimental.....	44
3.1.6. Conducción del experimento.....	45
3.1.7. Variables evaluadas.....	47
3.1.8. Obtención de agua carbonatada.....	48
3.1.9. Aplicación de agua carbonatada.....	49
3.2. Segunda fase experimental.....	50
3.2.1. Ubicación y características del sitio experimental.....	50
3.2.2. Material vegetal.....	51
3.2.3. Manejo agronómico del experimento.....	51

3.2.4.1. Almacigo.....	51
3.2.4.2. Riegos y fertilización.....	51
3.2.4.3. Tendido de cintas de riego y acolchado de suelos.....	53
3.2.4.4. Tutorio de plantas.....	53
3.2.4. Diseño de tratamientos.....	54
3.2.5. Diseño experimental.....	54
3.2.6. Características de la unidad experimental.....	56
3.2.7. Variables evaluadas.....	57
3.2.8. Momento y forma de aplicación de agua carbonatada.....	63
3.2.9. Cronología de la conducción del cultivo.....	64
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	65
4.1. Primera fase experimental.....	65
4.1.1. Rendimiento.....	65
4.1.2. Número y peso de frutos.....	67
4.1.3. Peso de la materia seca.....	70
4.1.3.1. Factor dosis de bióxido de carbono.....	70
4.1.3.2. Factor momento de aplicación.....	75
4.1.3.3. Combinación de niveles de factores.....	76
4.1.4. Altura del primer simpodio.....	79
4.1.5. Longitud de ramas.....	81
4.1.6. Área foliar.....	82
4.2. Segunda fase experimental.....	85
4.2.1. Rendimiento.....	85
4.2.2. Número y peso de frutos.....	92
4.2.3. Volumen de frutos.....	96
4.2.4. Diámetro del tallo.....	98
4.2.5. Altura de plantas.....	99
4.2.6. Número de hojas.....	102
4.2.7. Número de flores.....	103

4.2.8. Longitud de ramas.....	105
4.2.9. Área foliar.....	106
4.2.10. Materia seca.....	107
4.2.11. Acidez total.....	110
4.2.12. pH del suelo.....	111
4.2.13. Concentración de CO ₂ en la solución del suelo.....	112
4.2.14. Tasa de fotosíntesis aparente.....	113
4.2.15. Temperatura del suelo.....	114
4.2.16. Análisis financiero.....	117
 V. CONCLUSIONES.....	 121
5.1. Primera fase experimental.....	121
5.2. Segunda fase experimental.....	121
 VI. SUGERENCIAS.....	 124
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	125
VIII. ANEXOS.....	140

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
Cuadro 1	Evolución de la superficie con acolchados plásticos en China.....	20
Cuadro 2	Superficie cubiertas con plásticos en México 1985-1995 (Hectáreas).....	20
Cuadro 3	Generalidades de las películas de polietileno usadas en el acolchado de suelos	27
Cuadro 4	Combinación de niveles de los dos factores en estudio en tomate de cáscara..	45
Cuadro 5	Composición de la solución nutritiva.....	46
Cuadro 6	Solución nutritiva utilizada durante el almácigo en la fase II delexperimento	52
Cuadro 7	Programa de fertilización de tomate de cáscara.....	53
Cuadro 8	Combinación de niveles de los tres factores en estudio en tomate de cáscara en la segunda fase experimental	55
Cuadro 9	Actividades desarrolladas en el cultivo de tomate de cáscara en la segunda fase experimental.....	64
Cuadro 10	Producción de frutos frescos de tomate de cáscara en la primera fase experimental.....	67
Cuadro 11	Número de frutos comerciales por planta de tomate de cáscara en la primera fase experimental.....	68
Cuadro 12	Peso promedio de un fruto de tomate de cáscara en la primera fase experimental.....	70
Cuadro 13	Peso de materia seca total en plantas de tomate de cáscara	77
Cuadro 14	Peso de materia seca de las raíces de tomate de cáscara	77
Cuadro 15	Peso de materia seca de los tallos en el cultivo de tomate de cáscara	78
Cuadro 16	Peso de materia seca de las hojas en el cultivo de tomate de cáscara	78
Cuadro 17	Peso de materia seca total de frutos inmaduros de tomate de cáscara	79
Cuadro 18	Peso de materia seca de frutos comerciales de tomate de cáscara	79
Cuadro 19	Altura del primer simpodio en plantas de tomate de cáscara	81
Cuadro 20	Longitud de entrenudos de ramas del primer orden de tomate de cáscara	81

Cuadro 21	Area foliar por planta de tomate de cáscara en la fase I del experimento.....	84
Cuadro 22	Producción de tomate de cáscara según el número de corte.....	86
Cuadro 23	Tratamientos de mejor rendimiento total de tomate de cáscara en la segunda fase experimental.....	88
Cuadro 24	Tratamientos de mejor rendimiento inicial de tomate de cáscara CHF1-Chapingo	90
Cuadro 25	Número de frutos en un Kg de peso fresco de tomate de cáscara.....	94
Cuadro 26	Peso promedio de un fruto de tomate de cáscara en la segunda fase experimental.....	94
Cuadro 27	Volumen de un Kg de frutos de tomate de cáscara.....	97
Cuadro 28	Tratamientos de mayor acumulación de materia seca en hojas de tomate de cáscara	109
Cuadro 29	Temperatura del suelos a 15 cm de profundidad (°C).....	117
Cuadro 30	Análisis del beneficio/costo en el cultivo de tomate de cáscara (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot.) en Chapingo, México.....	118
Cuadro 31	Análisis de sensibilidad de la relación beneficio/costo en el cultivo de tomate de cáscara en el valor y los costos de producción (20, 40 y 50%) en Chapingo, México, 1996.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
Figura 1	Producción total de frutos de tomate de cáscara en la fase I del experimento.....	66
Figura 2	Número de frutos comerciales por plantas de tomate de cáscara en la fase I del experimento.....	68
Figura 3	Peso promedio de un fruto de tomate de cáscara en la fase I del experimento.....	69
Figura 4	Peso de materia seca total por planta de tomate de cáscara CHF1-Chapingo.....	71
Gráfico 5	Peso de materia seca de raíces de tomate de cáscara en la fase I del experimento.....	72
Figura 6	Peso de materia seca de tallos de tomate de cáscara	72
Figura 7	Peso de materia seca de hojas de tomate de cáscara en la fase I del experimento.....	73
Figura 8	Peso de materia seca de frutos inmaduros de tomate de cáscara en la primera fase experimental.....	74
Figura 9	Peso de materia seca de frutos comerciales de tomate de cáscara en la fase I del experimento.....	75
Figura 10	Altura del primer simpodio en plantas de tomate de cáscara en la primera fase experimental.....	80
Figura 11	Longitud de entrenudos de las ramas del primer orden en tomate de cáscara en la primera fase experimental	82
Figura 12	Área foliar por planta de tomate de cáscara	83
Figura 13	Distribución porcentual del rendimiento total de tomate de cáscara CHF1-Chapingo en los seis cortes.....	85
Figura 14	Rendimiento total de frutos de tomate de cáscara en la segunda fase experimental.....	87

Figura 15	Rendimiento de tomate de cáscara en los dos primeros cortes.....	90
Figura 16	Rendimiento de tomate de cáscara en el sexto corte.....	91
Figura 17	Número promedio de frutos equivalente a un Kg de peso fresco	92
Figura 18	Peso promedio de un fruto de los cinco primeros cortes	93
Figura 19	Número de frutos equivalente a un Kg de peso fresco en el quinto corte.....	95
Figura 20	Peso de un fruto (g) y número de frutos equivalentes a un Kg de peso fresco.....	96
Figura 21	Volumen de frutos de tomate de cáscara en un Kg de peso fresco en el tercer corte.....	96
Figura 22	Volumen de frutos en un Kg de peso fresco en los cinco cortes.....	98
Figura 23	Diámetro del tallo a dos cm de altura	99
Figura 24	Altura de las plantas de tomate de cáscara	100
Figura 25	Altura de plantas de tomate de cáscara con el uso de acolchado plástico.....	100
Figura 26	Altura de plantas de tomate de cáscara bajo dos sistemas de manejo.....	101
Figura 27	Altura de plantas de tomate de cáscara a los 65 ddt con la aplicación radical de bióxido de carbono	102
Figura 28	Número de hojas por planta de tomate de cáscara a los 20 ddt.....	103
Figura 29	Número de flores por planta de tomate de cáscara	104
Figura 30	Longitud de entrenudos del tallo de tomate de cáscara.....	105
Figura 31	Área foliar por planta de tomate de cáscara a los 65 ddt.....	106
Figura 32	Peso de materia seca de hojas de tomate de cáscara a los 65 ddt.....	108
Figura 33	Peso de materia seca de tallos a los 65 ddt en tomate de cáscara	110
Figura 34	Acidez total en hojas de tomate de cáscara (%).....	111
Figura 35	pH del suelo a los 59 ddt en tomate de cáscara	112
Figura 36	Concentración de bióxido de carbono en los suelos (ppm).....	113
Figura 37	Tasa de fotosíntesis aparente de hojas de tomate a los 59 ddt.....	114
Figura 38	Temperatura del suelo entre la 7 y 8 am (°C).....	115
Figura 39	Temperatura del suelo a las 12 am (°C).....	116
Figura 40	Temperatura del suelo entre las 4 y 6 pm (°C).....	117

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en dos fases, la primera entre julio y diciembre de 1995 en condiciones de hidroponía bajo invernadero, y la segunda entre marzo y julio de 1996 en Chapingo, México, usando la variedad CHF1-Chapingo selección 10 de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.) bajo condiciones de riego por goteo y cielo abierto.

En la primera fase experimental se evaluó diferentes concentraciones y momentos de aplicación radical de bióxido de carbono provenientes de la inyección de CO₂ gaseoso, de la cual se constituyeron 24 tratamientos que se estudiaron usando el diseño experimental en bloques completos al azar con arreglo factorial con cuatro repeticiones y donde la unidad experimental fue una planta.

Los resultados obtenidos muestran que la aplicación radical de 300 y 1200 ppm de CO₂ a través del agua de riego produjo un mayor número y peso de frutos, mayor elongación de plantas (longitud de ramas y altura del primer simpodio) y mayor área foliar en comparación a los tratamientos testigo y 600 ppm. Esta respuesta se debió a que la aplicación de bajas concentraciones de CO₂ disminuyen el pH del suelo, el cual permite una mayor absorción de ciertos elementos nutritivos, principalmente en sustratos con bajo poder amortiguador como la arena de tezontle que fue regado con agua que presentó un pH de 7.5. Por otro lado, las altas concentraciones de CO₂ en el agua de riego (1200 ppm), liberan carbono al aire, el cual favorece la tasa de fotosíntesis de las hojas inferiores de las plantas. La mejor respuesta en las plantas de tomate de cáscara se observó cuando la aplicación de agua carbonatada se realizó existiendo 10 bolsas por planta, lo cual coincide con la máxima formación de órganos reproductivos en la planta. De estos resultados se concluyó que la aplicación radical de 300 y 1200 ppm de CO₂ durante 10 bolsas por planta son los tratamiento de mejor respuesta.

En la segunda fase experimental se evaluaron diferentes niveles de aplicación radical de CO₂ (testigo y los dos mejores tratamientos de la primera fase experimental), acolchados plásticos y

sistemas de manejo, los cuales generaron 18 tratamientos de estudio que se evaluaron usando un diseño experimental en bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones y donde la unidad experimental se constituyó de 75 plantas.

La aplicación de CO₂ al suelo, que presentó un pH de 6.78, no produjo cambios significativos de la concentración de CO₂ en la solución suelo, porcentaje de ácidos totales en las hojas y pH del suelo, los que no indujeron diferencias significativas del crecimiento y desarrollo del tomate con respecto al testigo. Asimismo, en la conducción en espalderas se modificó el patrón de crecimiento de las plantas, las que produjeron un menor rendimiento inicial y mayor rendimiento total debido a la supresión del maltrato mecánico de las plantas en las primeras cosechas, mismo que hicieron posible una mayor producción de frutos en los últimos tres cortes en comparación al manejo tradicional en piso.

Los acolchados plásticos (bicapa y transparente) elevaron la temperatura del suelo entre 10 a 17% que propició un mayor y acelerado crecimiento vegetativo (altura de planta, número de hojas, longitud de ramas, área foliar, diámetro de tallo, materia seca de hojas y tallos), lo que aunado a la mayor conservación de la humedad del suelo resultó en mayor número de flores, peso y número de frutos, rendimiento inicial y total.

La conducción con espalderas, aplicación radical de 1200 ppm de CO₂ y acolchado blanco/negro produjo el mayor rendimiento total (83.8 ton/ha) y presentó una relación beneficio/costo de 0.52, que fue menor al obtenido por el tratamiento testigo que rindió 42.8 ton/ha y presentó una relación beneficio/costo de 0.55. Sin embargo, el tratamiento con acolchado blanco/negro, sin CO₂ adicional y conducido en piso, presentó la mayor relación beneficio/costo (1.08) y un rendimiento total de 75.6 ton/ha, el cual no presentó diferencias estadísticas con respecto al tratamiento de mayor rendimiento total.

SUMMARY

The present work took place in two experiments, the first one between July and December 1995 under a hydroponics system in the greenhouse, and the second between March and July 1996 in Chapingo, Mexico with the cultivar CHF1-Chapingo selection 10 of husk tomato (*Physalis ixocarpa*, Brot.) under drip irrigation in the field.

In the first experiment different concentrations and times of application of CO₂ to the roots were evaluated, using gaseous CO₂, 24 treatments were studied using a completely random plot design with factorial arrangement, with four replicates being one plant the experimental unit.

Results show that radical application at 300 and 1200 ppm of CO₂ through the irrigation induced higher number and weight of fruits, more growth of plants (length of branches and height to the first sympodium) and greater leaf area compared to the control and the 600 ppm treatment. This result was due to the fact that application of low CO₂ decreases soil pH, allowing more absorption of certain mineral elements, specially in substrates with low buffer capacity like tezontle sand irrigated with water showing pH of 7.5. On the other hand, the high CO₂ concentrations in the water for irrigation (1200 ppm) liberates carbon to the air, having a beneficial effect on photosynthetic rate of the lowest leaves of the plants. The best response in the husk tomato plants was observed with carbonated water applications when there were 10 bags per plant, which takes place at the same time of maximum development of reproductive organs in the plant. Some conclude that radical application between 300 and 1200 ppm of CO₂ at ten bags per plant gives the best result.

In the second experiment, different levels of CO₂ applied to the roots were used (control and the two best treatment of the first experiment), plastic mulches and growth management were used, generating 18 treatment using a completely random split plot design with four replication where the experimental unit consisted of 75 plants. CO₂ applied top the soil, which showed a pH of 6.78, didn't induced significant changes in the CO₂ in the soil solution, nor in total organic acids in the leaves and soil pH, not obtaining significant differences in growth or development of

tomatillo compared to the control. Like wise, when tutors were used, the type of plant growth was modified, having a lower initial yield and highest total yield due to the avoidance of mechanical damage of the plants in the first harvest, causing at the same time highest production of fruit in the last three harvest dates compared with the traditional management.

The plastic mulches (white/black and transparent) increased the soil temperature between 10 at 17% which induced more growth (plant height, number of leaves, length of branches, stem diameter, dry weight of leaves and stems) the associated with higher humidity of the soil resulted in higher number of flowers, weight and number of fruits, initial and total yield. The tutors, radical application of 1200 ppm of CO₂ and white/black mulch induced a higher total yield (83.8 ton/ha) and showed a higher benefit/cost ratio of 0.52 which was lower than the one obtained by the control (42.8 ton/ha) and showed benefit/cost ratio of 0.55. However, the treatment of white/black mulch, with no additional CO₂ and without tutor (traditional system) showed a higher benefit/cost ratio (1.08) and total yield of 75.6 ton/ha, which was not significantly different to the treatment with highest total yield.

I. INTRODUCCIÓN

La importancia del cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.) radica en el aumento del 64% de la superficie cultivada y del 131% del volumen de producción entre 1980 y 1993, el mayor consumo per cápita entre la década de los 50's y 90's, el cual aumentó en 1250%, la mayor tolerancia a plagas y enfermedades, resistencia al manejo postcosecha y en la alta demanda de mano de obra que ocupa en comparación a otros cultivos, todo lo cual ha ubicado a este cultivo entre las cinco principales hortalizas de México.

Con base en que el crecimiento de la superficie agrícola en México es prácticamente nulo y a la necesidad de adoptar una sólida tendencia agroexportadora; los sistemas intensivos de producción, a través de la adaptación y mejoramiento de técnicas de producción, se posicionan como una alternativa para incrementar la producción y la rentabilidad de los cultivos aumentando la cantidad y calidad, principalmente en cultivos como el tomate de cáscara donde el creciente desarrollo de nuevas variedades requiere del desarrollo paralelo de técnicas de producción.

La limitación de los recursos naturales (suelo, agua, etc.) y de las condiciones ambientales para la producción de los cultivos, exige del desarrollo y/o adopción de nuevas tecnologías en zonas donde la estación de crecimiento es restringida, ya sea por bajas temperaturas, exceso de lluvias en la fase final del cultivo, o para la producción en la estación de baja oferta del producto; dichas tecnologías pueden ser: producción con riego localizado, uso de plásticos (acolchado, invernaderos, etc.), trasplantes y fertilización individualizada, uso de variedades mejoradas, manejo en espalderas, entre otros.

La asimilación del carbono utilizado en la fotosíntesis proviene directamente del bióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y en menor cuantía de lo absorbido por las raíces de las plantas de la solución del suelo, el cual se incorpora en moléculas orgánicas complejas dentro de la

célula y posteriormente se distribuye de los sitios de síntesis a los lugares de crecimiento o almacenamiento. En este sentido, la modificación de la cantidad de bióxido de carbono del ambiente se ha restringido a lugares cerrados como los invernaderos, con el fin de incrementar la fotosíntesis, disminuir la fotorrespiración, principalmente en plantas C_3 , y aumentar el rendimiento económico de los cultivos. Así, el enriquecimiento con carbono inorgánico a la solución del suelo en la que se encuentra el sistema radical está en función de las condiciones ambientales y el tipo de cultivo. En algunos casos se han reportado respuestas favorables y en otros se desconoce el efecto, entre estos el tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.), lo cual motivó el presente trabajo de investigación.

El uso del acolchado de los suelos genera diversas respuestas favorables en los cultivos, en donde entre otras, aumenta el rendimiento total y comercial, mejora la calidad y posibilita la obtención de cosechas en estaciones de baja oferta. En este sentido, se justifica la producción del cultivo de tomate de cáscara porque hasta el momento se desconoce el máximo potencial de la especie en sistemas intensivos de producción. Del mismo modo, el maltrato mecánico (ruptura de ramas) que sufren las plantas en los diversos cortes que se realizan y la pérdida de calidad del fruto por el contacto del follaje y los frutos con el suelo, principalmente en regiones lluviosas, disminuyen el rendimiento y la calidad del fruto, lo cual puede ser contrarrestado con el manejo en espalderas.

Con base en lo anterior, los objetivos e hipótesis del presente trabajo fueron :

OBJETIVOS :

1. Evaluar el efecto que tiene el suministro de bióxido de carbono, a través del agua de riego, en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.)
2. Determinar el comportamiento del tomate de cáscara al utilizar acolchados plásticos del suelo.

3. Evaluar la respuesta agronómica del tomate de cáscara bajo los sistemas de manejo convencional (piso) y con espaldera.
4. Estimar la factibilidad económica de la producción de tomate de cáscara bajo diferentes sistemas de manejo.

HIPÓTESIS :

1. La aplicación de agua carbonatada al medio de desarrollo radical permite la absorción de carbono por las raíces de las plantas, favoreciendo algunos procesos que conducen a un mayor rendimiento del cultivo de tomate de cáscara.
2. El uso de los acolchados plásticos de los suelos influye sobre la morfogénesis del cultivo provocando mayor precocidad, rendimiento y calidad de las cosechas.
3. La conducción de plantas en espalderas evita el maltrato mecánico en las cosechas, alargando el período de vida y aumentando el rendimiento comercial, principalmente en la etapa final del cultivo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL CULTIVO DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa*, Brot.)

2.1.1 Importancia

El tomate de cáscara es una de las hortalizas más importantes en México, tanto por el uso alimenticio y nutrimental, por formar parte en la preparación de diversos platillos tradicionales, como por la extensión de superficie y volumen de producción en el país (Saray y Palacios, 1977; Gobierno del Estado de México, 1995).

La producción del tomate de cáscara se concentra principalmente en los Estados de Sinaloa, Hidalgo, Puebla, Michoacán, México, Guanajuato, Sonora y Morelos (SAGAR, 1994). En el Estado de México, los distritos de mayor producción de tomate de cáscara son Tejupilco, Coatepec Harinas, Valle de Bravo, Texcoco y Zumpango (Gobierno del Estado de México, 1995); sin embargo, se cultiva en 26 Estados de la República.

El consumo del tomate de cáscara a nivel nacional se ha incrementado considerablemente entre la década de los 50's y 90's, siendo el consumo entre 1945 a 1949 de 0.259 kg/persona/año y en 1994 de 3.5 (Gómez *et al.*, 1991; SAGAR, 1994).

La producción nacional de hortalizas en 1993 fue de 7.2 millones de toneladas (625,930 hectáreas), de la cual el tomate de cáscara ocupó el quinto lugar en volumen de producción con el 5.1% (35,000 hectáreas), precedido por el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) con 23.5%, la papa con 15.7%, el chile verde con 12.1% y la cebolla con 9.2% (SAGAR, 1993).

En el período 1990-1993 el rendimiento promedio nacional de tomate de cáscara fue 11.2 ton/ha, siendo los Estados de Morelos y México los de mayor rendimiento con 12.4 y 12.3 ton/ha, respectivamente. La superficie de siembra aumentó en 8% anual entre 1989 y 1994; y el volumen total de producción en 5.6%.

En México, el tomate de cáscara se cultiva todo el año, tanto en el ciclo otoño-invierno como en primavera-verano. En 1993, el primer ciclo registró el 55.1% de la producción nacional y el segundo el 44.9%, conduciéndose la mayor parte del cultivo en superficies bajo riego (77.5%) y el resto en condiciones de temporal. Genera gran demanda de mano de obra, en promedio 88 jornales por hectárea, en comparación a los cultivos básicos como maíz y frijol que demandan 25 y 27 jornales por hectárea, respectivamente (Soldevilla, 1996).

La importancia nutricional del tomate de cáscara radica en su alto contenido de vitaminas como tiamina, riboflavina, niacina y ácido ascórbico (Souza, citado por Peña y Márquez, 1990) y de energía para el hombre (Comisión Nacional de Alimentación, citado por Montalvo, 1996).

2.1.2 Características agroecológicas

El tomate de cáscara es originario de México, donde ya era conocido por la cultura Azteca. Existen muchos materiales silvestres que crecen en la vertiente del pacífico, desde California hasta Guatemala y Nicaragua (Menzel, citado por Peña y Márquez, 1990). En 1957, se cultivaba sólo en México y centro América, pero en la actualidad, varios países de Europa y Asia cuentan con el germoplasma y posiblemente sea cultivado en el futuro.

Montes (1989) reporta que el cultivo de tomate de cáscara se desarrolla en un rango altitudinal que va de los 10 msnm en Tres Valles, Veracruz, hasta los 2600 msnm en el Estado de México; sin embargo, la especie *Physalis ixocarpa*, Brot. se desarrolla adecuadamente a los 3400 msnm

en la ciudad del Cuzco, al sur del Perú¹. El tomate de cáscara es conocido también con los nombres comunes de tomate verde, tomate de hoja, tomatillo o tomate fresadilla (Castillo *et al.*, 1991).

La taxonomía del género *Physalis* presenta gran controversia por la gran heterogeneidad presente en el taxón, por la presencia de poblaciones intermedias y la ambigüedad de muchas descripciones; sin embargo, Benson (citado por Montalvo, 1995) presenta la siguiente clasificación hecha por Brotero :

Reino	:	Vegetal
Subreino	:	<i>Plantae</i>
División	:	<i>Spermatophyta</i>
Clase	:	<i>Angiospermae</i>
Subclase	:	<i>Dicotyledonae</i>
Orden	:	Polemoniales
Familia	:	<i>Solanaceae</i>
Tribu	:	<i>Solanae</i>
Género	:	<i>Physalis</i>
Especie	:	<i>ixocarpa</i>

El tomate de cáscara es una planta de tipo herbáceo anual que tiene entre 40 y 90 cm de altura, donde el hábito de crecimiento puede ser rastrero, semierecto y erecto. La mayoría de las especies del género *Physalis* son diploides ($2n=24$), entre éstas se encuentran las especies de *P. ixocarpa*, Brot., *P. pubescens* y *P. phyladelphica* Lam., *P. subglabrata*; mientras que las especies *P. angulata*, *P. peruviana* y *P. minima* presentan $2n=48$ (Menzel, 1951).

¹ Comunicación personal del M.C. Leonidas Concha T.

El sistema radical es muy superficial presentando raíz del tipo pivotante, el cual puede medir más de 80 cm (Mulato, 1984) a la vez puede presentar ciertas modificaciones y tener raíces fibrosas y de poca penetración (Cartujano, 1984).

El tallo es de crecimiento herbáceo con ramificaciones de tipo simpodial de dicotomía original (Gola, citado por Mulato, 1984). La longitud del tallo va de 0.4 a 0.9 m y el diámetro del tronco principal es de 1.1 a 1.3 cm. El tallo como las hojas en las diferentes fases de crecimiento presentan pubescencias que desaparecen a medida que la planta crece. Presentan hojas simples y alternas, de forma ovada con tamaño que varía de cinco a diez cm de largo por cuatro a seis de ancho, bordes generalmente dentados y peciolo de cuatro a seis cm de largo (Saray y Loya, 1977).

Las flores perfectas tienen cinco pétalos amarillos con manchas tenues azulverdosa, corola de uno a dos cm de diámetro. La diferenciación de las yemas florales ocurre entre los 17 y 20 días después de la nascencia y presentan cinco estambres azulvioleta de 0.2 a 0.4 cm de largo, los cuales se encorvan después de la dehiscencia.

La flor del tomate presenta incompatibilidad gametofítica determinada por dos *loci* independientes con alelos múltiples (Pandey, 1957), lo cual permite que las plantas se comporten como alógamas obligadas necesitando de polinización cruzada, principalmente entomófila.

El fruto es una baya carnosa que se encuentra cubierto por el cáliz, pudiendo romperse éste a la madurez del fruto. El color del fruto va de amarillo, verde, hasta morado y sus combinaciones. Las semillas del tomate de cáscara están contenidas en el fruto, los cuales generalmente se encuentran en gran cantidad (≈ 400 semillas por fruto). Las semillas son de color amarillo opaco en el estado maduro, son de forma aplanada, miden aproximadamente dos milímetros de largo (SAGAR, 1991) y aproximadamente 100 semillas pesan 0.16 gramos (Garza, 1991).

Las condiciones ambientales favorables para el desarrollo del cultivo de tomate descrito por Saray y Loya (1977) son temperaturas de 20 a 22 °C. De 22 a 25 °C es el óptimo para el crecimiento vegetativo, con 30°C el crecimiento disminuye y puede cesar por arriba de 40 °C. La floración necesita temperaturas de 30 a 32 °C, pudiendo deshidratarse el tubo polínico a temperaturas mayores, lo cual provoca una polinización incompleta y frutos mal formados.

La humedad de los suelos es crítica en la etapa de germinación, emergencia y trasplante del cultivo, el resto del ciclo necesita de 60% de la humedad a capacidad de campo ya que en condiciones de sequía el tomate de cáscara tiende a emitir rápidamente flores, acelerar la maduración, producir frutos en menor cantidad, tamaño y con sabor más ácido. El cultivo de tomate de cáscara se adapta a diversos tipos de suelos desde arenosos hasta arcillosos; sin embargo, el suelo de textura arcillo-arenoso (franco) con pH entre 5 a 7 es el óptimo para su desarrollo.

El tomate de cáscara es una especie medianamente exigente a la intensidad lumínica debido al bajo contenido de azúcares en los frutos. Las variedades comerciales requieren alrededor de 5,000 a 7,000 luxes y 10 horas de luz por día (Peña, citado por Moreno y Torres, 1996).

La gran variabilidad genética del tomate de cáscara existente se agrupa en ocho tipos : Puebla, Salamanca, Rendidora, Manzano, Tamazula, Arandas, Milpero y Silvestre (Ayala et al., 1992; Peña et al., 1992).

En el tipo "Rendidora" de tomate de cáscara se distinguen cuatro fases de crecimiento (Cartujano, 1984) :

- 1. Incrementos crecientes (0-42 días)**, donde hay incrementos importantes del área foliar y del peso seco total, ocurre la diferenciación de yemas florales y la aparición de botones;

2. **Incrementos máximos de tipo rectilíneo (42-63 días)**, donde se incrementa el área foliar, la materia seca total y ocurre gran engrosamiento y elongación de tallos; asimismo, ocurre la mayor formación de órganos reproductivos y se inicia la caída de flores;
3. **Incrementos decrecientes (63-77 días)**, donde se desacelera el aumento del área foliar y materia seca total. En esta fase la planta alcanza el área foliar máxima y gran producción de órganos generativos creando competencia entre frutos y flores por lo cual abortan. Se inicia del mismo modo la cosecha de frutos;
4. **Decrecimiento (77 días al final del ciclo)**, ocurre la disminución del área foliar y se presenta la máxima acumulación de materia seca total y se produce la máxima cosecha.

2.2 EL CARBONO EN LAS PLANTAS

2.2.1. Importancia del carbono para las plantas

El carbono es uno de los cuatro elementos organogénicos de las plantas, conjuntamente con el oxígeno, hidrógeno y nitrógeno que forman parte de la composición de proteínas, almidón, azúcares, celulosa, grasas, ácidos orgánicos y otras pentosas que son los compuestos más abundantes en las plantas (Yagodin, 1986).

El carbono es utilizado por las plantas en la producción de energía metabólica a través del proceso de fotosíntesis y de respiración, energía que es usada en el crecimiento, acumulación de biomasa, desarrollo y reproducción de las plantas (Cralle y Vietor, 1989).

El carbono es fijado por las plantas a través del proceso de fotosíntesis, siendo en mayor proporción absorbido directamente de la atmósfera para la formación de moléculas orgánicas y

su distribución a lugares de almacenamiento y/o crecimiento (Cralle y Vietor, 1989). Las plantas también absorben carbono a través del sistema radical (Arteca *et al.*, 1979; Arteca y Poovaiah, 1982; Vapaavuori y Pelkonen, 1985; Mauney y Hendrix 1988; Yang *et al.*, 1994; Storlie y Heckman, 1996a) incorporándolo a la planta principalmente como ácidos orgánicos y bióxido de carbono que pueden ser usados en la asimilación y traslocación de cationes de las raíces al dosel de las plantas (Jackson y Coleman, 1959).

El bióxido de carbono por factores fisicoquímicos y/o biológicos en la naturaleza puede formar carbonatos, ácidos orgánicos o carboxílicos que son óxidos del carbono (C_3O_2 , C_5O_2 , CO y CO_2) los cuales se integran al proceso de fotosíntesis en las plantas. Los compuestos del carbono inorgánico en el agua son CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- , $CO_3^{=}$ (Helder, 1988) y la abundancia relativa de estos en la solución del suelo está en función del pH de la misma.

En los últimos 100 años, la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera se ha incrementado de 280 a 350 ppm (Bacastow, citado por Enoch, 1990), y entre 1958 y 1990 de 318 a 355 ppm (Rogers y Dehlman, 1993). Del mismo modo, se predice que la tasa de incremento de la concentración en la atmósfera en los futuros 50 años será del 2.3% anual, alcanzando una concentración de 600 ppm en el año 2050 (Keepin, citado por Pearman, 1988), con picos que pueden alcanzar los 2500 ppm debido principalmente a actividades antropogénicas (Bacastow, citado por Enoch, 1990), lo que incrementaría el contenido de carbono inorgánico de las aguas naturales (Houghton, citado por Solís, 1994).

La investigación con diferentes concentraciones de bióxido de carbono en el ambiente de las plantas se inició en 1772, cuando Joseph Priestley observó un mayor crecimiento de las mismas cuando elevó la concentración atmosférica utilizando velas de combustión. En 1804, De Saussure reportó el incremento del peso seco en las plantas causado por la asimilación de cierta cantidad de bióxido de carbono (Rabinowitz, citado por Enoch, 1984). Posteriormente se han realizado diversos experimentos de enriquecimiento de la atmósfera con el objetivo de aumentar la productividad de los cultivos bajo invernadero (Wittwer y Robb, 1964; Wittwer, 1985;

Enoch, 1990) principalmente en plantas C_3 que aumentan su peso en 58% y evidencian mayor incremento de la fotosíntesis que plantas C_4 , que registran incrementos de peso en 22%, y plantas CAM en 15% (Wong, 1979; Rogers y Dehman, 1993; Salisbury y Ross, 1994). También se determinó que el potencial de incremento de la producción de los cultivos hortícolas es mayor con aplicaciones de bióxido de carbono (Kretchman, citado por Hopen, 1975).

La poca disponibilidad de ambientes cerrados y la imposibilidad de la aplicación de CO_2 en ambientes abiertos (Harper, citado por Hopen y Oebker, 1975) han conducido a la realización de investigaciones del aumento de la productividad mediante la aplicación de bióxido de carbono a las partes subterráneas de las plantas. Del mismo modo, el creciente incremento del bióxido de carbono atmosférico y consecuentemente en las aguas naturales, justifica la investigación de sus efectos sobre el desarrollo de las plantas. Así, la fijación del carbono por las raíces fue inicialmente reportada en el cultivo de cebada (Overstreet *et al.*, citado por Solís, 1994) y posteriormente en cebolla y soya (Graf y Aronoff, 1955).

Las fuentes naturales de bióxido de carbono que pueden ser tomadas por las raíces de las plantas se encuentran contenidas en las aguas naturales, en las partículas del suelo y en la materia orgánica. En esta última, la cantidad de carbono que puede desprenderse depende de la cantidad de materia orgánica total presente en el suelo y del porcentaje de descomposición, pudiendo en algunos casos alcanzar mayores concentraciones que el ambiente (0.5 a 1.5%) (Larcher, citado por Vapaavuori y Pelkonen, 1985).

El nivel de pérdida de carbono de los suelos está en función a la textura y al nivel de humedad presente en el mismo. El carbono que está en equilibrio con el agua del suelo se encuentra en su mayoría como ácido carbónico, el cual fomenta disociaciones de HCO_3^- y $CO_3^{=}$ que dependen del pH del medio. Por ejemplo, a pH 5 más del 96% del carbono disuelto está en forma de CO_2 ; pero a pH 8 el 97.2 % del carbono está como HCO_3^- (Jarvis, citado por Vapaavuori y Pelkonen, 1985).

El bióxido de carbono disuelto en el agua (agua carbonatada) que es aplicado al ambiente radical de las plantas puede ser fijado por la enzima Fosfoenol Piruvato Carboxilasa (PEP-casa) presente en las raíces de las plantas y ser transformado en ácidos orgánicos (malato, aspartato, cítrico, etc.), los cuales pueden traslocarse a las hojas a través de la savia del xilema. Los ácidos orgánicos, principalmente malato en las hojas, pueden ser descarboxilados por enzimas descarboxilantes y liberar carbono al medio en forma de bióxido de carbono. El bióxido de carbono libre al interior de las hojas puede ser refijado por la enzima Ribulosa Bifosfato Carboxilasa (RUBISCO) y entrar al ciclo de Calvin de la fotosíntesis. También el bióxido de carbono como tal, puede transportarse por la savia xilemática y ser directamente absorbido por la RUBISCO en el proceso fotosintético (Arteca y Poovaiah, 1982).

El transporte del CO_2 o malato por la savia de la planta puede disminuir el pH celular (Espie y Colman, citados por Bown, 1985) y de la savia incrementando la proporción de CO_2/O_2 en las hojas, lo cual disminuye la fotorrespiración (Arteca y Poovaiah, 1982).

2.2.2 Mecanismos de acción del agua carbonatada

El efecto y mecanismo de la actividad del agua carbonatada sobre el incremento de la productividad de los cultivos aún no es totalmente conocido. Sin embargo, se han reportado ciertos efectos que contribuyen al incremento de la productividad de los cultivos.

2.2.2.1 Absorción y disponibilidad de nutrientes para las plantas y modificación del pH del suelo

La aplicación de agua carbonatada en suelos alcalinos puede disminuir temporal y parcialmente el pH. Esta situación es más evidente en suelos con bajo poder amortiguador (suelos con bajo contenido de materia orgánica), donde el pH del suelo puede disminuir a un nivel deseable que mejora la disponibilidad de ciertos nutrientes para las plantas.

Novero *et al.* (1991) reportan mayor absorción de Zinc (Zn^{2+}) en plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) regadas con agua carbonatada causado por la disminución del pH del suelo de 7.1 a 5.9. El resultado fue un mayor rendimiento comercial de frutos en 16.4%, ya que el pH del suelo se ubicó en el rango óptimo para el crecimiento de las plantas que es de 5 a 7 (Spurway, citado por Storlie y Heckman, 1996a)

Mauney y Hendrix (1988) reportan aumentos en el rendimiento del cultivo de algodón en 70 y 53% como resultado de la mayor absorción y concentración de Zn^{2+} y manganeso (Mn^{2+}) en plantas regadas con agua carbonatada. El pH del suelo bajó de 8.0 a 6.5 provocando mayor absorción de nutrimentos, lo cual robustece el aparato fotosintético de la planta. También reportó que el carbono absorbido por las raíces no se trasloca a la fibra, concluyendo que el incremento del rendimiento se debe a la mayor absorción de nutrimentos y no al carbono absorbido por las raíces.

Los riegos con agua carbonatada en un suelo franco arcilloso disminuyeron el pH del mismo de 7.5 a 6, induciendo a una mayor absorción de Zn^{2+} , Mn^{2+} , calcio (Ca^{2+}) y hierro (Fe^{2+}) en el cultivo de jitomate (Basile *et al.*, 1993; Bialczyk *et al.*, 1994; Arienzo *et al.*, citado por Storlie y Heckman, 1996a).

El crecimiento de las plantas y la absorción de nitrógeno, potasio (K^+) y Ca^{2+} se incrementó en plantas jóvenes de jitomate que fueron cultivadas en solución nutritiva concentrada con HCO_3^- , aunque este efecto favorable sólo se observó en un rango limitado de concentraciones de HCO_3^- (Bialczyk *et al.*, citado por Storlie y Heckman, 1996a).

La mayoría de científicos señalan que el efecto más importante del riego con agua carbonatada sobre las plantas es la mayor absorción de ciertos nutrimentos. Sin embargo, puede disminuir la absorción de otros (Arteca *et al.*, 1979; Stoffella *et al.*, 1995). Matocha y Mostaghimi (1988) reportan la reducción de la concentración de Fe^{2+} , P^{2-} , Mg^{2+} y Zn^{2+} en el tejido vegetal y a la vez

una reducción de la materia seca producida en el cultivo de sorgo que fue tratado con solución carbonatada por tres horas diarias.

El agua carbonatada es un ácido débil que se caracteriza como mejor solvente de los nutrimentos que el agua. Kimball *et al.*, citados por Enoch y Olesen (1993) reportan que las plantas regadas con agua carbonatada mostraron deficiencias de nitrógeno y Zn^{2+} . Efectos contrarios fueron reportados por Moore, citados por Enoch y Olesen (1993) en plantas de algodón donde el enriquecimiento con agua carbonatada incrementó la absorción de Zn^{2+} y Mn^{2+} debido posiblemente al cambio de pH.

Las bacterias que oxidan el amonio a nitrato en los suelos necesitan de cierta cantidad de bióxido de carbono para realizar óptimamente sus funciones. Rettger, citado por Enoch y Olesen (1993) reporta la existencia de más de 100 especies de bacterias nitrificantes en condiciones de alta concentración de CO_2 en el suelo. Clark (1968, citado por Storlie y Heckman, 1996a) determinó que la máxima nitrificación por las bacterias se realiza cuando la concentración de CO_2 en el suelo va de 5 a 29 $ml.L^{-1}$. Asimismo, Buyanousky y Wagner (1983) reportan que la concentración de CO_2 en los suelos puede ser de uno a 70 $ml.L^{-1}$. De los experimentos anteriores, se concluyó que la cantidad de nitrógeno disponible para las plantas depende de la concentración de CO_2 y de la intensidad de la actividad de los organismos nitrificantes en el suelo.

2.2.2.2 Aumento del carbono para la fotosíntesis

El carbono utilizado en el proceso fotosintético puede derivarse parcialmente del CO_2 absorbido por las raíces de las plantas de la solución del suelo (Nakayama y Bucks, 1990; Novero *et al.*, 1991). El CO_2 o malato disuelto en la savia del xilema es transportado a las hojas y es usado como sustrato en la fotosíntesis o como fuente de energía de otras reacciones de la planta (Arteca y Poovaiah, 1982).

La mejor evidencia del uso del carbono absorbido por las raíces en la fotosíntesis es en la especie *Stylites andicola*, planta de los andes de América del sur, que posee hojas sin estomas y donde todo el CO_2 consumido en la fotosíntesis proviene de lo absorbido por las raíces (Keeley, citado por Storlie y Heckman, 1996a). Del mismo modo, Mauney y Hendrix (1988) observaron incrementos de la cantidad de clorofila en hojas de algodón lo cual aumenta la actividad fotosintética del cultivo. Similar comportamiento fue reportado por Arteca *et al.* (1979) en el cultivo de papa, donde la cantidad de clorofila total aumenta en proporción al incremento del peso seco total.

En muchos cultivos se ha reportado la importancia de la absorción de bióxido de carbono a través del sistema radical, tal el caso de papa, berenjena, arroz, jitomate, chicharo, frijol, avena, maíz, trigo y cítricos (Storlie y Heckman, 1996a); sin embargo, otros trabajos como el de Schefer (1988), reporta que sólo el 0.44 y 1.2% del CO_2 total asimilado por la planta proviene del carbono absorbido por las raíces.

2.2.2.3 Enriquecimiento del aire del suelo

De acuerdo a la ley de Henry, la aplicación de agua carbonatada al suelo puede incrementar la concentración de CO_2 del aire del suelo, favoreciendo la productividad de los cultivos. Este efecto es más evidente con el uso de acolchados plásticos el cual impide la pérdida del CO_2 de la atmósfera del suelo al ambiente aéreo, incrementando el crecimiento radical y la absorción de nutrimentos por plantas de jitomate (Novero *et al.*, 1991).

Baron y Gorski (1986) reportan que las aplicaciones de CO_2 entre 0.3 y 15% al sustrato del cultivo y el uso de acolchados plásticos permite el aumento del diámetro del tallo, materia seca, área foliar y rendimiento de frutos en el cultivo de berenjena.

La mayor concentración de CO_2 en la atmósfera del suelo resultante del riego con agua carbonatada altera o inhibe la biosíntesis y acción del etileno, promoviendo el crecimiento de las

raíces (Govindarajan y Poovaiah, 1982; Jackson, citado por Storlie y Heckman, 1996a). Del mismo modo, la mayor concentración de CO_2 en las células de las hojas puede afectar el balance enzimático y hormonal de las plantas modificando la fotosíntesis, respiración u otros procesos de las plantas (Govindarajan y Poovaiah, 1982).

2.2.2.4 Enriquecimiento del dosel de la planta

El riego con agua carbonatada en los cultivos puede aumentar la concentración de CO_2 del aire circundante al dosel de la planta. El aire a un cm sobre el suelo tiene mayor concentración de CO_2 (2.2 a 6.1 veces) que plantas de jitomate que no fueron regadas con solución enriquecida de CO_2 (Novero *et al.*, 1991). Del mismo modo, a 15 cm de altura la concentración de CO_2 es mayor en 1.2 a 1.5 veces, concluyendo que el incremento del rendimiento del cultivo de jitomate es debido parcialmente al enriquecimiento aéreo con CO_2 a partir de fertilización carbonatada por vía radical.

El riego con agua carbonatada por dos a tres horas diarias en el cultivo de jitomate en condiciones de invernadero eleva la concentración de CO_2 del aire circundante a la planta incrementándose hasta 800 ó 850 ppm comparado con el testigo sin aplicación de agua carbonatada que tiene 260 a 320 ppm y el exterior con 335 ppm (Moresten, citado por Enoch y Olesen, 1993). Storlie y Heckman (1996b) reportan que el riego con agua carbonatada en el cultivo protegido de pimiento con acolchado plástico incrementa la concentración de CO_2 del ambiente en 1.3 veces sobre la superficie acolchada; sin embargo, a 15, 30 y 45 cm de altura no cambió la concentración.

La concentración de CO_2 del aire que circunda a las plantas de *Poinsetia* y *Cyclamen* es mayor en 800 ppm cuando se riega con agua carbonatada, manteniéndose esta mayor concentración por una hora después del riego luego del cual disminuye (Zornbach, citado por Enoch y Olesen, 1993). Plantas ornamentales cultivadas en invernaderos y regadas con agua carbonatada registran mayor concentración de CO_2 del aire circundante al follaje que plantas no regadas con

CO₂. Entre las 5 y 8 am, la concentración es mayor en 700 ppm, y en 500 ppm entre las 12 y 15 horas (Molitor *et al.*, citados por Enoch y Olesen, 1993).

2.2.2.5 Interacción del bióxido de carbono con los pesticidas

La mayor concentración de bióxido de carbono en los suelos contrarresta el efecto nocivo de los insecticidas sobre la población de organismos nitrificantes presentes en los mismos. La aplicación de chlorpyrifos, metalachlor, fenamifos y EPTC en concentraciones de uno a diez (mg.L⁻¹) afecta la oxidación del amonio en el suelo cuando la concentración de CO₂ del mismo es baja; sin embargo, este efecto no ocurre cuando el CO₂ del suelo está en concentraciones óptimas. De este modo, se determinó que la disponibilidad de nitrógeno para las plantas depende también de la aplicación de pesticidas y del nivel de CO₂ presente en el suelo, el cual puede aumentar con riegos con agua carbonatada (Saltzman, citado por Enoch y Olesen, 1993). Sin embargo, cuando las dosis de aplicación de pesticidas al suelo son altas (100 mg.L⁻¹) la concentración de CO₂ en el suelo no tiene ningún efecto benéfico sobre la población de organismos nitrificantes.

Del 37 al 46% de la oxidación del nitrógeno ocurre en 5 días en los suelos con óptimas concentraciones de bióxido de carbono. Con la aplicación de metalachlor y EPTC, la oxidación del 53 al 70% del nitrógeno ocurre en 14 días en condiciones deficientes de CO₂ y en 64 días con la aplicación de chlorpyrifos y fenamifos (Saltzman, citado por Enoch y Olesen, 1993).

Las respuestas favorables en las plantas por la aplicación radical de bióxido de carbono depende de las condiciones ambientales como la longitud del día, temperatura, frecuencia de riegos con agua carbonatada, capacidad de retención de humedad del sustrato, reacción y textura del suelo, presión de concentración de bióxido de carbono en el agua, especie de planta (Storlie y Heckman, 1996a).

2.3 USO DE MATERIALES PLÁSTICOS EN LA AGRICULTURA

2.3.1 Situación e importancia de la plasticultura

Desde que el profesor Emery Meyer de la Universidad de Kentucky utilizó por primera vez el polietileno en la agricultura después de la segunda guerra mundial en 1948, se han desarrollado diversas aplicaciones de los plásticos en la agricultura como el acolchado de suelos, uso de microtúneles de cultivo y cubiertas de invernaderos, principalmente, los cuales han ayudado a resolver algunos de los problemas que los agricultores presentan en muchos países del mundo.

En los últimos años, el uso de los materiales plásticos se ha extendido rápidamente en muchas regiones del mundo, donde es considerado un elemento indispensable en ciertas técnicas de producción de cultivos.

La amplia gama de aplicaciones que tienen los materiales plásticos en la agricultura (más de 200) permiten la transformación de operaciones marginales en empresas rentables. Así, los plásticos son una respuesta económica a los problemas de bajos rendimientos, precocidad de las cosechas, disponibilidad de agua de riego, drenaje, embalaje, transporte y otros, los cuales han mejorado la relación beneficio/costo obtenido por los agricultores (Robledo y Martín, 1988).

La plasticultura es una ciencia con no más de 50 años, la cual se ocupa de la ingeniería de la utilización de los plásticos en la agricultura y horticultura moderna. La plasticultura contribuye eficazmente a la elevación del nivel de vida de los agricultores, al aumento de la producción fuera de estación y a la reducción de la migración de los pueblos por hacer el trabajo en el campo menos duro y más rentable² (Robledo y Martín, 1988).

² Palabras del Dr. M. Mendizábal, Presidente del Comité Español de Plásticos en Agricultura, dirigidas en la conferencia inaugural del Primer Simposio Nacional celebrado en 1967 en Barcelona-España.

Con el desarrollo del polietileno como película plástica en 1938 y su posterior introducción en el acolchado de suelos, la producción comercial de hortalizas a nivel mundial evolucionó, considerando el uso eficiente de los recursos para intensificar la producción vertical, horizontal y el aprovechamiento del espacio. En este sentido, se considera a la técnica del acolchamiento de suelos la piedra angular de los sistemas de producción intensiva de hortalizas. Sin embargo, en el paquete de la producción intensiva se incluyen el sistema de riego por goteo, la fertirrigación, los trasplantes individualizados, las barreras cortavientos de granos, los microtúneles y un programa de control de plagas (Lamont, 1993).

La tecnología con plásticos a nivel mundial es apreciada principalmente en China, Japón, Holanda, Israel y Egipto, que se caracterizan por tener alta densidad poblacional, limitada cantidad de terreno y agua, y donde el clima es adecuado para el desarrollo de la plasticultura; sin embargo, la aplicación de los plásticos en la agricultura se extiende del Ecuador hasta el ártico y antártico (Wittwer, 1993).

Las estadísticas de la superficie cubierta y el volumen de plásticos utilizados a nivel mundial señalan que existe un gran aumento en el uso de estos materiales en la agricultura. En 1988 cerca de cuatro millones de hectáreas fueron cubiertas con películas plásticas, 265 mil hectáreas cultivadas bajo microtúneles, y cerca de 200 mil hectáreas cultivadas en invernaderos, lo cual muestra un crecimiento de 1073%, 163% y 115%, respectivamente, en relación a 1980 (Jensen y Malter, 1995).

El gran crecimiento de la superficie de cultivo con acolchados plásticos se debe principalmente al aumento de esta técnica en el continente asiático, específicamente en China (Cuadro 1), donde las coberturas plásticas se emplean en más de 90 cultivos, principalmente hortalizas, algodón, caña de azúcar y cacahuete. El aumento de la superficie con acolchados en China se debe parcialmente al subsidio del Gobierno sobre los costos de los materiales plásticos y al menor costo del material por el uso generalizado de filmes extradelgados conocidos como de extra baja densidad (Jensen y Malter, 1995).

Cuadro 1. Evolución de la superficie con acolchados plásticos en China.

Año	Area (Hectáreas)
1979	44
1980	1666
1981	20920
1983	629133
1985	1500000
1987	2266666
1989	2867000

Fuente : Huang, 1989, citado por Jensen y Malter, 1995.

En México, el crecimiento de áreas de cultivo protegidas también presenta incrementos importantes, registrándose 16440, 52750 y 63550 hectáreas de cultivo con plástico en 1985, 1990 y 1995, respectivamente, y donde el peso del material utilizado fue de 34000 toneladas en 1994 (Morales, 1995). La superficie con acolchado de suelos también presenta incrementos importantes del orden de 1037 y 40% entre los periodos de 1985-90 y 1990-95 respectivamente (Reyes, 1993; Bringas, 1995). Las demás técnicas con el empleo de plásticos en México también registran incrementos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Superficie cubiertas con plásticos en México 1985-1995 (Hectáreas)

Técnica	1985	1990	1995
Acolchados	350	3982	5600
Microtúnel	1200	3790	4250
Invernaderos	490	624.1	980
Mallas	1400	4794	3700
Microaspersión	3600	11135	12450
Riego por goteo	9400	28408	35700
Cubiertas	0	17.2	870
Superficie total	16440	52750	63550

Fuente : COMEPA³ y CIPA⁴.

³ Consejo Mexicano de Plasticultura (COMEPA).

⁴ Comité Internacional de Plásticos Agrícolas (CIPA).

En la actualidad existe una gran diversidad de aplicaciones de los plásticos en la agricultura, donde los más importantes de acuerdo al volumen o cantidad utilizada son los siguientes:

1. Fumigación de suelos;
2. Acolchado de suelos;
3. Sustratos para la modificación de la estructura de los suelos;
4. Túneles de cultivo (macro y microtúneles);
5. Ensilado de forrajes;
6. Embalse de agua;
7. Cintas y tubos de riego;
8. Tubos de drenaje;
9. Redes antigranizo, corta viento, anti pájaro, anti helada, etc.;
10. Paredes o repelentes de insectos;
11. Mallas y cuerdas plásticas para tutorio de plantas;
12. Mallas sombra;
13. Contenedores de plantas (macetas, bandejas de germinación, etc.);
14. Sustrato de cultivo sin suelo;
15. Funda de frutos contra patógenos;
16. Envases y embalajes de productos e insumos agrícolas, entre otros.

2.3.2 Materiales usados en el acolchado de suelos

El uso de materiales orgánicos como cubierta de los suelos data de aproximadamente varios años antes de Cristo, donde los rastrojos de los cultivos eran usados para conservar la humedad y evitar la erosión del suelo. Sin embargo, a inicios del presente siglo toma gran importancia por las ventajas que provoca en los cultivos. Así, en la actualidad en diversas regiones del mundo el uso de materiales orgánicos es generalizado por la disminución de la oscilación térmica, disminución de la evaporación, mayor fertilidad del suelo y mejoramiento de las propiedades

fisicoquímicas del suelo. Sin embargo, el uso está restringido a pequeñas o medianas extensiones donde el trabajo familiar es predominante, con excepción del manejo con labranza mínima.

El inicio del acolchado de suelos con emulsiones líquidas del petróleo data de la década de los cincuenta. Los materiales usados son resinas formuladas en spray por la adición de solventes apropiados y surfactantes, los cuales se emulsifican en el agua produciendo una lámina de gel que puede ser aplicado a la superficie de los suelos. Con el uso de estos geles en la agricultura, Milner (1963) reportó incrementos del 50% en rendimiento de cultivos de zanahoria, cebolla, lechuga, nabo y rábano. Este tipo de acolchados de suelos no se generalizó debido a que no evita el crecimiento de malezas y forma "agregados" con las partículas del suelo que dificulta las labores mecanizadas (Jensen y Malter, 1995).

Los materiales plásticos como cubierta de los suelos son de aplicación más reciente y generalizada habiendo desplazado a los materiales de papel, aluminio, derivados del petróleo y otros de origen mineral y vegetal, por las grandes ventajas que ha proporcionado al desarrollo de la agricultura. Las láminas plásticas utilizadas en el acolchamiento de los suelos son polímeros lineales termoplásticos que se caracterizan por que sus propiedades no cambian en su fabricación y transformación, se reutilizan como materia prima y se ablandan por la acción del calor conservando su forma al enfriarse. Las láminas termoplásticas incluyen al policloruro de vinilo flexible (PVC), poliestireno, poliamida (nylon) y poliolefinas. En esta última categoría están incluidas el polietileno de baja y alta densidad, el polipropileno y los copolímeros de etileno y acetato de vinilo comúnmente conocidos como copolímero EVA (Muñoz, 1980; Robledo y Martín, 1988).

Entre los diversos materiales plásticos utilizado en el acolchamiento de los suelos, el polietileno se adoptó y generalizó rápidamente por su rápida fabricación, excelente resistencia química, buenas propiedades ópticas, alta durabilidad, flexibilidad, libre de olor y toxicidad, comparado a otros polímeros. Sin embargo, lo determinante de la generalización del acolchado de suelos es el menor costo comparado a otros materiales (Wright, citado por Lamont, 1993).

2.3.3 Características de los materiales plásticos utilizado en el acolchado de suelos

2.3.3.1 Transparencia

La transparencia de un material es la propiedad de dejar pasar la mayor cantidad posible de radiaciones solares. La transparencia de las películas plásticas depende de su poder de absorción, reflexión y difusión de la luz solar (Serrano, 1994), estando influenciada por el color de la lámina. Las láminas de color transparente dejan pasar la mayor parte de la energía luminica proveniente del sol comparado a los colores oscuros, como el negro opaco que su transmisión a las radiaciones totales es casi nula (Santos, 1994) y las láminas de otros colores tienen un rango intermedio de transparencia entre el color negro y transparente.

2.3.3.2 Opacidad

Es la propiedad de las láminas plásticas de impedir la pérdida del calor emitido por el suelo y plantas hacia el exterior durante el día y la noche (radiaciones infrarrojas de onda larga). Se considera que una lámina plástica es térmica cuando deja pasar menos del 20% de la radiación de longitud de onda larga. En este sentido, el espesor de las láminas es directamente proporcional al efecto térmico de las mismas a las radiaciones de longitud de onda larga, disminuyendo considerablemente el efecto térmico a medida que se reduce el espesor (Robledo y Martín, 1988)

2.3.3.3 Duración

La duración de las películas plásticas utilizadas en el acolchado de suelos depende principalmente de las condiciones climáticas del lugar en donde son expuestas, como la latitud y estación de crecimiento del cultivo (Ibarra y Rodríguez, 1991). Las zonas de latitud cercana al

Ecuador, en donde el ángulo de incidencia de los rayos solares es cercano a 90° , el desgaste de las películas plásticas es más rápido comparado con latitudes mayores donde el ángulo de incidencia es menor.

Los plásticos son degradados por su exposición a los rayos ultravioleta UV (295 a 320 nm de longitud de onda) que llegan a la superficie terrestre con 70 a 100 kcal/mol de energía, mientras que la energía de unión de los átomos de carbonos del polímero (polietileno común) es de 80 kcal/mol. Este diferencial de energía afectan los enlaces entre carbonos, que constituyen las partes más estables del polímero y su resistencia. Los enlaces más vulnerables y primeramente afectados por los rayos UV son las secciones de la estructura química del polietileno que tienen átomos de oxígeno (carbonilo, por ejemplo). Este efecto produce disociaciones de radicales, redistribución intramolecular y/o reticulación que conducen a la pérdida de las propiedades mecánicas del film. Sin embargo, para contrarrestar el efecto dañino de los rayos UV del sol sobre las películas plásticas, se añaden en su fabricación absorbentes de la luz UV que absorben, acumulan o transforman la energía destructiva en energía térmica que se disipa rápidamente a la atmósfera en forma de calor. La absorción de la energía es inofensiva para el ser humano por la formación de compuestos estables (Robledo y Martín, 1988).

La duración de los materiales plásticos depende entre otros factores a la calidad de los mismos (uniformidad, sistemas estabilizantes, concentración de antioxidantes, absorbentes de UV, etc.), condiciones climáticas de la zona de cultivo, pigmentación, tipo de material usado en su fabricación, espesor, etc.

En la actualidad se han desarrollado diversas películas plásticas para usos específicos como los filmes de larga duración empleados en el acolchamiento de frutales, donde su duración es mayor a los dos años. Otras películas de menor duración son empleadas en la producción de cultivos hortícolas, donde la duración es limitada a un ciclo de cultivo de lechugas, brasicas, jitomates, pepinos, calabacitas, etc., y donde pierden sus propiedades mecánicas con cierta cantidad de radiación acumulada.

El reciente desarrollo de las películas de plástico fotodegradables ha generado en los agricultores la expectativa para la solución del problema que ocasiona el residuo de los plásticos en los suelos; sin embargo, el costo relativamente elevado aún no permite el uso generalizado. La degradación de estas películas ocurre cuando se ha acumulado una cierta cantidad de radiación UV en la mezcla organo-metálica del material (Robledo y Martín, 1988). Del mismo modo, la investigación y desarrollo de materiales plásticos a base de los desechos de la industria de la caña de azúcar en Japón y Brasil, presentan gran perspectiva por el costo relativamente económico y la característica biodegradable que poseen.

2.3.3.4 Medida y espesor de los films para el acolchamiento

La anchura de las películas plásticas que se encuentran en el mercado son diversas de acuerdo a las necesidades de los agricultores, siendo a nivel mundial el ancho más común de 1.3 m (Jensen y Malter, 1995); sin embargo, se dispone de 1.0 a 1.2 m para el cultivo de cebolla; de 1.5 m para el jitomate; 2 a 2.3 m para la sandía, entre otros más. El espesor de las películas plásticas se mide convencionalmente en 'galgas' o 'calibre', el cual tiene la siguiente correspondencia en el Sistema Internacional de Unidades :

$\text{Calibre 100} = 100 \text{ galgas} = 0.025 \text{ mm de espesor}$

En cultivos estacionales (menor a un año) el espesor recomendado es 100 a 200 galgas; sin embargo, en China el uso de mezclas de polietileno de extrabaja densidad y de baja densidad ha permitido generalizar el uso de films delgados (de 32 a 48 galgas, equivalente a 0.008 y 0.012 mm de espesor, respectivamente) en cultivos estacionales (Jensen y Malter, 1995). Pero en cultivos de mayor duración (1-3 años), el film negro opaco de 200 a 300 galgas de grosor es el más usado (Robledo y Martín, 1988).

2.3.3.5 Color

El comportamiento espectrométrico de las películas de polietileno depende del color, el cual genera efectos diurnos y nocturnos diferentes que pueden ser ventajosos o desfavorables en la producción de los cultivos. La importancia del color de los acolchados plásticos determina el comportamiento de la energía radiante y la reflexión que tiene influencia sobre el microclima de la planta modificando la fotosíntesis, fotoperiodismo y morfogénesis. Igualmente, determina la temperatura de la superficie acolchada y del suelo debajo de ésta. Los colores predominantes para la producción de hortalizas son el transparente, negro y blanco; sin embargo, el film blanco está siendo reemplazado por la película coextruida blanco/negro conocido como bicapa, la que provee de mayores ventajas (Lamont, 1993).

Otro grupo de plásticos utilizado en el acolchamiento de los suelos son los fotoselectivos a cierta longitud de onda de la radiación incidente, las que sólo transmiten algunas regiones del espectro electromagnético (Loy *et al.*, citado por Lamont, 1993). Estas películas absorben la radiación fotosintéticamente activa y transmiten la radiación solar incidente del infrarrojo (IRT), provocando un efecto intermedio entre el acolchado transparente y negro. Controla de esta manera el crecimiento las plantas espontáneas y aumenta la temperatura del suelo a un nivel intermedio, siendo el color de estas películas azul-verdoso (IRT-76, AEP Industries Inc., etc.) o marrón.

Los acolchados de color rojo, azul, verde-anaranjado o amarillo reflejan diferentes bandas de radiación al interior del dosel de la planta. El acolchado de color rojo en el cultivo de jitomate modifica la fotosíntesis y la morfogénesis de la planta aumentando el rendimiento temprano (Decoteau *et al.*, 1988; Decoteau *et al.*, 1989).

Las características más importantes de los diferentes colores de plásticos se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Generalidades de las películas de polietileno usadas en el acolchado de suelos

	Película Transparente	Película Negro	Película Blanco	Película Blanco/ negro	Película Metalizada	Película Azul térmico
Radiación total transmitida	Muy buena	Nula	Poca	Nula	Nula	Poca
Crecimiento de malezas	Mucha	Ninguna	Poca	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Absorción de calor por la película	Poca	Mucha	Nada	Muy poca	Regular	Muy poca
Reflexión de luz por el plástico	Poca	Nada	Mucha	Mucha	Mucha	Regular
Duración del plástico	Poca	Bastante	Regular	Bastante	Bastante	Regular
Retención de calor en el suelo	Poca	Bastante	Poca	Bastante	Regular	Regular
Rendimiento de las cosechas	Bueno	Muy bueno	Bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno
Precocidad de las cosechas	Buena	Mala	Regular	Mala	Mala	Buena

Fuente : Robledo y Martín, 1988; Robinson, 1991.

El color amarillo y en menor medida el anaranjado y verde atraen a ciertos áfidos (Broadbent, citado por Lamont, 1993) como el áfido verde del melocotón. El color aluminio o plateado repelen a los áfidos transmisores de virus patógenos de las plantas, como el virus de la calabacita (Lamont *et al.*, 1990; George y Kring, citados por Lamont, 1993).

2.3.4 Efecto del acolchado de los suelos con materiales plásticos

Las películas plásticas proporcionan diversos efectos sobre el suelo y los cultivos, los cuales son más ventajosos que los conseguidos con los materiales de origen mineral o vegetal utilizados antiguamente en la cobertura de los suelos. Estas ventajas se traducen en el mejoramiento de la relación beneficio/costo obtenida por los productores.

2.3.4.1 Influencia sobre la temperatura del suelo

El efecto del acolchado sobre la temperatura del suelo depende de la composición y las propiedades ópticas de la película plástica (Ham *et al.*, 1993) como la reflexión, absorción y transmisión (Lamont, 1993). En general, los acolchados con materiales plásticos (polietileno) aumentan la temperatura máxima y mínima del suelo, mientras que los acolchados de tipo

orgánico aumentan la temperatura mínima pero disminuyen la máxima (Teasdale y Abdul-Baki, 1995).

El aumento de la temperatura de los suelos acolchados es más evidente en la fase inicial del crecimiento de los cultivos, cuando el follaje aún no ha sombreado la cubierta plástica. Este comportamiento se reportó en el cultivo de jitomate 'Sunny' donde la temperatura del suelo cubierto con películas de color azul, naranja, rojo y blanco fue mayor en 4 °C con respecto a las cubiertas de color aluminio y amarillo a los 35 días después del trasplante (ddt). Esta diferencia de temperatura es de 2.5 a 3.5 °C a los 60 ddt y se elimina a los 75 ddt (Csizinszky *et al.*, 1995).

La influencia de los acolchados sobre la temperatura del suelo depende de la latitud de la zona de cultivo. En zonas cercanas a la línea ecuatorial la máxima temperatura se registra cerca del medio día y en latitudes extremas la máxima temperatura ocurre al final del día. En Colima, México, que se encuentra a 18° latitud norte, la temperatura máxima del suelo acolchado se reportó a las 6 pm observándose mayor temperatura (4 a 6 °C) a 10 cm de profundidad con acolchado transparente en todo el ciclo del cultivo de melón con respecto al suelo sin acolchar (Orozco *et al.*, 1995). En Nigeria, que se encuentra a 11° latitud norte, la temperatura máxima del suelo se registra a las 13 horas, observando diferencias estadísticas de la temperatura del suelo a 10 cm de profundidad con acolchado transparente en relación al suelo sin acolchar y a los acolchados orgánicos en el cultivo de cebolla (Adetunji, 1994).

Diversos trabajos señalan que el acolchado transparente provoca mayor temperatura del suelo que el acolchado negro, haciéndose esta diferencia más notoria con respecto a suelos sin acolchar en el cultivo de sandía (Soltani *et al.*, 1995), en jitomate (Tindall *et al.*, 1991, Teasdale y Abdul-baki, 1995), en melón (AL-Assir *et al.*, 1992), y papa (Zehnder y Hough, 1990). Sin embargo, el uso de acolchado transparente o negro puede no ser ventajoso en zonas tropicales donde la temperatura del suelo suele ser alta, en la cual es recomendable el uso de acolchados de color blanco. Hanada (1991) reporta que el plástico negro eleva la temperatura del suelo más

que el plástico transparente, señalando que la temperatura máxima con plástico negro es de 70°C, con el transparente es 65°C y sin acolchado es 55°C en zonas tropicales de Japón y donde la temperatura del aire a 20 °C produce mayor longitud y área foliar de las plantas de trigo con respecto a las cultivadas a 15 °C (Friend, 1966, citado por Gardner *et al.*, 1985).

En Estados Unidos el acolchado del suelo con plástico negro es el más generalizado, lo cual aumenta la temperatura en 2.8 °C a cinco cm de profundidad y en 1.7 °C a 10 cm en comparación al suelo sin acolchar. El acolchado transparente es muy generalizado en zonas frías (regiones del norte), el cual eleva la temperatura entre 4.4 a 7.8 °C a cinco cm de profundidad y en 3.3 °C a 10 cm durante el día (Lamont, 1993). Del mismo modo, en el noreste de Europa y en la zona del mediterráneo, el acolchado transparente (15 a 50 micrones) es muy usado para el calentamiento del suelo al inicio de la estación de primavera o para facilitar la germinación de semillas.

Los acolchados plásticos de color blanco y el blanco/negro pueden disminuir la temperatura del suelo, por tal motivo, su uso es recomendado en las regiones tropicales con el objeto de mitigar el efecto de las altas temperaturas del suelo (Robinson, 1991). Las películas coextruidas blanco/negro o plateado/negro tienen propiedades similares de transmisión que la película negra, excepto la temperatura del suelo que tiende a ser menor (Gilby, 1990).

La temperatura del suelo con acolchado transparente entre 7 a 8 a.m. y 4 a 5 pm es significativamente mayor que el suelo con acolchado negro y sin acolchar. El suelo cubierto con acolchado negro presenta mayor temperatura sólo en horas de la mañana con respecto al testigo, mismo que se debe a que el suelo franco arcilloso con 2% de materia orgánica capta cierta cantidad de energía, permitiendo que la temperatura en la tarde sea similar en el suelo sin acolchar con respecto al acolchado negro. Sin embargo, en las horas más frías del día el plástico negro evita la pérdida del calor del suelo (Salman y Gorski, 1988; Robinson, 1991).

2.3.4.2 Efecto sobre la humedad del suelo

Los materiales plásticos al ser impermeables al vapor de agua y a los líquidos reducen la superficie de evaporación e impiden o retrasan la evaporación del agua del suelo con el consiguiente mantenimiento por más tiempo de la humedad cercana a la capacidad de campo (Robledo y Martín, 1988; Robinson, 1991; Hillel, citado por Teasdale y Abdul-Baki, 1995), de tal modo que el riego puede ser menos frecuente (Hanada, 1991; Lamont, 1991; Jensen y Malter, 1995). El mismo efecto tienen los acolchados orgánicos en la retención de la humedad del suelo, como ha sido observado en el cultivo de papa en Virginia, Estados Unidos (Zehnder y Hough, 1990).

En zanahoria el acolchado de color negro retiene por más tiempo y en mayor porcentaje la humedad del suelo (37%) que el acolchado transparente (29%) y que el suelo sin acolchar (27%). La gran variabilidad existente de la humedad de los suelos sin acolchar no se manifiesta en suelos cubiertos con películas plásticas, donde la uniformidad existente durante el cultivo provoca un mayor desarrollo y producción (Takahashi y Chiba, citado por Hanada, 1991).

El uso de acolchados con film transparente conserva por más tiempo la humedad del suelo comparado a los acolchados orgánicos y suelos sin acolchar en el cultivo de cebolla. El potencial de la humedad del suelo con acolchado transparente es menor a 0.01 MPa en el ciclo de cultivo, comparado al testigo que tiene 0.075 MPa a los cinco días después del riego en suelos de textura francoarenosa (Adetunji, 1994). Sin embargo, otros investigadores como Tindall *et al.* (1991) reportan que los acolchados orgánicos dependiendo del grosor del material usado como cubierta, presentan menor superficie de evaporación que los acolchados plásticos.

La conservación de la humedad del suelo con acolchados de color negro en el cultivo de berenjena (*Solanum melongena*) es significativamente mayor que la humedad del suelo franco arcilloso con acolchado transparente y el testigo. La humedad es de 22.1%, 19% y 17.8% con acolchado negro, transparente y testigo, respectivamente (Salman y Gorski, 1988). Igual

comportamiento reporta Hanada (1991), donde la humedad del suelo a 10 cm de profundidad con el acolchado plástico negro y transparente supera en 150 y 100% al suelo sin acolchar.

2.3.4.3 Efectos sobre la fertilidad del suelo y la nutrición de los cultivos

La elevación de la temperatura, conservación de la humedad y aumento de la concentración de bióxido de carbono en el suelo por el uso de acolchado favorece la oxidación del nitrógeno por organismos presentes en el suelo, induciendo a una mayor disponibilidad y absorción por las raíces de las plantas. Del mismo modo, la mayor descomposición de la materia orgánica del suelo y la reducción de la pérdida de elementos nutritivos por lavado incrementan la concentración de nutrimentos en el ambiente radical de las plantas (Robledo y Martín, 1988; Hyo-Duk, 1991), principalmente de nitrógeno y potasio que son elementos fácilmente lavados en suelos desnudos (Jensen y Malter, 1995).

La concentración de nitrógeno nítrico (NO_3^- -N), amoniacal (NH_4^+ -N) y magnesio en suelos franco arenosos cubiertos con acolchados de color negro, son significativamente mayores que en suelos sin acolchar, provocando en el primer caso mayor producción de materia seca en plantas de jitomate (Bhella, 1988). El acolchado transparente utilizado como pasteurizador de suelos en el cultivo de cebolla aumenta el contenido de nitrógeno total en 55 y 59% con respecto a suelos sin acolchar y con acolchado orgánico, respectivamente, observándose el mismo efecto con la concentración de fósforo (P); sin embargo, la concentración de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} y el pH del suelo no cambian con el uso de acolchados plásticos. La mayor cantidad de elementos nutritivos en los suelos se debe al efecto hidrotérmico de la solarización y a que la degradación y descomposición de los materiales orgánicos provocan condiciones microaeróbicas que favorecen la acumulación del nitrógeno y fósforo (Chen, citado por Adetunji, 1994).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos acolchados en el cultivo de zanahoria es mayor, mientras que el pH del mismo es ligeramente menor con respecto a suelos no acolchados. Los aniones como el nitrato, sulfato y cloruros no se pierden fácilmente en los

suelos cubiertos, provocando una mayor disponibilidad y absorción de nutrimentos por las plantas de zanahoria del orden del 40 a 50% con respecto a suelos no cubiertos (Hanada, 1991).

El contenido de sales en los suelos acolchados que presentan riego por goteo disminuye en la zona del bulbo húmedo y de crecimiento radical de las plantas⁵ aumentando la disponibilidad de los nutrimentos provenientes de los fertilizantes (Lamont, 1994). Sin embargo, en suelos acolchados con riego por gravedad el movimiento del agua es de abajo hacia arriba provocando una mayor acumulación de sales debajo del film plástico (Hanada, 1991).

La concentración de nutrimentos en las plantas de diversos cultivos puede ser mayor como consecuencia de la mejor disponibilidad de los nutrimentos en los suelos. La concentración de P^{2-} , K^{2+} , Ca^{2+} , y $NO_3^{-}-N$ en los cultivares de jitomate 'Springset' y 'NY903' cubiertos con acolchado plástico fue significativamente mayor con respecto al testigo sin acolchar (Wien y Minotti, 1988a). El mismo efecto en el cultivar de jitomate 'Pik red' fue reportado por Wien y Minotti (1987). En el cultivar 'Castle king' se determinó que hay mayor cantidad acumulada de P^{2-} y K^{+} en las hojas de jitomate a los 18 y 24 días después del trasplante, pero menor concentración de nitrógeno total, $NO_3^{-}-N$ y magnesio (Wien y Minotti, 1988b).

2.3.4.4 Influencia sobre el crecimiento de malas hierbas

El crecimiento de malas hierbas debajo de las películas plásticas depende en gran medida del color de las mismas; es decir, de la transparencia a las radiaciones solares, las cuales son necesarias para la fotosíntesis de la vegetación existente debajo del film. Las películas de color negro suprimen el crecimiento de las plantas espontáneas y las de color transparente permiten el crecimiento acelerado por el efecto invernadero que provoca, pudiendo en algún momento sofocarlas y eliminarlas.

⁵ Comunicación personal del M.C. Felipe Sánchez del Castillo, catedrático de la Universidad Autónoma Chapingo, México.

La acumulación de materia seca de las malezas en el cultivo de brócoli cubierto con acolchado transparente y sin acolchar fueron mayores que la cantidad acumulada en suelos con acolchados plásticos de color negro, marrón, verde, rosado, amarillo y blanco. La producción de materia seca de malezas del suelo sin acolchar fue de 100 gr.m^{-2} , con el acolchado transparente fue de 120 g.m^{-2} y con el acolchado negro y marrón fue de 6 y 12 gr.m^{-2} , respectivamente, a los 30 días después del trasplante⁶.

2.3.4.5 Influencia sobre los componentes del rendimiento y la calidad

La producción de los cultivos con acolchado plástico es mayor (20 a 200%), más precoz y de mayor calidad y limpieza al actuar el plástico como una barrera de separación entre el suelo y la parte foliar de las plantas, principalmente en cultivos que tienen el tipo de crecimiento rastrero como la fresa, melón, jitomate, pepino, sandía, etc. (West y Peirce, 1988; Lamont, 1994; Rubeiz y Freiwat, 1995; Soltani *et al.*, 1995).

El rendimiento total y comercial de los cultivos de melón, pimiento y sandía aumentan con el empleo de acolchado plástico plateado en 123, 159 y 343% con respecto a suelos sin acolchar (Wivutvongvana *et al.*, 1991). El rendimiento temprano y el número de frutos por hectárea en el cultivo de jitomate aumentó significativamente con el uso de acolchado transparente (Wien y Minotti, 1988a).

El rendimiento temprano y total del cultivo de jitomate aumenta en 78 y 66% con el uso de acolchado de polietileno negro con respecto a suelos sin acolchar (Bhella, 1988). El mismo efecto se observó con el uso de películas transparentes en jitomate 'Castle king' (Wien y Minotti, 1988b) y en suelos con film negro en jitomate 'Sunny' y 'Pik rite' (Abdul-Baki y Spence, 1992; Csizinszki *et al.*, 1995).

⁶ Resultados de la práctica del curso de Acolchados y microtúneles de la Maestría en Ciencias en Horticultura en la Universidad Autónoma Chapingo. Segundo semestre 1995

El empleo de plásticos como acolchado de los suelos acelera la producción de los cultivos en 7 a 21 días (Lamont, 1994). El plástico negro adelanta las cosechas entre 7 a 14 días y el transparente puede acelerar más aún la producción de los cultivos. Sin embargo, el uso de plásticos en zonas desérticas y templadas requiere de ciertas precauciones ya que puede aumentar la población de patógenos del suelo (Jensen y Malter, 1995) y disminuir marcadamente el rendimiento (Djigma, citado por Hanada, 1991) siendo recomendable en estas regiones el uso de acolchado plástico blanco/negro o cubiertas orgánicas (Hanada, 1991; Lamont, 1994).

La calidad de las cosechas es favorecida por el empleo de acolchados plásticos en el cultivo de cebolla, donde aumenta el rendimiento comercial en 64 a 87% y el diámetro de bulbo en 66% con el acolchado transparente utilizado como pasteurizador del suelo (Adetunji, 1994). El mismo efecto se observó en el cultivo de melón, donde el volumen de exportación con el uso de acolchado transparente en la estación de invierno fue 11 veces mayor con respecto al testigo (Orozco, *et al.*, 1995).

En tomate de cáscara, el uso de acolchados plásticos incrementa el rendimiento total, número y peso de frutos en comparación a los acolchados orgánicos y el testigo. El mayor rendimiento fue con el acolchado transparente (39.3 ton/ha) debido posiblemente a las mejores propiedades físicas y químicas del suelo, disminución de la oscilación térmica, entre otras; sin embargo, los acolchados no adelantan la cosecha de los frutos en Chapingo, México (Castro, 1995).

El rendimiento de las hortalizas cultivadas en el Estado de Kansas-USA con el uso de acolchados y riego por goteo es superior al obtenido con el sistema tradicional (suelo descubierto y riego por gravedad). El rendimiento por hectárea de pepino es 74.1 ton, de pimiento 47.5 ton, de calabacita 39.3 ton, de jitomate 71.1 ton, de sandía 7,410 frutos, de melón cataloupe de 19,760 a 22,230 frutos con pesos que van de 1.8 a 2.7 kg por fruto, y en melón liso el rendimiento es de 29,649 a 37,050 unidades por hectárea con frutos que pesan entre 1.3 y 1.8 kg (Lamont, 1991).

Los acolchados plásticos modifican la temperatura y las propiedades químicas del suelo quienes permiten el cambio del volumen, ramificación y diámetro de las raíces, observando que el máximo crecimiento y ramificación ocurre entre 25 a 32 °C, y la paralización del crecimiento entre 8 a 15 °C (Cooper, citado por Tindall *et al.*, 1991).

La materia seca de las plantas de jitomate aumenta en 66% con el uso de acolchados de polietileno negro con respecto al testigo (Bhella, 1988); el número de ramas y racimos de frutos por planta es significativamente mayor con el uso de acolchado plástico transparente (Wien y Minotti, 1988a). Lo mismo ocurre en el cultivo de cebolla conducido con acolchado orgánico, donde el crecimiento de los bulbos, número de raíces, y peso de materia fresca y seca de raíces y hojas son mayores (Adetunji, 1994).

2.3.4.6 Influencia sobre el comportamiento de plagas y enfermedades

La relación del comportamiento de los insectos y el uso de películas reflejantes, como los acolchados plásticos de los suelos, depende del color de la película y de la especie de insecto-plaga en los cultivos. El color amarillo de los filmes atraen a los dípteros (Agromizidae) y a los áfidos, etc., el color azul atrae a los Thrips, el color aluminio o plateado repele a los áfidos, etc. Y así, posiblemente cada banda de color puede alterar en cierta medida el comportamiento de cierta especie de insecto. La reflexión de la energía solar por los acolchados plásticos altera el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos y la población de insectos presente en las plantas.

La radiación fotosintéticamente activa reflejada por los acolchados plásticos depende del color de la misma, siendo ésta de 149, 124, 61, 56.5 y 56 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a diez cm de altura en la parte adaxial de las plantas de jitomate con los filmes de color aluminio, amarillo, anaranjado, azul y rojo, respectivamente, a los 29 ddt. Conforme el crecimiento del follaje cubre la película plástica

la cantidad de radiación reflejada disminuye, pero se mantiene un mayor porcentaje de esta luz con los acolchados de color aluminio con respecto a los demás colores (Csizinszky et al., 1995).

Además de la cantidad de luz reflejada por los acolchados plásticos, es importante la longitud de onda de ésta. Los plásticos de color amarillo reflejan el 100% de la longitud de onda de la radiación fotosintéticamente activa PAR (420 a 760 nm), a diferencia de los demás colores que sólo reflejan ciertas bandas de longitud de onda y en menor cantidad los diferentes colores del espectro (Csizinszky et al., 1995).

El acolchado de los suelos modifica el carácter hospedante de las plantas por la presencia física del material y por el cambio de la temperatura superficial (Lashomb y Ng, 1984; Costello, 1994). También afecta la respuesta anemotáctica de algunos insectos (crisomélidos en el cultivo de papa) a los compuestos volátiles que libera cada tipo de hospedero. El cambio de color por el acolchado afecta la estimulación visual del insecto, el cambio de olor interrumpe la respuesta del insecto a la presencia del hospedero, etc. (Thiery, citado por Zehnder y Hough, 1990). Los efectos del acolchado sobre la menor incidencia de crisomélidos en el cultivo de papa reduce las aplicaciones de productos químicos en los cultivos (Zehnder y Hough, 1990), ayudando a las estrategias de control de insectos (Jensen y Malter, 1995).

La cantidad de ninfas y adultos de áfidos, Thrips (*Frankliniella tritici*, *F. fuscay*, *Thrips tabaci*) y mosca blanca (*Bemisia argentifolii*) es menor en el follaje del cultivo de jitomate cubierto con acolchados de color aluminio con respecto a otros colores de plástico (Adler y Everett, 1968; Greenough, 1990; Porter y Etzel, citados por Decoteau, 1990; Brown y Brown, 1992; Csizinszky et al., 1995; Kring, citado por Csizinszky et al., 1995). Sin embargo, el efecto del acolchado es estacional disminuyendo de acuerdo al crecimiento del follaje de las plantas (Schalk y Robbins, 1987).

La alta reflexión del espectro de la luz ultravioleta de los rayos solares por el acolchado plástico transparente disminuye la cantidad de áfidos y ninfas y adultos de mosca blanca en el cultivo de

melón (Orozco *et al.*, 1995). Por otro lado, el color amarillo y en menor medida el anaranjado atraen al pulgón verde del melocotonero (*Myzus persicae*) (Csizinszky *et al.*, 1995), siendo a la vez el plástico amarillo utilizado en las trampas de monitoreo y/o control de ciertas plagas en los cultivos (Orozco *et al.*, 1995). Del mismo modo, el color plateado disminuye grandemente la población de la mosca blanca en los cultivos con respecto a otros colores de polietileno (Garzón y Pozo, 1995).

La repelencia de ciertos colores de plásticos a insectos vectores de virus en los cultivos disminuyen y/o retrasan la presencia de síntomas virales en las plantas. La aparición de los síntomas en plantas de melón con acolchado plásticos ocurre a los 67 días después de la siembra (dds) y en plantas sin acolchar ocurre a los 32 días. El porcentaje de plantas infectadas fue de 15% en el primer caso y de 67% en el segundo, predominando el virus del anillado del papayo (PRSV-W), pero también se encontraron el virus del mosaico amarillo de la calabacita (ZYMV), virus del mosaico del pepino (CMV) y la raza 2 del virus del mosaico de la sandía (WMV-2) (Orozco *et al.*, 1995).

2.3.4.7 Influencia sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo

El acolchado del suelo con películas plásticas provee la estructura ideal para el desarrollo radical de las plantas (Robledo y Martín, 1988). Los acolchados plásticos reducen la resistencia del suelo a la penetración, la erosión y la pérdida de los suelos causado por las lluvias (Adetunji, 1994; Costello, 1994). La densidad, la estabilidad de agregados (estructura) y el pH de suelos acolchado con plástico negro no difiere de suelos sin acolchar.

El uso de acolchados orgánicos disminuye la densidad e incrementa el porcentaje de agregados estables, el contenido de bióxido de carbono y la infiltración del agua en el suelo; del mismo modo, disminuye el pH y reduce la resistencia mecánica (Tindall *et al.*, 1991).

2.3.4.8 Influencia sobre las variables fisiológicas

La cantidad y la calidad de la luz reflejada por los diferentes colores de acolchados plásticos pueden alterar el nivel de fotosíntesis y/o estimular cambios en la morfogénesis de las plantas (Orozco *et al.*, 1995). Se observa mayor reflexión de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y de luz azul con los acolchados de color blanco con respecto al color negro. Sin embargo, la relación de luz reflejada rojo lejano/rojo (RL/R) es mayor con el acolchado de color negro, el cual regula el crecimiento de los entrenudos y la actividad del fitocromo en las plantas (Borthwick, citado por Decoteau *et al.*, 1988; Decoteau *et al.*, 1988).

La relación RL/R de la luz reflejada por el acolchado plástico rojo es mayor que la cantidad reflejada por el acolchado negro y blanco comúnmente usado en la agricultura. Esta diferencia de la calidad espectral de la luz reflejada tiene influencia sobre el rendimiento de las plantas a través de la regulación del sistema del fitocromo en el cultivo de jitomate y *Vigna unguiculata* (Matheny *et al.*, 1992).

Los acolchados plásticos de color rojo y negro reflejan menor cantidad de flujo de fotones fotosintéticos hacia las plantas pero luz de mayor relación RL/R que los acolchados amarillo y blanco (Decoteau, 1990). Las plantas de jitomate y pimiento responden favorablemente (mayor tamaño y peso seco) a tratamientos de luz con alta relación RL/R. El mismo comportamiento se observó en plantas cultivadas sobre acolchados que reflejan la luz con alta relación RL/R, lo cual actúa como un fitorregulador del crecimiento (Decoteau *et al.*, 1988).

La tasa relativa de crecimiento ($\text{g.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$), el área foliar específica ($\text{m}^2.\text{kg}^{-1}$), la tasa de crecimiento del cultivo ($\text{g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) y el índice de área foliar en el cultivo de sandía es mayor con acolchados plásticos con respecto a suelos sin acolchar (Soltani *et al.*, 1995). El mismo efecto se reportó en plantas de melón donde el número de hojas es mayor y el crecimiento del cultivo es más rápido con el uso de acolchados plásticos (Al-Assir *et al.*, 1992).

2.3.4.9 Influencia sobre la concentración de bióxido de carbono en el suelo

El proceso de transformación de la materia orgánica por los organismos del suelo favorece el aumento de la cantidad de bióxido de carbono debajo del acolchado plástico, registrándose hasta 4 veces la concentración en suelos cubiertos (Santos, 1994). El acolchado de los suelos incrementa el CO₂ gaseoso intercambiable en las raíces de las plantas y a la vez evita la pérdida del CO₂ del suelo al ambiente (Patten *et al.*, 1988; Lamont, 1993).

La concentración del CO₂ debajo de las cubiertas plásticas es significativamente mayor en suelos con acolchado transparente en comparación a suelos con acolchado negro y sin acolchar, observándose esta diferencia tanto al medio día como a las 10 pm (Salman y Gorski, 1988). Los suelos con acolchado negro presentan mayor concentración de CO₂ que suelos sin acolchar (Tindall *et al.*, 1991).

2.3.4.10 Influencia sobre los costos de producción

El uso de los acolchados plásticos en los cultivos aumentan los costos de producción pero mejoran la rentabilidad (Teasdale y Abdul-Baki, 1995). Orozco *et al.* (1995) reportan que la inversión en los acolchados plásticos para la producción de melón es grandemente justificable en Colima, México, señalando que el costo de los plásticos es de US\$ 500.00 y los costos de las labores de puesta y perforación es de US\$ 150.00 por hectárea (ha) de cultivo, mientras que el valor del incremento del rendimiento es de US\$ 2500 a 2800 por ha de cultivo.

2.4 SISTEMAS DE MANEJO EN LOS CULTIVOS

Los sistemas de producción de hortalizas a nivel mundial son diversos, considerándose al manejo en espalderas, en hidroponía, en suelo, en invernadero, etc., los sistemas más generalizados de

producción. En el presente estudio se detallaran los aspectos relevantes de los sistemas de conducción en espalderas y en piso, lo cual es motivo parcial del estudio.

Los efectos del sistema de manejo en espaldera en el cultivo de jitomate, según Gutiérrez (1978) son :

1. Mejor aprovechamiento vertical y horizontal del espacio con el consecuente aumento de la densidad de población;
2. Obtención de frutos de mayor calidad;
3. Ampliación del período de cosecha;
4. Facilidad de la operación de las cosechas;
5. Prolongación del ciclo de vida de los cultivos por la reducción del maltrato mecánico de las plantas;
6. Reducción de daño causado por enfermedades como la cenicilla polvorienta que es desfavorecido por la mayor aireación del follaje;
7. Aumento del rendimiento de los cultivos;
8. Mayor eficiencia y distanciamiento en la aplicación de productos químicos;
9. Aumento de los costos de producción;
10. Impedimento de algunas labores mecánicas (movimiento del suelo) y favorecimiento de otras (podas).

El tutoreo de plantas en el cultivo de jitomate se inicia a los 25 a 30 cm. de altura con el objeto de evitar el tumbado de las plantas y desarrollar una adecuada arquitectura de la planta para el soporte de los frutos.

Gutiérrez (1986) en el cultivo de tomate de cáscara reportó que el manejo en espalderas no tiene influencia sobre el desarrollo fisiológico ni el rendimiento; sin embargo, la calidad de los frutos es mayor comparado con la conducción tradicional en piso. Por otro lado, Castillo (1990) demostró que el uso de espalderas en tomate de cáscara aumenta el rendimiento total en 4.7

ton/ha, el comercial en 7.5 ton/ha, eleva la calidad del fruto y las utilidades netas con respecto al cultivo tradicional conducido en piso. Sin embargo, el número de frutos, peso promedio de frutos y volumen promedio no presenta diferencias estadísticas. El número total de frutos dañados es mayor en el sistema de producción en piso y la redituabilidad es menor con el empleo de espalderas con respecto al sistema en piso.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizó en dos fases, la primera bajo condiciones de invernadero en hidroponía durante 1995 y la segunda fase en condiciones de campo en 1996 en las instalaciones de la Universidad Autónoma Chapingo, México.

3.1 PRIMERA FASE EXPERIMENTAL

3.1.1 Ubicación y características del sitio experimental

El experimento se desarrolló en condiciones de invernadero del tipo dos aguas cubierto con vidrio, perteneciente a la Academia de Fisiología Vegetal del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Municipio de Texcoco, Estado de México, el cual se encuentra geográficamente ubicado a una latitud norte de $19^{\circ} 29' 00''$, longitud oeste de $98^{\circ} 53' 00''$ y altitud de 2250 msnm. El invernadero presenta la orientación norte-sur, cuenta con ventilas laterales y zenitales, y está provisto de sistema de ventilación automática.

El experimento se desarrolló entre los meses de agosto a diciembre de 1995, observándose una temperatura mínima promedio de 15.4, 14.0, 10.5, 10.7 y 7.5 °C en agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre y la temperatura máxima promedio mensual fue de 28.5, 27.2, 31.5, 29.1 y 23.1 °C para los mismos meses, respectivamente.

3.1.2 Características del material vegetal

La variedad de tomate de cáscara usada en el presente experimento fue CHF1-Chapingo selección 10 producido en 1995 por el Programa de Investigación en Tomate de Cáscara de la Universidad Autónoma Chapingo.

La variedad CHF1-Chapingo es una selección de la variedad 'Rendidora' original, la cual presenta características básicas de ésta, pero mayor precocidad, mejor uniformidad de frutos en tamaño y forma, de crecimiento rastrero y semierecto y presenta frutos de color verde alimonado (Peña y Ayala, citados por Montalvo, 1995).

3.1.3 Sistema de manejo del experimento

En esta fase experimental el cultivo se desarrolló en un sistema hidropónico usando como sustrato arena de tezontle rojo de granulometría menor a un cm de diámetro, con 35.7 % de macroporos, 7.9 % de microporos, 43.5 % de porosidad total y 0.81 gr.cm^{-3} de densidad aparente, el cual es considerado química y biológicamente inerte. El agua de riego usada en el experimento fue agua de pozo que tuvo 7.53 de pH y 40 ppm de concentración de bióxido de carbono.

Los contenedores del sustrato fueron macetas de 9.8 L de capacidad sobre las que se trasplantó una plántula de tomate por maceta, que previamente fueron conducidas en almácigos en vasos de poliestireno.

3.1.4 Diseño de tratamientos

En esta fase experimental se evaluaron dos factores con número variable de niveles por cada factor, los cuales se describen a continuación.

Primer factor. Concentración de bióxido de carbono (niveles) :

1. 40 ppm (testigo), equivalente al contenido de carbono en el agua;
2. 300 ppm de CO_2 ;
3. 600 ppm de CO_2 ;
4. 1200 ppm de CO_2 .

Segundo factor. Momentos de aplicación de bióxido de carbono (niveles) :

1. Durante el almácigo (20 dds);
2. Presencia de la primera flor totalmente abierta;
3. Fase de 10 bolsas (frutos en desarrollo);
4. Primer fruto lleno;
5. Después de la segunda cosecha;
6. En todos los momentos anteriores.

3.1.5 Diseño experimental

Esta fase experimental se realizó con el Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA) con dos factores en arreglo factorial. El primer factor (concentración de bióxido de carbono) con cuatro niveles y el segundo factor (momentos de aplicación) con seis niveles. De la combinación de los niveles de ambos factores se obtuvieron 24 tratamientos, los cuales se repitieron cuatro veces haciendo un total de 96 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió de una planta y el análisis de las observaciones se basó en el modelo siguiente :

$$Y_{ijk} = U + B_i + C_j + M_k + (CM)_{ik} + E_{ijk}$$

Donde : $i = 1,2,3,4$
 $j = 1,2,3,4$
 $k = 1,2,3,4,5,6$

U = Efecto de la media general del experimento;

B_i = Efecto del i -ésimo bloque;

C_j = Efecto del nivel j de la concentración de bióxido de carbono;

M_k = Efecto del nivel k del momento de aplicación de CO_2 ;

$(CM)_{jk}$ = Interacción de la concentración y momento de aplicación de bióxido de carbono;

E_{ijk} = Error experimental o componente aleatorio correspondiente a la observación Y_{ijk} .

Los E_{ijk} son independientes y tienen distribución normal con media $\mu=0$ y varianza σ_e^2 . La comparación de medias de cada tratamiento se realizó con la prueba de Tukey con $\alpha=0.01$ y los tratamientos que se evaluaron en el presente experimento se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Tratamientos resultantes de la combinación de niveles de los dos factores bajo estudio en tomate de cáscara

Tratamiento	Concentración de CO ₂	Momento de aplicación de CO ₂	Tratamiento	Concentración de CO ₂	Momento de aplicación de CO ₂
C0M1	Sin CO ₂	Almácigo	C2M1	600 ppm.	Almácigo
C0M2	Sin CO ₂	Primera flor	C2M2	600 ppm.	Primera flor
C0M3	Sin CO ₂	10 bolsas de fruto	C2M3	600 ppm.	10 bolsas de fruto
C0M4	Sin CO ₂	Primer fruto lleno	C2M4	600 ppm.	Primer fruto lleno
C0M5	Sin CO ₂	Segunda cosecha	C2M5	600 ppm.	Segunda cosecha
C0M6	Sin CO ₂	Todos los momentos	C2M6	600 ppm.	Todos los momentos
C1M1	300 ppm.	Almácigo	C3M1	1200 ppm.	Almácigo
C1M2	300 ppm.	Primera flor	C3M2	1200 ppm.	Primera flor
C1M3	300 ppm.	10 bolsas de fruto	C3M3	1200 ppm.	10 bolsas de fruto
C1M4	300 ppm.	Primer fruto lleno	C3M4	1200 ppm.	Primer fruto lleno
C1M5	300 ppm.	Segunda cosecha	C3M5	1200 ppm.	Segunda cosecha
C1M6	300 ppm.	Todos los momentos	C3M6	1200 ppm.	Todos los momentos

3.1.6 Conducción del experimento

La siembra se realizó el 23 de agosto de 1995 en contenedores de poliestireno de 200 centímetros cúbicos de capacidad usando como sustrato la mezcla en volumen de dos partes de germinaza, dos de peat moss y una de agrolita. Los riegos durante la fase de almácigo se realizaron con la solución nutritiva diluida al 50% utilizada por Montalvo (1995) en el tomate de cáscara, el cual se detalla en el cuadro 5. Los vasos recién sembrados se regaron y cubrieron con polietileno transparente con el objeto de acelerar la germinación de semillas a través del incremento de temperatura del sustrato. La eliminación del polietileno se realizó al cuarto día después de la siembra cuando se observó el inicio de la germinación.

Cuadro 5. Composición de la solución nutritiva

Elemento	Concentración (ppm)
N	200
K	300
P	60
Ca	300
Mg	50
Fe	2
Mn	0.5
B	0.5
Cu	0.25
Zn	0.25

El trasplante se realizó a los 28 días de la siembra (20 de septiembre) cuando las plántulas tenían tres hojas verdaderas, 15 cm de altura y tallo con más de 4 milímetros de diámetro. Los riegos durante el establecimiento y desarrollo del cultivo (en macetas definitivas) se realizaron diariamente aplicando 200 ml de solución nutritiva por planta al inicio del cultivo y 600 ml al final del mismo, con incrementos progresivos. Cada siete días se realizó el lavado del sustrato con volúmenes considerables de agua para evitar la acumulación de sales.

Por ser el tomate de cáscara una especie de polinización cruzada (alógama obligada), se promovió la polinización a través de la introducción de abejas al invernadero y mediante ventilación manual en las primeras horas de la mañana para generar gran movimiento de polen y facilitar la polinización de las flores.

El manejo de las plagas en el cultivo se realizó a través de productos químicos, con aplicación de Talstar, Confidor y Tamarón para el control de larvas de lepidópteros comedores de follaje y de insectos chupadores como mosquita blanca y pulgones. La dosis e intervalo de aplicación de estos productos fue el recomendado por el fabricante. La enfermedad que se presentó en el cultivo fue cenicilla polvorienta causado por el hongo *Oidium sp.* el cual se combatió con Bayfidan y Benlate en dosis y recomendaciones del fabricante.

3.1.7 Variables evaluadas

1. Rendimiento

Se determinó el peso fresco total de frutos comerciales por planta en las tres cosechas realizadas a los 64, 79 y 98 días después del trasplante (ddt), respectivamente (23 nov, 08 y 27 de diciembre).

2. Número y peso de frutos

En cada cosecha se determinó el número de frutos comerciales, luego se obtuvo la relación entre el peso fresco y el número de frutos para la determinación del peso promedio de los mismos.

3. Peso de materia seca

Después de la última cosecha (99 ddt), se extrajeron las plantas completas, separando las partes en estado fresco (raíces, tallos, hojas y frutos inmaduros), los cuales se llevaron a la estufa a 80 °C por 96 horas. Una vez seco el material, se determinó el peso de raíces, tallos, hojas y frutos inmaduros.

4. Peso seco de frutos comerciales

Después de cada cosecha se fragmentaron los frutos y se secaron a la estufa a 80°C por 96 horas para la determinación del peso seco de frutos por planta.

5. Altura del simpodio

Se midió la altura del cuello de la planta (límite entre la raíz y tallo) hasta la primera bifurcación del tallo a los 99 ddt con ayuda de una regla milimetrada.

6. Longitud de ramas

Se determinó las dos longitudes de las ramas de dicotomía original que presentan el tomate de cáscara. La longitud de los entrenudos fue tomada en las ramas de primer orden a los 99 ddt.

7. Área foliar

Se muestreó una planta por tratamiento en la cual se separó las hojas y cuantificó el área total de una planta utilizando un integrador de área foliar portátil modelo LI-3000, USA. La medición del área foliar en las repeticiones de cada tratamiento fue obtenido a través de la relación con el peso de materia seca de las hojas por cada planta, realizándose a los 99 días después del trasplante, fase correspondiente al final del cultivo.

3.1.8 Obtención del agua carbonatada

La obtención del agua carbonatada se realizó a través de la inyección (burbujeo) de CO_2 gaseoso comprimido de un tanque al agua depositada en envases cerrados que no permitieron el escape del gas que se disolvió en el agua. Esta inyección se realizó lentamente en las primeras horas de la mañana hasta alcanzar una concentración mayor a 1200 ppm, y a partir de ésta, se prepararon las diluciones correspondientes a las concentraciones ensayadas.

La cuantificación de la concentración del bióxido de carbono en el agua se realizó por volumetría de neutralización siguiendo el proceso que se describe a continuación.

1. Burbujear el agua corriente;
2. Se preparó una solución de NaOH 0.1N, pesando 2.03 g de NaOH y se aforó a 500 ml con agua destilada (Solución A);
3. Se preparó una solución de fenolftaleína al 0.1%, pesando 0.1 g de fenolftaleína y aforando a 100 ml con etanol 96% o alcohol isopropílico 96%;
4. Se tomó una muestra de 100 ml de agua burbujeada y se le agregaron 10 gotas de fenolftaleína (indicador). Se agitó el agua y se dejó gotear la solución A (titulante) hasta que la solución tomó la coloración rosa persistente teniendo un fondo blanco y mirando desde arriba;
5. La concentración de CO₂ en el agua se calculó con la siguiente fórmula :

$$[\text{CO}_2] \text{ (ppm)} = \frac{G (N) 44000}{V}$$

Donde :

G : Gasto de NaOH (ml)

N : Normalidad del NaOH

V : Volumen de la muestra

3.1.9 Aplicación del agua carbonatada

La aplicación del agua carbonatada a las plantas de tomate de cáscara se realizó dejando dos días entre aplicación. En total se realizaron cinco aplicaciones de solución carbonatada para cada fase correspondiente a los diferentes momentos de aplicación en estudio, las cuales se hicieron entre las 10 y 12 horas del día. El pH del agua fue de 7.53, 6.51, 6.12 y 5.64 con las soluciones que contenían 40 (testigo), 300, 600 y 1200 ppm de CO₂, respectivamente.

En la primera fase de aplicación de agua carbonatada (durante el almácigo), las plantas tratadas recibieron la concentración requerida en 100 ml de solución carbonatada; en los demás momentos de aplicación cada unidad experimental (una planta) recibió la concentración en 300 ml, debido al mayor crecimiento y demanda de agua por el cultivo.

3.2 SEGUNDA FASE EXPERIMENTAL

3.2.1 Ubicación y características del sitio experimental

El experimento se desarrolló en condiciones de campo abierto entre febrero y julio de 1996 en el lote X-2 del campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), ubicado a 19° 29' latitud norte, 98° 53' longitud oeste y a una altura de 2250 msnm en Chapingo, Estado de México, México.

El clima de la zona donde se desarrolló el experimento está clasificado como C(Wo)(W)b(i)g, que corresponde a templado subhúmedo, el más seco de los subhúmedos con lluvias en el verano, precipitación media anual de 645 mm, ocurriendo la máxima precipitación en julio y la mínima en enero. La temperatura promedio anual de la zona es de 15 °C, con heladas tempranas a finales de setiembre y tardías en abril (García, 1986).

Durante el desarrollo del experimento la temperatura máxima promedio mensual fue de 28.1 °C en el mes de mayo y la mínima media mensual de 4.2 °C en marzo, con una media mensual de 19.3 °C durante la duración del experimento. La humedad relativa promedio mensual en el periodo experimental fue de 49% y la precipitación promedio de 29.5 mm entre febrero y julio de 1996 (Estación Meteorológica Agrícola Principal de la Universidad Autónoma Chapingo).

3.2.2 Material vegetal

En ambos experimentos se utilizó la variedad CHF1-Chapingo selección 10 correspondiente al tipo rendidora de tomate de cáscara, producido en 1995 por el Programa de Mejoramiento de Tomate de Cáscara de la Universidad Autónoma Chapingo.

3.2.3 Manejo agronómico del experimento

3.2.3.1 Almacigo

La siembra se realizó el 24 de febrero de 1996 en charolas germinadoras de poliestireno con 200 cavidades cada una. El sustrato empleado fue peat moss Fafard de pH=5, al que le fue aplicado 200 g de carbonato de calcio por metro cúbico de sustrato para corregir el pH a un nivel cercano a la neutralidad (6.5 a 7.0).

La siembra fue manual depositando 4 a 5 semillas por cavidad. Posteriormente a ésta se procedió a tapar las semillas con el mismo sustrato y por capilaridad se humedeció. Después de ser sembradas, las charolas se agruparon en 25 unidades, cubriéndolas con polietileno transparente que eleva la temperatura al rango de 30 a 40 °C, el cual facilita y uniformiza la germinación. El retiro de la cubierta de polietileno y tendido de las charolas se realizó al iniciar la germinación de las semillas antes de ocurrir el etiolado y elongación de las plántulas, a los 4 días y medio. El trasplante se realizó a los 32 después de la siembra (dds) depositando una planta por cada 30 cm.

3.2.3.2 Riegos y fertilización

Durante el almacigo los riegos se realizaron manualmente con una frecuencia diaria. En el campo los riegos se realizaron a través de cintas de goteo Rodrip de calibre 8000, de un cm de ancho y goteros distanciados a 30 cm. La frecuencia de riego fue cada tres días con una duración de dos a tres horas por riego, donde el agua tuvo un pH de 6.75 y 25 ppm de CO₂.

La fertilización durante el almácigo se realizó con solución nutritiva diseñada de acuerdo al comportamiento de las plántulas y a la presencia de síntomas de deficiencia o exceso de elementos, utilizando la formulación que se presenta en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Solución nutritiva utilizada durante el almácigo en la fase II del experimento

Elemento	Concentración
N	150 ppm
P	75 ppm
K	150 ppm
Ca	150 ppm
Mg	50 ppm
Peters	1.0 %
Folim	0.5 %

Las fuentes de elementos fertilizantes utilizados para la solución nutritiva fueron nitrato de calcio (grado comercial), nitrato de potasio (grado reactivo), fosfato de potasio (grado reactivo), nitrato de magnesio (grado reactivo), sulfato de magnesio (grado reactivo), Folim y Peters (grado comercial), realizando la aplicación de solución nutritiva a los 20, 22 y 24 días después de la siembra a razón de un litro por charola de 200 plántulas.

En la fase de campo (después del trasplante) la fertilización se realizó a través de riego por goteo (fertigación) siguiendo el programa de fertilización que se detalla a continuación:

Dosis de fertilización : 290-150-200-135-65 (N, P_2O_5 , K_2O , CaO, MgO) por hectárea;

Periodo de aplicación : Abril-junio;

Area experimental : 3200 m²;

Sistema de riego : Goteo;

Lugar : Campo Agrícola Experimental Chapingo. Lote X-2.

La cantidad de fertilizantes aplicados en los diferentes momentos en el tomate de cáscara se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Programa de fertilización de tomate de cáscara ($\text{kg.día}^{-1}.\text{ha}$)

Mes	Día	Nitrato de calcio	Nitrato de potasio	Sulfato de magnesio	Fosfato de amonio	Ácido fosfórico	Nitrato de amonio
Abril	04,06,11 13,16,20 23,27,30	20.4	30.8	26.0	17.3	0.8	8.7
Mayo	03,07,11 16,22,30	26.3	19.8	20.1	0.0	6.5	14.2
Junio	04,08,15	23.0	26.0	11.7	0.0	3.8	9.4

3.2.3.3 Tendido de cintas de riego y acolchado de suelos

En el suelo arado, desterronado y surcado se procedió a tender las cintas de goteo Rodrip a lo largo de los surcos, los cuales fueron de 50 m de longitud y 1 m de ancho. El acolchado de los surcos se realizó antes del trasplante, el cual se ejecutó manualmente con las películas correspondientes a cada tratamiento. El agujerado de los filmes se realizó cada 30 cm al costado de los goteros de la cinta de riego.

La película plástica transparente que se usó en el experimento para el acolchado del suelo fue de polietileno de baja densidad, calibre 150 y 1.2 m de ancho, y la película coextruída (blanco/negro) fue de calibre 250.

3.2.3.4 Tutoreo de plantas

De acuerdo a los tratamientos de la investigación se procedió a instalar las espalderas para las plantas utilizando cintas de madera rústica de 250x5x2.5 cm de largo, ancho y espesor, respectivamente. Las cintas se profundizaron a 50 cm de la superficie, distanciadas a tres metros entre parantes, las cuales se colocaron a los 38 días después del trasplante y posteriormente se inició el tutoreo de plantas con hilos de plástico, mismos que se colocaron con un intervalo de 10 días. La distancia entre los hilos fue de 10 a 20 cm, y la altura dependió de la velocidad de crecimiento de las plantas, necesitándose de 4 a 5 niveles de hilo por espaldera.

3.2.4 Diseño de tratamientos

En esta fase experimental se evaluaron tres factores con los niveles siguientes :

1º Factor : Sistemas de manejo del cultivo

1. Manejo tradicional en piso (testigo);
2. Manejo en espalderas.

2º Factor : Acolchado de suelos

1. Sin acolchar (testigo);
2. Acolchado con polietileno blanco/negro (bicapa);
3. Acolchado con polietileno transparente.

3º Factor: Aplicación radical de bióxido de carbono⁷

1. Sin aplicación (El contenido del agua de riego fue 25 ppm de CO₂);
2. 300 ppm en la fase de 10 bolsas por planta;
3. 1200 ppm en la fase de 10 bolsas por planta.

3.2.5 Diseño experimental

Esta fase experimental se llevó a cabo en campo usando el Diseño en Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones en arreglo de parcelas divididas con tres factores. El primer factor (sistema de manejo) fue asignado a la parcela grande (Pg) y la combinación del segundo y tercer factor (acolchado plástico y aplicación de CO₂), fueron asignados a las parcelas chicas (Pc). De la combinación de los niveles de parcela grande con parcela chica se generaron 18 tratamientos, los que se describen en el Cuadro 8.

⁷ La aplicación de 300 y 1200 ppm de bióxido de carbono durante la fase de 10 bolsas con cáliz de tamaño máximo fueron los tratamientos de mejor respuesta en la primera fase experimental.

Cuadro 8. Combinación de niveles de los tres factores en estudio en tomate de cáscara en la segunda fase experimental

Tratamiento	Espaldera	Acolchado	Riego con CO ₂ (ppm)*
1	Sin	Testigo	0
2	Sin	Bicapa	0
3	Sin	Transparente	0
4	Sin	Testigo	300
5	Sin	Bicapa	300
6	Sin	Transparente	300
7	Sin	Testigo	1200
8	Sin	Bicapa	1200
9	Sin	Transparente	1200
10	Con	Testigo	0
11	Con	Bicapa	0
12	Con	Transparente	0
13	Con	Testigo	300
14	Con	Bicapa	300
15	Con	Transparente	300
16	Con	Testigo	1200
17	Con	Bicapa	1200
18	Con	Transparente	1200

*El nivel 0 se refiere a que no hubo enriquecimiento adicional, pero cabe señalar que el agua contenía 25 ppm de CO₂ en forma natural.

El análisis de los resultados se realizó con el modelo siguiente:

$$Y_{ijkl} = U + R_i + S_j + E_{ij} + A_k + B_l + (SA)_{jk} + (SB)_{jl} + (AB)_{kl} + (SAB)_{jkl} + E_{ijkl}$$

Donde : $i = 1, 2, 3, 4$

$j = 1, 2$

$k = 1, 2, 3$

$l = 1, 2, 3$

U = Efecto de la media general del experimento;

R_i = Efecto del i -ésimo bloque;

S_j = Efecto del nivel j del sistema de manejo;

E_{ij} = Error experimental a nivel de parcela grande;

A_k = Efecto del nivel k de los acolchados plásticos;

B_l = Efecto del nivel l de la aplicación de bióxido de carbono;

$(SA)_{jk}$ = Interacción entre sistema de manejo y acolchado plástico;

$(SB)_{jl}$ = Interacción entre sistema de manejo y aplicación de bióxido de carbono;

$(AB)_{kl}$ = Interacción entre acolchado plástico y aplicación de bióxido de carbono;

$(SAB)_{jkl}$ = Interacción entre sistema de manejo, uso de acolchado plástico y aplicación de bióxido de carbono;

E_{ijkl} = Error experimental a nivel de parcela chica.

Los únicos términos aleatorios en el modelo son E_{ij} (error de parcela grande) y E_{ijkl} (error de parcela chica) y la comparación de medias de cada tratamiento se realizó a través de la prueba de Tukey con 5% de probabilidad de cometer error tipo I donde los E_{ij} son independientes y tienen una distribución normal con media cero y varianza σ_{Pg}^2 y los E_{ijkl} son independientes (entre ellos y de los E_{ij}) y tienen distribución normal con media cero y varianza σ_{Pc}^2 .

3.2.6 Características de la unidad experimental

Se implementaron 72 unidades experimentales con 25 m² cada una (5 surcos distanciados en 1 m por 5 m de longitud cada uno). Se establecieron cuatro bloques con una relación largo/ancho equivalente a 2 (30 m de largo y 15 de ancho) habiendo utilizado 450 m² por cada bloque. En todo el experimento se utilizaron 3200 m² de área, incluyendo bordes y calles entre los bloques.

El ensayo constó de 18 unidades experimentales por cada bloque. Cada unidad definió una combinación de tratamientos de sistema de manejo, acolchado plástico y aplicación radical de bióxido de carbono, los cuales fueron asignados al azar en cada bloque con cuatro repeticiones por tratamiento (Anexo 1).

3.2.7 Variables evaluadas

1. Rendimiento de frutos

Se determinó el peso fresco de frutos en cada uno de los seis cortes realizados (29 mayo, 06 junio, 14 junio, 22 junio, 01 julio y 09 de julio) con ayuda de una báscula de precisión.

2. Número y peso de frutos

Se determinó el número de frutos por muestra de un kilogramo de peso fresco para cada parcela experimental y corte realizado.

3. Volumen de fruto

La muestra de un kilogramo de frutos frescos de tomate de cáscara fue depositado en una probeta totalmente llena con agua, registrándose el volumen de agua desplazada por los frutos sumergidos totalmente en cada corte.

4. Diámetro de tallo

El diámetro del tallo de las plantas se determinó a dos centímetros sobre la superficie del suelo en plantas del surco central de cada parcela a los 20 y 25 días después del trasplante. La determinación se realizó con un bernier de 1 mm de precisión y los datos fueron analizados con el Diseño en Bloques Completos al Azar teniendo como factor el uso de acolchados plásticos.

5. Altura de planta

La altura de las plantas fue medida con una varilla calibrada a un cm de precisión, registrando la altura del cuello de la planta a la rama totalmente extendida. Las mediciones se realizaron a los 20, 30, 45 y 65 días después del trasplante (ddt).

6. Número de hojas por planta

El número de hojas se determinó a los 20 ddt, promediando el número de hojas de tres plantas completas en cada repetición. El análisis de varianza se realizó con el Diseño en Bloques Completos al Azar teniendo como factor el uso de acolchados plásticos.

7. Número de flores

A los 20 y 25 días después del trasplante se contó el número de flores abiertas en una planta representativa de cada unidad experimental, y los datos se evaluaron estadísticamente con el Diseño en Bloques Completos al Azar.

8. Longitud de rama

La determinación de la longitud de las ramas del tercer orden se registró a los 65 ddt con una regla milimétrica de 50 cm de longitud, posteriormente al periodo de aplicación de bióxido de carbono a las plantas que incluyeron este tratamiento.

9. Área foliar

Se determinó el área foliar total de una planta por cada unidad con el uso de un integrador de área foliar modelo LI-3100, USA. El muestreo de plantas y las mediciones se realizaron a los 65 ddt, posteriormente a la aplicación de bióxido de carbono a las plantas así tratadas.

10. Materia seca

La determinación del peso seco de tallos y hojas de las plantas de tomate de cáscara se llevó a cabo a los 65 ddt, posteriormente a la aplicación de los tratamientos que incluyeron bióxido de carbono en las plantas. El peso se determinó con una báscula de 0.1 g de precisión.

11. Acidez total

La acidez total se determinó por volumetría de neutralización, mediante la técnica sugerida por la AOAC (1980), citada por Solís, 1994, la cual considera la cantidad de tejido vegetal, la normalidad de una base y diluciones respectivas. Se tomó 2.5 g de muestra de hojas frescas, el volumen inicial fue de 100 ml, la alicota de 2 ml de la solución y el volumen final de 100 ml. El muestreo de las hojas para la determinación de la acidez se realizó un día después (59 ddt) de la fase de aplicación de bióxido de carbono en las plantas que lo incluyeron.

El procedimiento para la determinación de la acidez total a través de titulación con NaOH es como sigue:

1. Muestreo de hojas maduras y de máxima exposición a la luz solar el mismo día de análisis;
2. Lavar las hojas con agua destilada;
3. Secar las hojas con papel absorbente;
4. Pesar la cantidad de muestra de interés (2.5 g);
5. Moler la muestra en un mortero y mezclar con 50 ml de agua destilada;
6. Filtrar la mezcla anterior y aforar a 100 ml con agua destilada (Solución A);
7. Tomar dos ml de la solución A y aforar a 100 ml con agua destilada (Solución B);
8. Agitando la solución B, añadir cinco gotas de fenolftaleína 0.1% (indicador), luego añadir la solución titulante de NaOH 0.01N gota por gota hasta que el cambio de color del transparente al rosado sea permanente;
9. Cuantificar el gasto del titulante (NaOH 0.01N).

La acidez total de los tejidos se determina a través de la siguiente fórmula :

$$\% \text{ acidez} = \frac{G \times N \times FD \times 100}{AL \times P}$$

Donde :

G : Gasto de NaOH 0.01N;

N : Normalidad o molaridad del NaOH;

P : Peso fresco de la muestra;

AL : Alícuota de solución;

FD : Factor de dilución.

El factor de dilución se determinó de la forma siguiente :

$$FD = \frac{\text{Aforo inicial} \times \text{Aforo final}}{P \times AL}$$

12. pH del suelo

La reacción del suelo se determinó un día después del periodo de aplicación del agua carbonatada al suelo. La determinación se realizó de la siguiente manera :

1. Muestreo de los primeros 10 cm de profundidad del suelo con ayuda de un barreno;
2. Pesar 40 g de muestra de suelo;
3. Agregar 60 ml de agua destilada al suelo recién pesado, agitar y uniformizar;
4. Medición del pH en la solución con un potenciómetro Checker de 0.01 de precisión.

13. Concentración de bióxido de carbono en los suelos

La determinación de la concentración de bióxido de carbono en los suelos del experimento se realizó un día después del periodo de aplicación de agua carbonatada.

La cuantificación de la concentración de bióxido de carbono en la solución del suelo se realizó por volumetría de neutralización con NaOH 0.01N, mediante el siguiente procedimiento:

1. Muestreo del suelo;
2. Determinación del porcentaje de humedad de suelo;
3. Pesar 40 g de muestra de suelo y preparar una solución con 60 ml de agua destilada;
4. Agitar la solución, tomar 10 ml de ésta y aforar a 100 ml con agua destilada;
5. Agregar a la solución aforada cinco gotas del indicador (fenolftaleína 0.1%) y agitar;
6. Titular con NaOH 0.01N hasta que la solución tome la coloración rosa teniendo fondo blanco y mirando desde arriba.

Usando la siguiente fórmula se determinó la concentración de CO₂ en la solución del suelo :

$$[\text{CO}_2] \text{ (ppm)} = \frac{G \times N \times \text{FD} \times 44000}{V}$$

Donde :

G : Gasto de NaOH (ml);

N : Normalidad del NaOH;

V : Volumen de la muestra;

FD : Factor de dilución.

El factor de dilución (FD) en la muestra del suelo se determinó de la siguiente manera:

$$\text{FD} = \frac{\text{VI} \times \text{VF}}{\text{VA} \times \text{AL}}$$

Donde :

VI : Volumen inicial

VF : Volumen final

VA : Volumen del agua del suelo

AL : Alicota

14. Tasa de fotosíntesis aparente

La tasa de fotosíntesis aparente de las plantas de tomate de cáscara se determinó en hojas maduras y expuestas a la luz, realizando la lectura con el aparato de medición portátil LI-6200 (LI-COR; Lincol, Ne) que incluye analizador de gases en infrarrojo (Infra Red Gas Analyzer, IRGA), que es el sensor comúnmente utilizado en la medición del intercambio de CO_2 de las hojas por su rapidez, sensibilidad y precisión.

El IRGA mide la tasa de intercambio de CO_2 del área de hoja dentro de la cámara totalmente cerrada en un intervalo de tiempo. La medición de la tasa de fotosíntesis aparente ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) se realizó dos días después del período de aplicación de bióxido de carbono a las plantas.

15. Temperatura del suelo

Para cuantificar la mayor o menor acumulación y/o pérdida del calor proveniente de los rayos solares por efecto de los acolchados plásticos, se midió la temperatura del suelo en la parte central de los surcos a 15 cm de profundidad a los 30, 50 y 75 ddt utilizándose un termómetro bimetálico de 0.1°C de precisión. En las tres fechas se midió la temperatura del suelo en la mañana (7 a 8 am), medio día (12 am) y en la tarde (4 a 6 pm).

16. Análisis económico

Considerando el rendimiento total, los costos de producción y el precio de un peso por cada kilogramo de fruto de tomate de cáscara, se elaboró el presupuesto para la determinación de la utilidad neta y la relación beneficio/costo del cultivo (Perrin *et al.*, 1976). Asimismo, se determinó el análisis de sensibilidad disminuyendo el valor de la producción y aumentando el costo del cultivo en 20, 40 y 50%, ya que estos parámetros comúnmente pueden ser afectados por la oferta y demanda, plagas y enfermedades, mal manejo agronómico, malas condiciones climáticas, entre otras.

3.2.8 Momento y forma de aplicación del agua carbonatada

La carbonatación del agua se realizó de la misma forma que en la primera fase experimenten inyectando el bióxido de carbono gaseoso al agua, lo que se realizó entre las 2 y 10 de la mañana del mismo día de la aplicación del agua carbonatada al cultivo.

La calibración del contenido de bióxido de carbono en el agua carbonatada se realizó por volumetría de neutralización utilizando NaOH 0.01N como titulante tal como se describe en la primera fase experimental.

La aplicación del agua carbonatada al cultivo, de acuerdo a los tratamientos en estudio, se realizó entre el 50 y 58 ddt con un volumen total de 1500 ml por planta distribuido en cinco momentos de aplicación con 300 ml cada una, con intervalos de aplicación de dos días. La aplicación se realizó manualmente dirigiendo el agua carbonatada a la base de las plantas con la ayuda de envases calibrados y embudos de cuello largo para dirigir la aplicación.

3.2.9 Cronología de la conducción del cultivo

Las actividades que se realizaron durante el desarrollo de la segunda fase experimental de tomate cáscara se presenta en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Actividades desarrolladas en el cultivo de tomate de cáscara en la segunda fase experimental

Actividad	Días acumulados
Siembra y tapado con polietileno transparente (24 feb. 1996)	00 dds.
Destapado de charolas de germinación	03 dds.
Tendido de cintas de riego	20 dds.
Acolchado de suelos	20-27 dds.
Agujereo de acolchados	30 dds.
Trasplante y primer riego (27 marzo 1996)	32 dds.
Replante (reposición de plantas)	05 ddt.
Puesta de parantes para las espalderas	38 ddt.
Primer tutorio de plantas (dos niveles de rafia)	40 ddt.
Segundo tutorio de plantas (un nivel de rafia)	49 ddt.
Primera aplicación de 300 ppm. de CO ₂	50 ddt.
Segunda aplicación de 300 ppm. y 1° de 1200 ppm de CO ₂	52 ddt.
Tercera aplicación de 300 ppm. y 2° de 1200 ppm de CO ₂	54 ddt.
Cuarta aplicación de 300 ppm. y 3° de 1200 ppm de CO ₂	56 ddt.
Quinta aplicación de 300 ppm. y 4° de 1200 ppm de CO ₂	58 ddt.
Tercer tutorio de plantas (un nivel de rafia)	59 ddt.
Quinta aplicación de 1200 ppm. de CO ₂	60 ddt.
Primera cosecha (29 mayo)	63 ddt.
Segunda cosecha	71 ddt.
Cuarto tutorio de plantas (un nivel de rafia)	72 ddt.
Tercera cosecha	79 ddt.
Cuarta cosecha	87 ddt.
Quinta cosecha	96 ddt.
Sexta cosecha (09 julio)	104 ddt.

dds = Días después de la siembra
ddt = Días después del trasplante.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

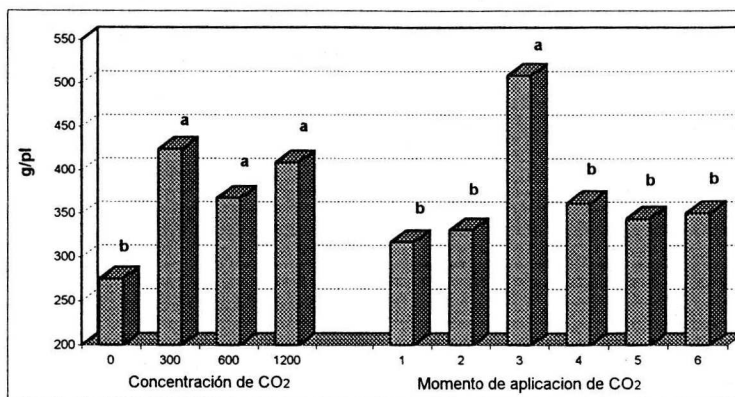
4.1 PRIMERA FASE EXPERIMENTAL

4.1.1 Rendimiento

El análisis de varianza (ANAVA) de la producción total de frutos por planta en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.), presentó diferencias altamente significativas con 19.8% de coeficiente de variación.

La prueba de Tukey ($\alpha=0.01$) para la producción total para el factor concentración de bióxido de carbono, muestra que no existieron diferencias significativas con 300, 600 y 1200 ppm de CO₂ aplicado al suelo, pero sí con respecto al tratamiento testigo. La mayor producción de frutos fue de 424 y 409 g.pl⁻¹, y se obtuvo con la aplicación de agua carbonatada enriquecida con 300 y 1200 ppm, respectivamente (Figura 1), lo que posiblemente se debió a la disminución temporal del pH hasta un nivel adecuado que permitió una mayor disponibilidad de nutrientes en el medio de cultivo, principalmente en suelos con bajo poder amortiguador como sucede con el sustrato ensayado que tienen bajo contenido de materia orgánica (Storlie y Heckman, 1996a). También, el posible incremento de la concentración de CO₂ del aire por la gran volatilidad del carbono contenido en el agua carbonatada pudo haber favorecido una mayor actividad fotosintética en la planta que resultó en mayor producción, tal como lo reportó Moresten, citado por Enoch y Olesen (1993) en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.), donde la aplicación de agua carbonatada por dos a tres horas diarias a través del sistema de riego en invernadero aumentó la concentración de CO₂ en el aire a 800 ppm en comparación con plantas no tratadas que presentaron 260 a 320 ppm. Esta situación hace que en la actualidad se aplique el CO₂ en forma de agua carbonatada en invernaderos a fin de que la planta lo absorba tanto por las raíces como por el follaje (Enoch and Olesen, 1993).

Figura 1. Producción total de frutos de tomate de cáscara en la fase I del experimento



CV=19.8%, DMS(Concentración)=67.8, DMS(Momento)=89.9, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

Para el factor momento de aplicación de agua carbonatada, la prueba de Tukey ($\alpha=0.01$) reportó la existencia de diferencias estadísticas significativas en el rendimiento total cuando la aplicación fue en la fase de 10 bolsas de fruto por planta con respecto a los demás momentos de aplicación. La mayor producción de frutos por planta fue de 509 g, y se obtuvo cuando la adición de CO₂ se realizó en la fase de 10 bolsas por planta. Los demás niveles del factor momento de riego con agua carbonatada reportan producciones menores de 400 gramos por planta, no existiendo diferencias significativas entre estos (Figura 1).

La prueba de Tukey ($\alpha=0.01$) para la combinación de niveles de ambos factores en estudio sobre la producción de frutos, muestra que la mejor respuesta ocurrió cuando la aplicación de agua carbonatada se realizó en la fase de 10 bolsas por planta con 1200 y 300 ppm de bióxido de carbono, los cuales produjeron 627 y 590 g.planta⁻¹, respectivamente (Cuadro 10, Anexo 2). Esta respuesta pudo deberse a que las plantas, por un lado, respondieron favorablemente a bajas concentraciones de aplicación radical de bióxido de carbono, tal como la dosis de 300 ppm de CO₂ que puede mejorar la disponibilidad de ciertos elementos nutritivos para las raíces

de las plantas, y por el otro, la elevada concentración de CO_2 disuelto en el agua de riego pudo aumentar la concentración en el aire, lo cual favoreció la tasa fotosintética de las hojas que se tradujo en mayor rendimiento.

Cuadro 10. Producción de frutos frescos de tomate de cáscara en la primera fase experimental (g.planta^{-1})

Momento	Concentración de CO_2 (ppm)			
	0	300	600	1200
1	274	299	343	352
2	266	402	296	360
3	284	590	534	627
4	276	340	367	468
5	277	406	354	342
6	275	507	315	306

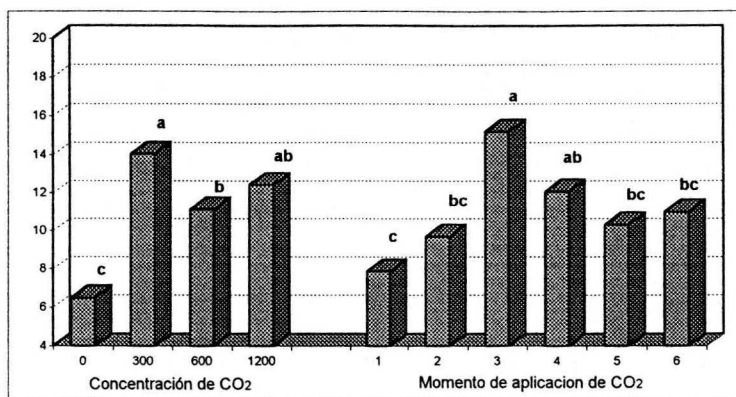
CV=13.7%, DMS=154.3, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6.

4.1.2 Número y peso de frutos

El análisis de varianza del número de frutos por planta y peso promedio de un fruto, reporta diferencias estadísticas altamente significativas para cada factor en estudio y para la combinación de niveles de ambos factores. El coeficiente de variación del número de frutos por planta fue de 25.3 y 18.7% para los factores y para la interacción de niveles, respectivamente. El peso de un fruto presentó un coeficiente de variación de 15.6 y 15.1% para los factores y la combinación de niveles, respectivamente.

La comparación de medias del número de frutos por planta (Tukey con $\alpha=0.01$) muestra que la aplicación de agua carbonatada concentrada en 300 y 1200 ppm de CO_2 produjeron el mayor número de frutos por planta, comparado con las aplicaciones de agua concentrada a 600 ppm y el tratamiento testigo. El testigo difirió estadísticamente de los demás niveles produciendo sólo siete frutos comerciales por planta (Figura 2). Del mismo modo, la aplicación del agua carbonada a la zona radical durante los momentos 3 y 4 produjeron el mayor número de frutos por planta, sin presentar diferencias estadísticas entre ambos periodos de aplicación (Figura 2).

Figura 2. Número de frutos comerciales por planta de tomate de cáscara en la fase I del experimento



CV=25.3%, DMS(Concentración)=2.6, DMS(Momento)=3.4, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

Las combinaciones de niveles entre la concentración y el momento de aplicación de bióxido de carbono que produjeron la mejor respuesta sobre el número de frutos por planta fueron las aplicaciones de 300 y 1200 ppm durante la etapa de 10 bolsas por planta. El número de frutos comerciales por planta producidos con la mejor combinación de niveles (C1M3) fue 21, seguido de 18 con la combinación C3M3; los cuales no evidencian diferencias significativas entre ambas con el 1% de error (Cuadro 11, Anexo 2).

Cuadro 11. Número de frutos comerciales por planta de tomate de cáscara en la primera fase del experimento

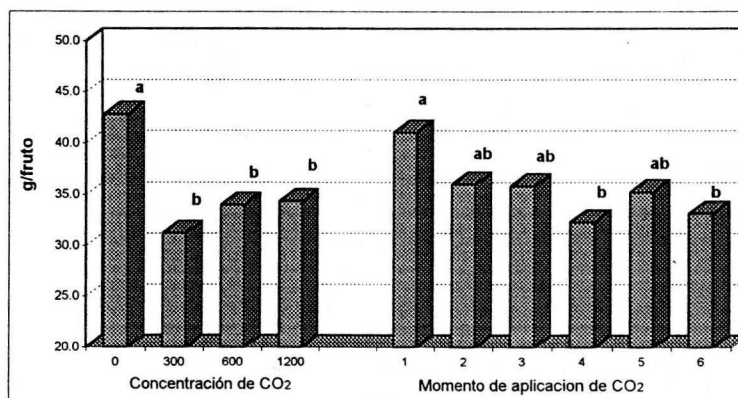
Momento	Concentración de CO ₂ (ppm)			
	0	300	600	1200
1	6	7	10	8
2	6	13	8	12
3	7	21	16	18
4	7	14	12	17
5	7	13	12	10
6	7	17	10	11

CV=18.7%, DMS=6.3, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6.

La comparación de medias (Tukey con $\alpha=0.01$) muestra que existieron diferencias estadísticas en el peso promedio de un fruto cuando no se aplicó agua carbonatada con respecto a los demás tratamientos, entre los cuales no existió diferencias. El peso promedio de un fruto sin la aplicación de bióxido de carbono fue el mayor, registrando 44.5 g, lo cual se debe a la relación inversa que presenta el tomate de cáscara entre el número de frutos producidos y el tamaño del mismo (Figura 3).

Según la prueba de Tukey ($\alpha=0.01$) no existieron diferencias significativas en el peso de un fruto por la aplicación de agua carbonatada en los diferentes momentos. El mayor peso del fruto fue de 41 g, mismo que se obtuvo con la aplicación durante la fase de almácigo, que superó estadísticamente a los momentos 4 y 6 (Figura 3).

Figura 3. Peso promedio de un fruto de tomate de cáscara en la fase I del experimento



CV=15.6%, DMS(Concentración)=5.1, DMS(Momento)=6.8, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

La comparación de medias del peso de un fruto en la combinación de niveles de ambos factores, mostró que no existieron diferencias estadísticas entre todas las combinaciones (Tukey con $\alpha=0.01$). Sin embargo, el mayor peso promedio de un fruto se registró sin la aplicación de agua carbonatada en las fases de almácigo y presencia de 10 bolsas, ya que la aplicación de agua carbonatada durante el almácigo produjo pocos frutos y por consiguiente mayor peso de cada uno de ellos, mientras que en la fase de 10 bolsas el agua carbonatada posiblemente indujo una mayor absorción de nutrimentos que se revirtió en mayor número y peso de frutos por planta (Cuadro 12, Anexo 2).

Cuadro 12. Peso promedio de un fruto de tomate de cáscara en la primera fase experimental (g.fruto⁻¹)

Momento	Concentración de CO ₂ (ppm)			
	0	300	600	1200
1	44.5	41.2	35.5	42.8
2	43.0	30.4	39.0	31.6
3	44.4	28.8	33.6	36.5
4	42.5	25.5	32.3	29.1
5	42.9	30.7	31.0	36.3
6	39.5	30.8	32.6	29.8

CV=15.1%, DMS=16.4, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6.

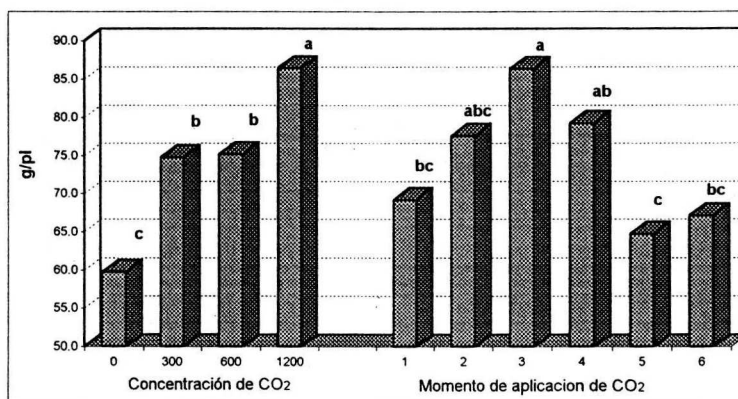
4.1.3 Peso de materia seca

4.1.3.1. Factor dosis de bióxido de carbono

El enriquecimiento del agua de riego con bióxido de carbono aumentó el peso total de materia seca de las plantas (raíz, tallo, hojas, frutos inmaduros y frutos comerciales). En el Figura 4 se observa la existencia de diferencias altamente significativas del peso seco total con la aplicación de 1200 ppm de CO₂, la cual produjo 86.5 g de materia seca. Asimismo, no existen diferencias estadísticas del peso seco de las plantas con la aplicación de 300 y 600 ppm de CO₂, las cuales produjeron 74.7 y 75.1 g.planta⁻¹, respectivamente, pero si hubo diferencias de ambos tratamientos con respecto al tratamiento testigo, que sólo produjo 59.7 g de material seco. Este

comportamiento es parecido al obtenido por Vapaavouri y Pelkonen (1985) donde la materia seca total (raíz, tallos, hojas) en plantas de sauce aumentó en 31% y 26.8% con la aplicación de 0.7 y 1.5 mol.m⁻³ de NaHCO₃, respectivamente, con respecto al testigo en condiciones de mayor concentración de NaHCO₃ (50 a 100 veces mayor) y 25 °C. Esta situación es mas evidente cuando la concentración de CO₂ en la atmósfera es baja y la del medio de crecimiento radical alta, lo cual facilita el intercambio de iones que permite mantener el balance eléctricamente neutro, lo cual es beneficioso para el crecimiento de las plantas (Wallace, *et al.*, 1979). El mismo efecto fue reportado por Arteca *et al.* (1979) en el cultivo de papa, donde la aplicación de agua carbonatada aumentó en 18% la materia seca debido a que el CO₂ se trasloca de la raíz a los brotes de crecimiento y aumenta también el contenido de ácidos orgánicos.

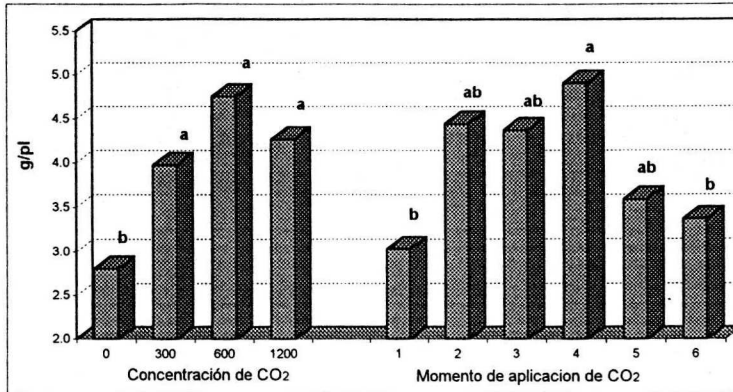
Figura 4. Peso de materia seca total por planta de tomate de cáscara CHF1-Chapingo



CV=15.1%, DMS(Concentración)=10.3, DMS(Momento)=13.7, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

La acumulación de materia seca en las raíces no difirieron estadísticamente con las aplicaciones de 300, 600 y 1200 ppm de bióxido de carbono, pero si con respecto al tratamiento testigo, que sólo produjo 2.8 g de materia seca. Las aplicaciones de 300, 600 y 1200 ppm de CO₂ produjeron 4.0, 4.8 y 4.3 g de materia seca, respectivamente (Figura 5).

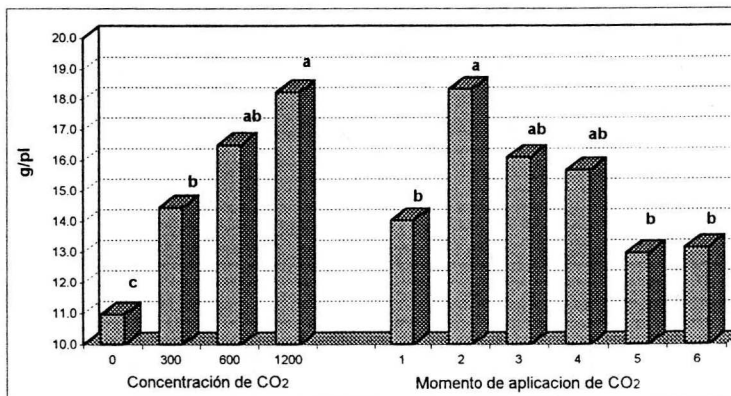
Figura 5. Peso de materia seca de raíces de tomate de cáscara en la fase I del experimento



CV=30.3%, DMS(Concentración)=1.1, DMS(Momento)=1.5, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

La acumulación de materia seca en los tallos de las plantas no presentó diferencias estadísticas con la aplicación de 600 y 1200 ppm de CO₂, pero si con respecto al tratamiento testigo. La mayor acumulación de materia seca en los tallos se obtuvo con la aplicación de 1200 y 600 ppm de CO₂, que produjeron 18.2 y 16.5 g.planta⁻¹, respectivamente (Figura 6).

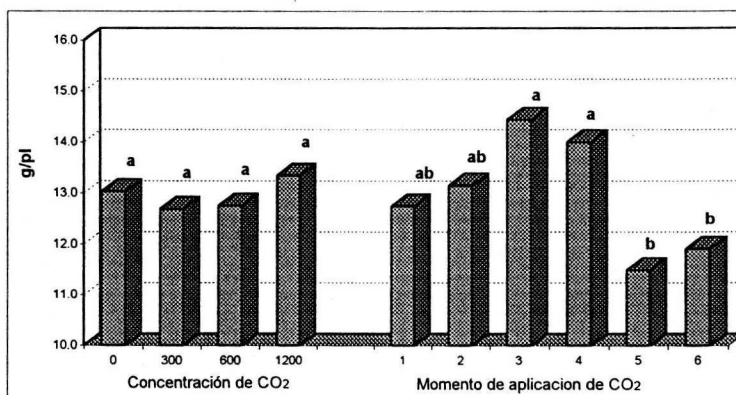
Figura 6. Peso de materia seca de tallos de tomate de cáscara



CV=22.7%, DMS(Concentración)=3.1, DMS(Momento)=4.2, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

La producción de materia seca en las hojas no fue afectado estadísticamente por la aplicación de agua carbonatada a la zona radical. Sin embargo, la mayor producción se obtuvo con la aplicación de 1200 ppm de CO_2 y el testigo, que produjeron 13.3 y 13 g.planta⁻¹, respectivamente (Figura 7).

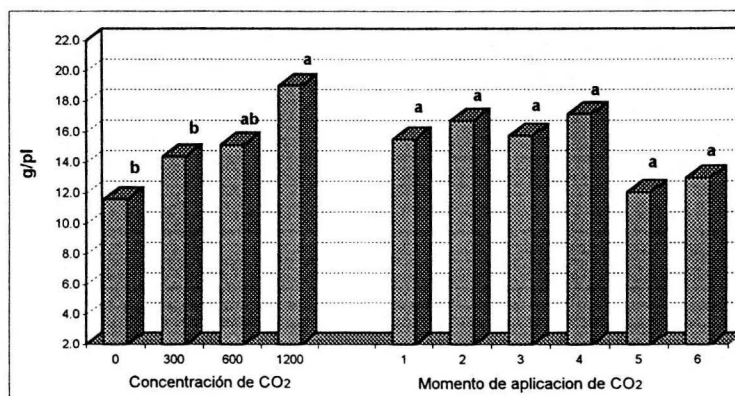
Figura 7. Peso de materia seca de hojas de tomate de cáscara en la fase I del experimento



CV=11.7%, DMS(Concentración)=1.4, DMS(Momento)=1.9, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

El análisis de varianza de la producción de materia seca de frutos inmaduros con las diferentes aplicaciones de bióxido de carbono, mostró la existencia de diferencias altamente significativas. La prueba de comparación de medias (Tukey con $\alpha=0.01$) reportó diferencias en la producción de materia seca con la aplicación de 1200 ppm con respecto a los tratamientos con 300 ppm y testigo (sin aplicación adicional de CO_2). La mayor producción de materia seca se obtuvo con la aplicación de 1200 y 600 ppm que produjeron 19.0 y 15.2 g.planta⁻¹, respectivamente, y dentro de las cuales no existen diferencias estadísticas. Para esta variable no hubo diferencia estadística significativa entre los momentos de aplicación de CO_2 (Figura 8).

Figura 8. Peso de materia seca de frutos inmaduros de tomate de cáscara en la primera fase experimental

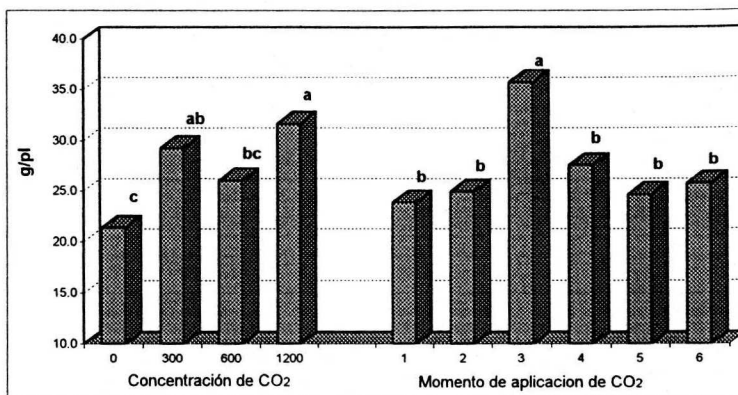


CV=32.7%, DMS(Concentración)=4.6, DMS(Momento)=6.1, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

Con respecto a la materia seca de frutos cosechados, se encontraron diferencias altamente significativas en el análisis de varianza del experimento. Del mismo modo, la comparación de medias muestra significativamente mayor acumulación de material seco con la aplicación de 1200 y 300 ppm de bióxido de carbono con respecto al testigo, mismos que produjeron 31.6, 29.3 y 21.3 gramos por planta, respectivamente (Figura 9).

En general, se demuestra que la aplicación de agua carbonatada en plantas de tomate de cáscara aumenta la producción de biomasa del cultivo. Este efecto posiblemente se debe a la mayor absorción de nutrientes por el cambio temporal del pH del medio de cultivo, tal como lo reportan Mauney y Hendrix (1988) y Novero *et al.* (1991), o al aumento de la concentración de bióxido de carbono en el aire circundante al follaje de las plantas, dado que la concentración del CO₂ del ambiente aéreo dentro del invernadero en las horas de mayor temperatura puede ser insuficiente para la óptima actividad fotosintética de las plantas.

Figura 9. Peso de materia seca de frutos comerciales de tomate de cáscara en la fase I del experimento



CV=19.5%, DMS(Concentración)=4.9, DMS(Momento)=6.5, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

4.1.3.2. Factor momento de aplicación

La producción de materia seca de raíces, tallos, hojas, frutos y materia seca total de las plantas presentaron diferencias estadísticas altamente significativas entre los diferentes momentos de aplicación de agua carbonada a las raíces de las plantas conducidas en hidroponía, con coeficientes de variación de 30.3, 22.7, 11.7, 19.5 y 15.1% para las raíces, tallos, hojas, frutos comerciales y planta completa, respectivamente.

La prueba de Tukey ($\alpha=0.01$) muestra que no existen diferencias significativas de las medias de la producción de materia seca total cuando la aplicación de CO₂ se realizó en las fases de primera flor, 10 bolsas y primer fruto lleno por planta. El mejor momento de aplicación de CO₂ fue el 3, aunque sólo superó significativamente a los momentos 1, 5 y 6. La producción de materia seca total en las plantas que recibieron agua carbonatada durante la fase de 10 bolsas y primer fruto lleno fueron de 86.3 y 79.2 gramos por planta, respectivamente.

La menor acumulación de materia seca en raíces se obtuvo cuando el agua carbonatada se aplicó en los momentos 1 y 6, aunque sólo fueron superados significativamente por el momento 4 (Figura 5). La prueba de comparación de medias (Tukey con $\alpha=0.01$) para la acumulación de materia seca de tallos en los distintos momentos de aplicación de CO_2 , muestra diferencias altamente significativas, siendo mayor cuando se aplicó el bióxido de carbono en el momento 2, el cual superó significativamente a los momentos 1, 5 y 6 (Figura 6). La aplicación tardía de CO_2 (momentos 5 y 6) produjo menor materia seca acumulada en las hojas, siendo superadas estadísticamente por los momentos 3 y 4 (Figura 7).

La acumulación de materia seca de los frutos comerciales mostró diferencias altamente significativas en los diferentes momentos de aplicación de bióxido de carbono. La prueba de comparación de medias de la materia seca (Tukey con $\alpha=0.01$) reporta que la aplicación de CO_2 durante la fase de 10 bolsas fue significativamente mayor que la materia seca acumulada en los demás momentos de aplicación (Figura 9).

4.1.3.3. Combinación de niveles de factores

La combinación de niveles de concentración y momento de aplicación de bióxido de carbono disuelto en el agua de riego a las plantas, tienen efectos altamente significativos sobre la producción de materia seca de raíces, tallos, hojas, frutos inmaduros, frutos maduros y materia seca total, los cuales presentan coeficientes de variación del 17, 10, 8, 23, 17 y 10%, respectivamente.

La prueba de Tukey ($\alpha=0.01$) para la materia seca total acumulada en plantas con la combinación de niveles de los dos factores en estudio, muestra que la aplicación de CO_2 en la fase de 10 bolsas y primer fruto lleno por planta con 1200 ppm produjeron la mayor cantidad de materia seca total, con 106.4 y 103.8 g, respectivamente (Cuadro 13, Anexo 3). La mayor acumulación de materia seca en las raíces ocurrió cuando la aplicación de agua carbonatada se

realizó en las fases de 10 bolsas, primer fruto lleno y primera flor; con 300, 600 y 1200 ppm de CO₂, respectivamente (Cuadro 14, Anexo 3).

Cuadro 13. Peso de materia seca total en plantas de tomate de cáscara durante la primera fase experimental (g.pl⁻¹)

Momento	Concentración de CO ₂ (ppm)			
	0	300	600	1200
1	59.2	85.4	55.9	76.3
2	58.5	74.1	82.6	95.1
3	61.4	82.7	94.8	106.4
4	60.1	70.9	82.2	103.8
5	59.6	72.5	70.2	56.5
6	59.6	62.9	65.1	80.7

CV=9.7%, DMS=21.8, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6.

Cuadro 14. Peso de materia seca de raíces de tomate de cáscara en la primera fase experimental (g.planta⁻¹)

Momento	Concentración de CO ₂ (ppm)			
	0	300	600	1200
1	2.7	4.2	2.3	2.9
2	2.7	3.3	6.7	5.1
3	2.9	4.8	3.8	5.9
4	2.9	4.0	7.7	5.0
5	2.9	4.3	4.8	2.3
6	2.8	3.1	3.2	4.3

CV=17.1%, DMS=2.1, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6.

La acumulación de materia seca en los tallos fue mayor cuando la aplicación de agua carbonatada se realizó en los momentos 2 y 3 con 1200 ppm de CO₂ en ambos momentos de riego, los cuales produjeron de 26.6 y 22.6 g.planta⁻¹, respectivamente (Cuadro 15, Anexo 3). Del mismo modo, las tres combinaciones de niveles de la concentración (C) y el momento de aplicación (M) de agua carbonatada que tuvieron mayor acumulación de materia seca en hojas fueron C3M4, C2M3 y C3M2, los cuales produjeron 15.7, 15.3 y 15 gramos por planta, respectivamente, sin existir diferencias significativas entre las tres (Cuadro 16, Anexo 4).

Cuadro 15. Peso de materia seca de tallos de tomate de cáscara en la primera fase experimental (g.planta⁻¹)

Momento	Concentración de CO ₂ (ppm)			
	0	300	600	1200
1	10.7	18.9	11.8	14.8
2	10.5	14.7	21.5	26.6
3	11.7	13.7	16.4	22.6
4	11.1	14.0	17.3	20.4
5	10.9	15.3	16.9	8.8
6	11.1	10.3	15.0	16.2

CV=10.2%, DMS=4.7, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6.

Cuadro 16. Peso de materia seca de hojas de tomate de cáscara en la primera fase experimental (g.planta⁻¹)

Momento	Concentración de CO ₂ (ppm)			
	0	300	600	1200
1	12.6	13.9	10.8	13.7
2	12.5	12.9	12.2	15.0
3	13.7	14.2	15.4	14.5
4	13.6	12.6	14.1	15.7
5	13.0	11.9	12.3	8.8
6	12.8	10.8	11.8	12.3

CV=8.3%, DMS=3.3, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6.

La comparación de medias de la combinación de niveles de cada factor sobre la producción de materia seca de frutos inmaduros muestra que la mayor acumulación ocurrió cuando se aplicó agua carbonatada a 1200 ppm durante el primer fruto lleno, seguido de la aplicación a 300 ppm en el semillero, no existiendo diferencias estadísticas entre estas dos mejores combinaciones de niveles, mismas que produjeron 27.6 y 23 g.planta⁻¹, respectivamente (Cuadro 17, Anexo 4).

La acumulación de la materia seca de frutos comerciales fue significativamente mayor con la aplicación de agua carbonatada durante la fase de 10 bolsas por planta con 1200 y 600 ppm de concentración de bióxido de carbono, los cuales produjeron 41.8 y 40.7 g.planta⁻¹,

respectivamente, sin que haya diferencias significativas entre ambas combinaciones de niveles (Cuadro 18, Anexo 4).

Cuadro 17. Peso de materia seca total de frutos inmaduros de tomate de cáscara (g.planta⁻¹)

Momento	Concentración de CO ₂ (ppm)			
	0	300	600	1200
1	11.8	23.8	10.5	16.0
2	11.7	16.7	19.8	18.9
3	11.8	11.2	18.4	21.6
4	11.1	15.5	14.6	27.6
5	11.6	11.7	14.8	10.2
6	11.6	7.5	12.9	19.9

CV=23.1%, DMS=10.6, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6.

Cuadro 18. Peso de materia seca de frutos comerciales de tomate de cáscara (g.planta⁻¹)

Momento	Concentración de CO ₂ (ppm)			
	0	300	600	1200
1	21.4	24.5	20.5	28.9
2	21.1	26.6	22.5	29.4
3	21.3	38.9	40.7	41.8
4	21.4	24.9	28.6	35.1
5	21.3	29.4	21.4	26.3
6	21.4	31.2	22.2	28.1

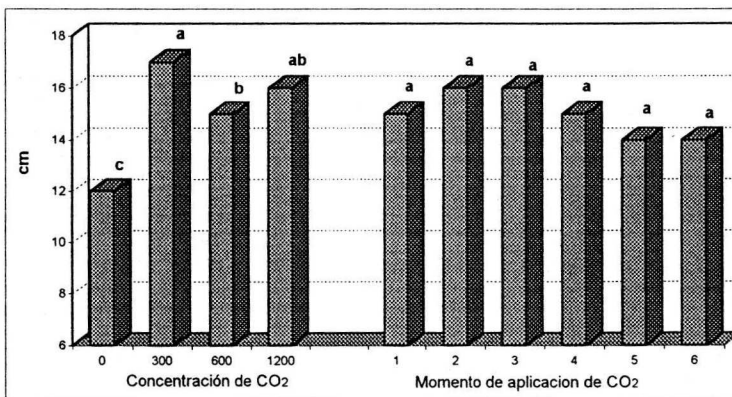
CV=16.9%, DMS=14.0, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6.

4.1.4 Altura del primer simpodio

Se encontró diferencia estadística de la altura promedio al primer simpodio cuando se aplicó bióxido de carbono. El factor concentración de CO₂ aplicado a las raíces de las planta afectó significativamente la altura del primer simpodio, pero el momento de aplicación no tuvo efecto significativo.

La comparación de medias de la altura al primer simpodio, muestra que la aplicación de 300 y 1200 ppm de CO_2 superó significativamente al tratamiento testigo sin aplicación de CO_2 , como lo reporta Solís (1994), quien al aplicar agua carbonatada a las raíces de plantas de crisantemo por 15 minutos al día, estimuló el alargamiento del sistema radical y parte aérea de la planta, pero no la acumulación del peso fresco a los 15 ddt. Este efecto puede deberse a que el agua carbonatada aplicada a las raíces inhibe la biosíntesis y producción de etileno, situación que promueve el crecimiento de las plantas (Govindarajan y Poovaiah, 1982). Sin embargo, la altura promedio en los diferentes momentos de aplicación de CO_2 no presentó diferencias significativas (Figura 10).

Figura 10. Altura del primer simpodio en plantas de tomate de cáscara en la primera fase experimental



CV=13.8%, DMS(Concentración)=1.9, DMS(Momento)=2.6, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

La combinación de niveles de concentración y momentos de aplicación de bióxido de carbono sobre la altura del primer simpodio presentó diferencias altamente significativas. Del mismo modo, la comparación de medias de la combinación de niveles a través de la prueba de Tukey ($\alpha=0.01$) muestra que los tratamientos C1M1 y C3M2 presentaron la mayor altura del simpodio, sin que haya diferencias significativas entre ambas (Cuadro 19).

Cuadro 19. Altura del primer simpodio en tomate de cáscara durante la primera fase experimental

Momento	Concentración de CO ₂ (ppm)			
	0	300	600	1200
1	12.3	20.5	13.8	13.0
2	11.8	16.0	16.5	19.3
3	12.0	18.0	19.0	16.7
4	12.3	16.0	13.8	17.8
5	13.3	17.3	14.8	14.0
6	12.3	15.8	12.3	17.5

CV=9.1%, DMS=4.2, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6.

4.1.5 Longitud de ramas

La longitud de las ramas de primer orden del tipo dicotómico original (las longitudes del tallo de la primera bifurcación son diferentes en el tomate de cáscara) que presentan el tomate de cáscara, fueron significativamente diferentes debido a la aplicación de CO₂ disuelto en el agua de riego. Sin embargo, no se evidenció diferencias estadísticas de la longitud de entrenudos con el factor momento de aplicación de agua carbonatada (Anexo 5, Cuadro 20, Figura 11).

Cuadro 20. Longitud de entrenudos de ramas del primer orden en tomate de cáscara durante la fase I del experimento (cm)

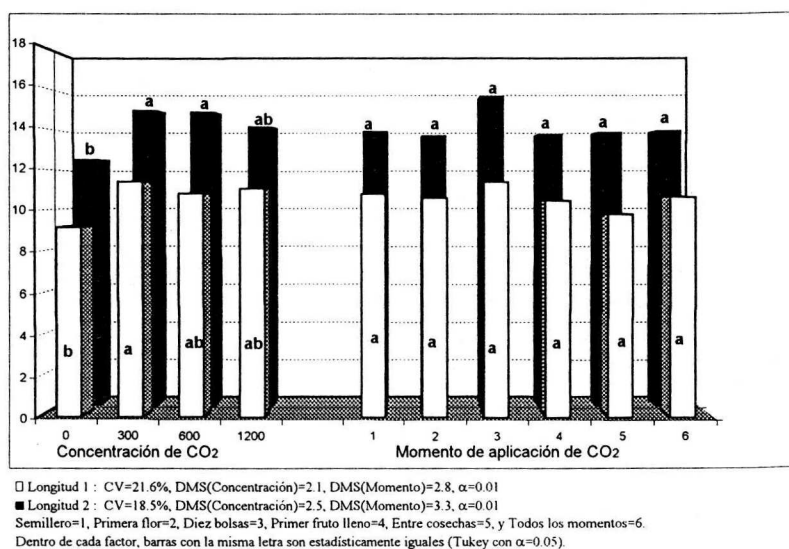
Momento	Concentración de CO ₂ (ppm)							
	0		300		600		1200	
	Long 1	Long 2	Long 1	Long 2	Long 1	Long 2	Long 1	Long 2
1	9	12	13	17	10	13	11	14
2	10	12	10	13	12	15	11	15
3	9	14	12	15	13	18	11	16
4	9	13	11	15	10	14	12	14
5	9	13	10	16	10	14	10	14
6	9	12	12	16	11	16	11	12

Longitud 1: CV=22.2%, DMS(Concentración)=7.2, $\alpha=0.01$; Longitud 2: CV=18.9%, DMS(Concentración)=8.3, $\alpha=0.01$
Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6.

La aplicación de agua carbonatada con 300 ppm de CO₂ produjo la mayor longitud de entrenudos de las ramas de las plantas de tomate de cáscara, el cual superó significativamente al tratamiento testigo, pero no difirió estadísticamente en los diferentes momentos de aplicación de bióxido de carbono a las raíces (Figura 11). El análisis de varianza de la longitud de entrenudos

con la combinación de niveles de cada factor en estudio mostró que no existieron diferencias estadísticas. La prueba de comparación de medias de la longitud reportó similitud entre todos los tratamientos en estudio (Cuadro 20, Anexo 5).

Figura 11. Longitud de entrenudos de las ramas del primer orden en tomate de cáscara durante la primera fase experimental (cm)



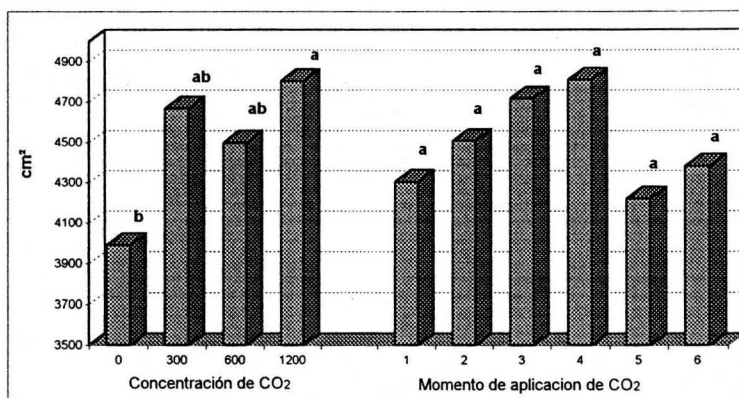
4.1.6 Área foliar

El análisis de varianza del área foliar por planta resultó estadísticamente diferente, con un coeficiente de variación de 18%. Sin embargo, al evaluar el efecto independiente de cada factor, se observó la existencia de diferencias altamente significativas en área foliar por planta con la aplicación de diferentes concentraciones de bióxido de carbono, pero no con la aplicación en los diferentes momentos ensayados. El mayor valor de área foliar se registró en plantas que recibieron agua carbonatada con 1200 ppm, seguido de 300 y 600 ppm, sin que exista diferencia

entre estos niveles. Asimismo, existieron diferencias significativas del área foliar con la aplicación de 1200 ppm con respecto al testigo, los cuales reportaron 4806 y 3991 cm² por planta, respectivamente (Figura 12).

El ANAVA de la interacción entre factores reportó que ésta no fue significativa para el área foliar, con 18.5 % de coeficiente de variación. Del mismo modo, la comparación de las medias del área foliar con las diversas combinaciones de niveles de cada factor, muestra que no hubo diferencias estadísticas (Cuadro 21, Anexo 5).

Figura 12. Área foliar por planta de tomate de cáscara



CV=18.4%, DMS(Concentración)=764, DMS(Momento)=1015, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

Se observó que la aplicación radical de bióxido de carbono produce respuestas favorables en las plantas cuando la adición se hizo después de la aparición de la primera flor, observándose una tendencia de mayor producción de materia seca total, número y peso de frutos por planta cuando la adición de CO₂ se realizó en la fase de 10 bolsas por planta, que corresponde a la fase de mayor demanda de fotoasimilados por existir la formación de órganos reproductivos de tomate de cáscara, tal como lo reporta Cartujano (1984).

Cuadro 21. Area foliar por planta de tomate de cáscara en la fase I del experimento (cm²)

Momento	Concentración de CO ₂ (ppm)			
	0	300	600	1200
1	3537	5126	4177	4383
2	4037	4711	4010	5272
3	4241	4621	4688	5317
4	4210	4579	4855	5597
5	3830	4486	4552	4012
6	4092	4477	4711	4255

CV=18.5%, DMS=2543, $\alpha=0.01$, Semillero=1, Primera flor=2, Diez bolsas=3, Primer fruto lleno=4, Entre cosechas=5, y Todos los momentos=6.

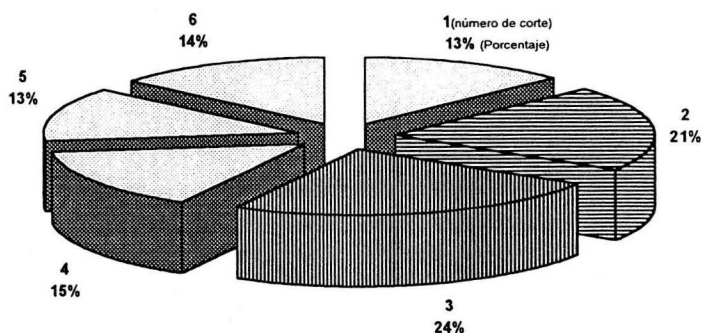
El tomate de cáscara produjo mayor número y peso de frutos por planta, altura del primer simpodio, longitud de ramas y área foliar con la aplicación de 300 y 1200 ppm de CO₂ a través del agua de riego. La respuesta favorable con 1200 ppm pudo ser causado por el enriquecimiento momentáneo con CO₂ del dosel de la planta, tal como lo reporta Storlie y Heckman (1996b), el cual puede aumentar la tasa de fotosíntesis de las hojas inferiores, traduciéndose en una mayor producción de fotosintatos, principalmente en condiciones de invernadero donde la concentración de bióxido de carbono al medio día es insuficiente para una adecuada tasa fotosintética. Asimismo, Solís (1994) considera que la aplicación radical de CO₂ en bajas concentraciones beneficia a algunas especies de plantas disminuyendo el pH del sustrato y mejorando la disponibilidad de ciertos elementos nutritivos, como pudo haber ocurrido con la aplicación de 300 ppm de CO₂, ya que el pH del agua de riego (7.5) disminuyó a 6.5 ubicándose dentro del rango óptimo para la absorción de la mayoría de elementos nutritivos.

4.2. SEGUNDA FASE EXPERIMENTAL

4.2.1 Rendimiento

El rendimiento total de frutos de tomate de cáscara se obtuvo en seis cosechas, realizadas el 29 de mayo; 06, 14 y 21 de junio; 01 y 09 de julio de 1996, donde el rendimiento de frutos se concentró en la segunda y tercera cosechas que produjeron el 45% del rendimiento total de frutos (Figura 13).

Figura 13. Distribución porcentual del rendimiento total de tomate de cáscara CHF1-Chapingo en los seis cortes



El rendimiento total fue modificado estadísticamente por efecto de los tratamientos usados en el presente experimento, presentando diferencias altamente significativas, con 5.8% de coeficiente de variación. La comparación de medias del rendimiento total para el factor sistemas de manejo reporta que la conducción en espalderas aumentó significativamente ($\alpha=0.05$) la producción total en relación al manejo tradicional en piso, obteniéndose 67.7 y 63.9 ton/ha, respectivamente (Figura 14). Esta respuesta se debe principalmente a que en las últimas tres cosechas la

producción de las plantas conducidas en espaldera superó significativamente a la producción en el sistema tradicional (Cuadro 22).

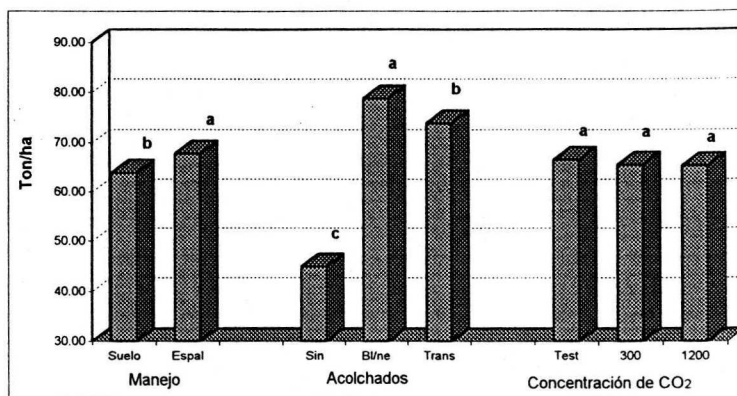
Cuadro 22. Producción de tomate de cáscara según el número de corte (ton/ha)

Factor	Número de cosecha						TOTAL
	1	2	3	4	5	6	
Piso	9.30 a	14.99 a	15.63 a	8.29 b	8.21 a	7.46 b	63.87 b
Espaldera	8.15 b	12.91 b	15.56 a	11.11 a	8.56 a	11.44 a	67.73 a
DMS(Tukey)	0.69	1.05	0.8	0.98	0.96	1.0	1.8
Sin	6.34 b	11.03 b	12.59 c	6.15 b	4.19 c	4.58 b	44.88 c
B/N	9.46 a	15.98 a	18.24 a	11.22 a	11.68 a	12.11 a	78.70 a
Trans	10.36 a	14.84 a	15.95 b	11.74 a	9.30 b	11.65 a	73.83 b
DMS (Tukey)	1.03	1.5	1.2	1.45	1.4	1.5	2.65
0	8.38 b	14.48 a	15.69 ab	10.16 a	8.93 a	8.92 b	66.56 a
300	8.20 b	14.17 a	16.52 a	8.66 b	8.83 a	8.94 b	65.32 a
1200	9.58 a	13.20 a	14.58 b	10.28 a	7.41 b	10.48 a	65.53 a
DMS (Tuk)	1.03	1.5	1.2	1.45	1.4	1.5	2.65
C. V. (a)	13.4	15.3	14.6	9.3	24.4	6.8	5.2
C. V. (b)	16.8	15.8	11.6	21.4	24.1	23.0	5.8

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Prueba de Tukey con $\alpha=0.05$)

El uso de acolchados plásticos del suelo aumentó significativamente el rendimiento total, encontrándose diferencias altamente significativas entre los tratamientos con acolchado blanco/negro (bicapa), transparente y sin acolchar. Así, el mayor rendimiento se obtuvo con el empleo de la cubierta bicapa (B/N), quien superó significativamente a los otros dos niveles del factor; del mismo modo, la producción con acolchado transparente (Trans) superó significativamente al tratamiento testigo (Sin), siendo el rendimiento total con el acolchado bicapa de 78.7 ton/ha, seguido por el transparente con 73.8 y suelo sin acolchar con 44.9 (Figura 14). Estos resultados concuerdan a los obtenidos por Bhella (1988), donde el rendimiento total del cultivo de jitomate aumentó en 66% con el uso de acolchado plástico de color negro, y en 100% en el cultivar Sunny (Abdul-Baki, 1992).

Figura 14. Rendimiento total de frutos de tomate de cáscara en la segunda fase experimental



C. V.(a)=5.2%, C.V.(b)=5.8%, DMS(Manejo)=1.8, DMS(Acolchado)=2.65, DMS(Bióxido)=2.65. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

El mayor rendimiento inicial y total se debe a que el acolchado plástico modifica favorablemente la morfogénesis de las plantas, aumenta la temperatura y conserva por más tiempo la humedad del suelo, lo que modifica el crecimiento de las raíces y favorece la disponibilidad de los elementos nutritivos del suelo permitiendo un mayor crecimiento del cultivo; asimismo, mantiene las propiedades fisicoquímicas del suelo, tal como lo señalan Hanada (1991); Lamont (1994); y Jensen y Malter (1995). Además, pueden mejorar las condiciones del suelo para el mejor desarrollo de la planta, tal como lo reporta Adetunji (1994) en el cultivo de cebolla, donde la resistencia del suelo a la penetración disminuyó con el uso de acolchado transparente.

El mayor rendimiento de tomate de cáscara obtenido con el uso de acolchado de suelo con la película blanco/negro es similar al reportado por Lamont (1994), quien señala que es mejor el uso de películas blanco/negro que el transparente y negro en condiciones del verano en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) y brasicas en Kansas, USA.

La aplicación de bióxido de carbono en los suelos no tuvo influencia significativa sobre el rendimiento total de tomate de cáscara ($\alpha=0.05$) (Figura 14). Estos resultados difieren al obtenido por Arteca *et al.* (1979) y Mauney y Hendrix (1988) quienes reportan que la aplicación de agua carbonatada aumentó el rendimiento total de papa y algodón, respectivamente. Sin embargo, en el presente experimento no se detectó modificación del contenido de CO_2 del suelo, porcentaje de acidez y tasa fotosintética de las hojas, las cuales son probablemente determinantes de la modificación del rendimiento.

La comparación de medias del rendimiento total de tomate de cáscara (Tukey con $\alpha=0.05$) reportó que los tratamientos S1A2B3, S1A2B2, S1A3B2, S1A2B1, S2A3B3 y S1A3B1 no presentaron diferencias estadísticas cuando se comparó el promedio de los 18 tratamientos, en la cual se combinan los tres factores (Anexo 6), cuando se compara las combinaciones de acolchado y aplicación de CO_2 en cada nivel de sistema de manejo (Anexo 7), cuando se comparan las combinaciones de subparcela en cada nivel de parcela (Anexo 8), cuando se comparan las combinaciones de los niveles del sistema de manejo y bióxido de carbono en cada nivel de acolchado plástico (Anexo 9) y cuando se comparó la combinación de sistemas de manejo y acolchado plástico en cada nivel de aplicación de bióxido de carbono (Anexo 10). Del mismo modo, cuando el rendimiento total no presentó diferencias significativas con el sistema de producción en piso y espaldera, se seleccionaron los tratamientos de producción en piso, el cual presenta menores costos de producción. Con las anteriores consideraciones se seleccionaron los tratamientos que presentan el mayor rendimiento de tomate de cáscara, los cuales se muestran en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Tratamientos de mejor rendimiento total de tomate de cáscara en la segunda fase experimental

Sistema de manejo	Acolchado plástico	CO_2 (ppm)	Tratamiento	Rendimiento total (ton/ha)
Piso	B/N	1200	123	80.3
Piso	B/N	300	122	77.6
Piso	Trans	Testigo	132	76.2
Piso	B/N	Testigo	121	75.6
Espaldera	Trans	1200	233	74.6
Piso	Trans	300	131	74.1

En el presente experimento el rendimiento de tomate de cáscara en los primeros dos cortes (precocidad) resultó altamente significativo de acuerdo al análisis de varianza con 10.5% de coeficiente de variación, debido principalmente a los sistemas de manejo y uso de acolchados plásticos. La comparación de medias (Tukey con $\alpha=0.05$) muestra que la precocidad de la producción es significativamente superior con la conducción tradicional en piso en comparación a la conducción en espalderas, los cuales tienen una producción media de 24.3 y 21.1 ton/ha, respectivamente.

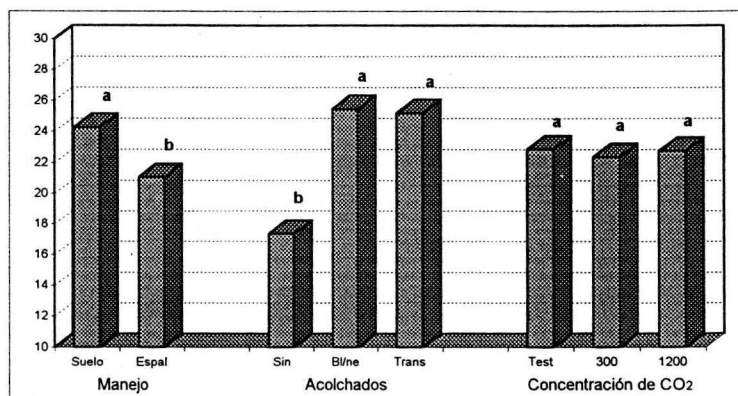
El uso de acolchados plásticos permite una mayor producción en los dos primeros cortes en relación al testigo sin acolchar, donde la producción con acolchado blanco/negro y transparente fue de 25.4 y 25.2 ton/ha, respectivamente, los cuales superan estadísticamente al testigo que rindió 17.4 ton/ha. Sin embargo, no existe diferencia estadística con los dos tratamientos con acolchado plástico (Figura 15).

El mayor rendimiento inicial del cultivo se debe a que el acolchado plástico modifica la morfogénesis de las plantas (longitud de ramas, diámetro del tallo) lo que permite el mayor desarrollo de ramas por debajo del primer simpodio y un mayor número de flores por planta conducentes a una mayor precocidad, tal como lo reporta Bhella (1988); Wien y Minotti (1988b); Rubeiz y Freiwat (1995); y Soltani *et al.* (1995). También pudo deberse a la mayor reflexión de la luz por el acolchado plástico, lo que altera el nivel de fotosíntesis de las plantas en el estado inicial cercano al trasplante tal como lo describen Decoteau *et al.* (1988), Decoteau (1990) y Matheny *et al.* (1992) en el cultivo de jitomate, pimiento y papa, respectivamente.

Las pruebas de medias del rendimiento precoz (cortes 1 y 2) en el tomate de cáscara cuando se compararon los 18 tratamientos entre sí (Anexo 11) y cuando se comparó cada nivel de parcela en cada nivel de subparcela (Anexo 12) muestran que los tratamientos de mayor rendimiento inicial fueron los que se presentan en el Cuadro 24. En esta selección de tratamientos se

desecharon aquellos tratamientos con manejo en espalderas cuando estadísticamente no presentaron diferencias significativas (Tukey con $\alpha=0.05$) con los de producción en piso.

Figura 15. Rendimiento de tomate de cáscara en los dos primeros cortes (ton/ha)



C. V.(a)=12.0 %, C. V.(b)=10.5%, DMS(Manejo)=1.1, DMS(Acolchado)=1.7, DMS(Bióxido)=1.7. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

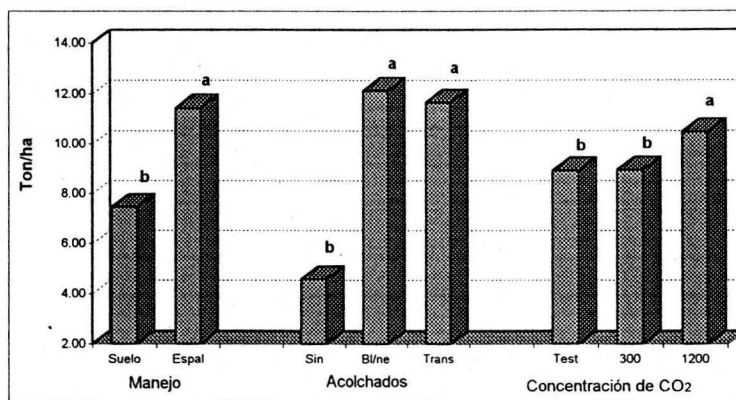
Cuadro 24. Tratamientos de mejor rendimiento inicial de tomate de cáscara CHF1-Chapingo (Cortes 1 y 2)

Sistema de manejo	Acolchado plástico	CO ₂ (ppm)	Rendimiento inicial (ton/ha)
Piso	Trans	Testigo	29.3
Piso	B/N	300	28.2
Piso	B/N	Testigo	26.5
Piso	B/N	1200	26.3
Piso	Trans	1200	26.2
Piso	Trans	300	26.0

El ANAVA del experimento para el último corte (sexta cosecha) reportó diferencias altamente significativas, donde las fuentes de alta significancia estadística ($\alpha=0.01$) fueron el empleo de acolchados plásticos y sistemas de manejo del cultivo, mientras que la aplicación de agua carbonatada sólo presentó diferencias significativas con $\alpha=0.05$.

La comparación del rendimiento promedio en el sexto corte (Tukey con $\alpha=0.05$), muestra que la aplicación de 1200 ppm de bióxido de carbono superó estadísticamente la producción con 300 ppm y testigo, sin que haya diferencias significativas entre estos dos últimos tratamientos (Figura 16). El empleo de acolchados plásticos de los suelos aumentó significativamente la producción en la última cosecha con respecto al tratamiento sin acolchar, debido a que se reduce la pérdida de frutos por pudrición, ruptura de ramas, y contacto directo del follaje con el suelo, los cuales provocan envejecimiento prematuro de las plantas, tal como lo reporta Bhella (1988), en el cultivo de jitomate, donde la producción en los últimos cortes es mayor con el uso de acolchado plástico negro. El rendimiento del sexto corte con el uso de acolchado blanco/negro fue de 12.1 ton/ha, el cual no difiere estadísticamente de la producción con acolchado transparente, que rindió 11.6 ton/ha (Figura 16, Cuadro 22).

Figura 16. Rendimiento de tomate de cáscara en el sexto corte



C. V.(a)= 6.8%, C.V.(b)=23.0%, DMS(Manejo)=1.3, DMS(Acolchado)=1.5, DMS(Bióxido)=1.5. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

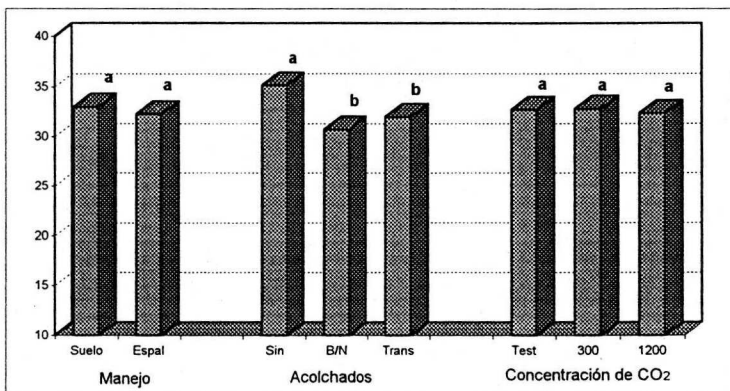
El rendimiento de tomate de cáscara en el sexto corte fue significativamente mayor con la conducción en espalderas con respecto a la producción tradicional en piso, los cuales produjeron 11.4 y 7.5 ton/ha, respectivamente (Figura 16). Entre el cuarto y sexto corte se observó que el

rendimiento del tomate en el sistema de producción en piso fue relativamente menor que la producción en espaldera, el que se debe al maltrato mecánico que sufren las plantas en las cosechas y el contacto del follaje y frutos con el suelo que adelanta la senescencia del cultivo manifestándose en la caída de hojas, flores, frutos y muerte total de la planta.

4.2.2 Número y peso de fruto

El análisis de varianza del número de frutos promedio en un kilogramo de fruto fresco en los cinco primeros cortes resultó significativamente afectado por los tratamientos en estudio, con 7% de coeficiente de variación. Sin embargo, el factor que estadísticamente afectó el número de frutos fue el uso de acolchados plásticos, dado que el efecto de los otros factores no presentó diferencias estadísticas (Figura 17).

Figura 17. Número de frutos equivalente a un Kg de peso fresco en promedio de los cinco primeros cortes

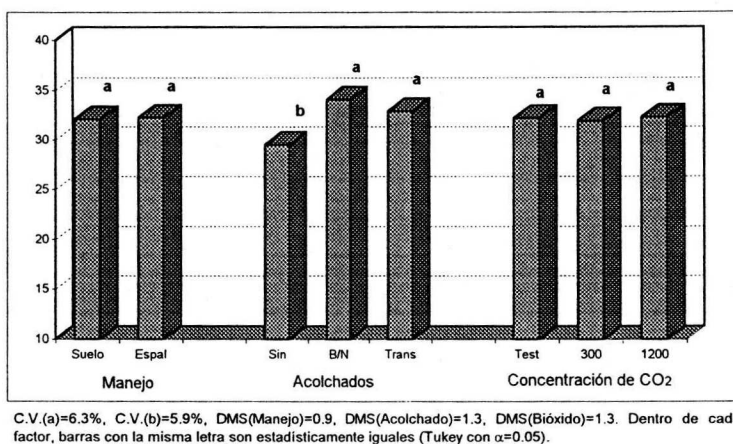


C.V.(a)=9.4%, C.V.(b)=6.8%, DMS(Manejo)=1.1, DMS(Acolchado)=1.6, DMS(Bióxido)=1.6. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

Las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$) del peso promedio por fruto y el número de frutos, en promedio de los cinco primeros cortes, muestra que las medias de cada nivel del factor sistemas de

manejo y aplicación radical de bióxido de carbono no difieren estadísticamente. Sin embargo, el número de frutos en la muestra de un kilogramo fue significativamente mayor sin el uso de acolchado plástico con respecto al empleo de la película blanco/negro y transparente en el acolchado de suelos (Figura 17). Esta diferencia se debe a que el peso de un fruto en los suelos sin acolchado plástico fue significativamente menor al obtenido con las cubiertas blanco/negro y transparente, los cuales pesaron 29.5, 32.9 y 34.1 gramos por fruto, respectivamente (Figura 18).

Figura 18. Peso promedio de un fruto de los cinco primeros cortes de tomate de cáscara (g.fruto⁻¹)



En las tres primeras cosechas el comportamiento del número de frutos en un kilogramo de fruto fue similar al obtenido en promedio del experimento, no existiendo diferencias estadísticas en los niveles de aplicación de bióxido de carbono y sistemas de manejo. Sin embargo, el uso de acolchados plásticos produjo diferencias estadísticas en todos los cortes, siendo mayor el número de frutos con los tratamientos sin acolchados plásticos, debido a que el peso de un fruto fue menor (Cuadro 25, Cuadro 26).

Cuadro 25. Número de frutos en un Kg de peso fresco de tomate de cáscara

Tratamiento	Número de cosecha					Promedio
	1°	2°	3°	4°	5°	
Piso	26 a	30 a	31 a	34 a	45 a	33 a
Espaldera	27 a	30 a	31 a	33 a	40 b	32 a
DMS (Tuk)	1.5	1.8	1.6	1.9	3.5	1.1
Sin	29 a	34 a	34 a	36 a	43 a	35 a
BI/negro	25 b	28 b	29 b	30 b	42 a	31 b
Transp	26 b	28 b	30 b	34 a	43 a	32 b
DMS (Tuk)	2.1	2.7	3.4	2.7	5.2	1.6
0 ppm	27 a	30 a	31 a	32 b	43 a	33 a
300 ppm	26 a	30 a	31 a	35 a	42 a	33 a
1200 ppm	27 a	30 a	30 a	33 ab	42 a	32 a
DMS (Tuk)	2.1	2.7	3.4	2.7	5.2	1.6
C. V. (a)	8.2	9.6	9.6	5.0	30.7	9.4
C. V. (b)	11.6	12.8	10.9	11.7	17.5	6.8

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Tukey con $\alpha=0.05$.

Cuadro 26. Peso promedio de un fruto de tomate de cáscara (g) en la segunda fase experimental

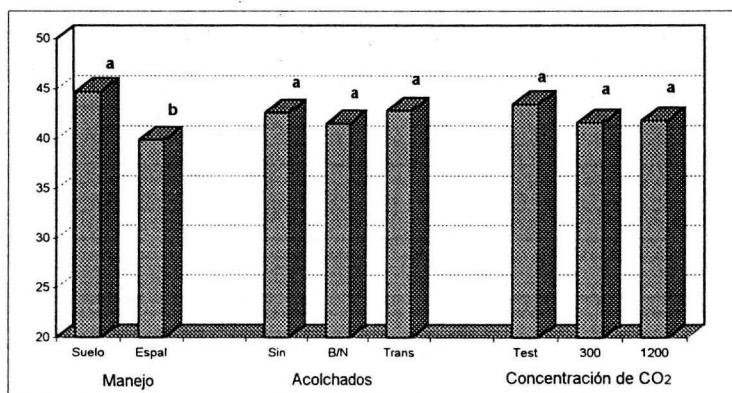
Tratamiento	Número de cosecha					Promedio
	1°	2°	3°	4°	5°	
Piso	39.1 a	34.6 a	33.5 a	29.8 a	23.5 b	32.1 a
Espaldera	37.4 a	34.4 a	32.4 a	31.4 a	25.6 a	32.2 a
DMS (Tuk)	2.0	2.1	1.9	1.7	1.8	0.9
Sin	35.2 b	30.5 b	29.5 b	28.0 b	24.4 a	29.5 b
BI/negro	39.9 a	36.8 a	35.2 a	33.7 a	24.9 a	34.1 a
Transp	39.6 a	36.2 a	34.2 a	30.2 b	24.4 a	32.9 a
DMS (Tuk)	2.9	3.0	2.9	2.6	2.7	1.3
0 ppm	38.2 a	34.6 a	32.6 a	31.5 a	24.1 a	32.2 a
300 ppm	38.6 a	34.2 a	32.8 a	29.3 a	24.9 a	32.0 a
1200 ppm	37.8 a	34.7 a	33.4 a	31.0 a	24.6 a	32.3 a
DMS (Tuk)	2.9	3.0	2.9	2.6	2.7	1.3
C. V. (a)	5.8	9.6	8.2	2.2	28.0	6.3
C. V. (b)	10.9	12.6	12.3	11.9	18.9	5.9

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Tukey con $\alpha=0.05$.

El ANAVA del número de frutos en el quinto corte resultó significativamente afectado por los tratamientos en el presente experimento, con 17.5% de coeficiente de variación. La comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) reportó que la producción en el sistema tradicional en piso produjo frutos de menor peso que la conducción en espalderas, lo que indica que el maltrato mecánico de las plantas en los distintos cortes y la senescencia de las mismas reduce el peso y tamaño de los frutos con respecto a la conducción en espaldera (Figura 19).

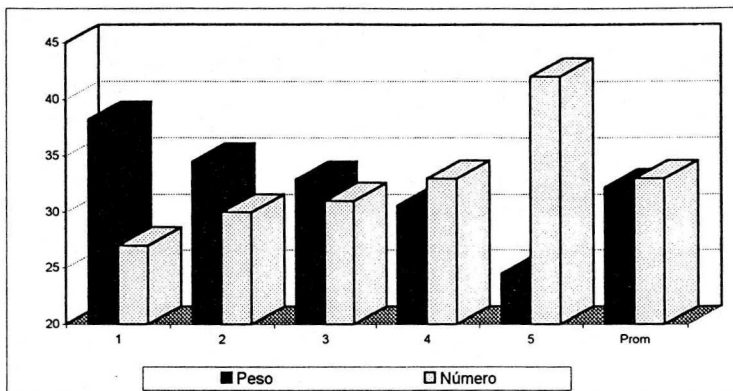
El tamaño y peso de los frutos se reduce en cada corte, observándose que el peso promedio de un fruto fue de 38.2, 34.5, 32.9, 30.6 y 24.5 gramos en el primero, segundo, tercero, cuarto y quinto cortes, respectivamente (Figura 20). El número de frutos equivalentes a la muestra de un kilogramo de peso tuvo un comportamiento inverso, el cual aumentó conforme se realizó cada corte (Figura 20).

Figura 19. Número de frutos equivalente a un Kg de peso fresco en el quinto corte



C. V.(a)= 30.7, C.V.(b)=17.5%, DMS(Manejo)=3.5, DMS(Acolchado)=5.2, DMS(Bióxido)=5.2. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

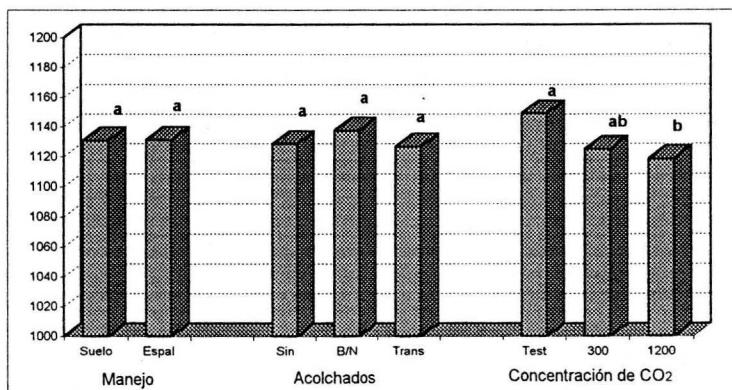
Figura 20. Peso de un fruto (g) y número de frutos equivalentes a un Kg de peso fresco



4.2.3 Volumen de frutos

El ANAVA del volumen de los frutos en la muestra de un kilogramo de fruto fresco de tomate de cáscara no presentó diferencias significativas en ninguna de las cinco cosechas evaluadas del presente experimento.

Figura 21. Volumen de frutos de tomate de cáscara en un Kg de peso fresco en el tercer corte (ml)



C. V.(a)= 2.3%, C.V.(b)=3.2%, DMS(Manejo)=16.9, DMS(Acolchado)=24.9, DMS(Bióxido)=24.9. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

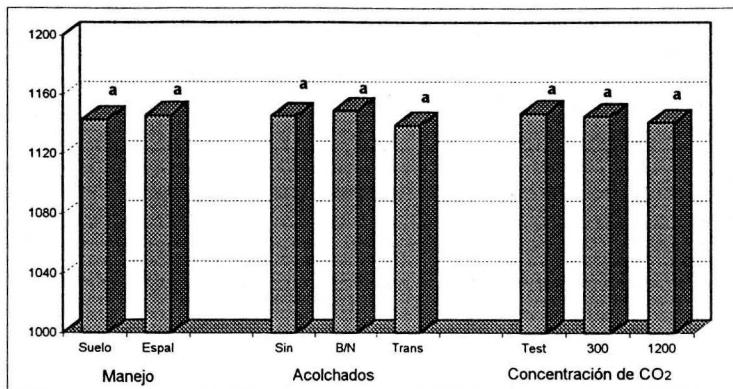
A través de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) no se encontraron diferencias significativas entre las medias del volumen de frutos en ninguno de los cinco cortes para ningún factor en estudio, excepto con la aplicación de bióxido de carbono en la tercera cosecha, donde el volumen de un kilogramo de frutos con el tratamiento sin aplicación de CO_2 (1149 ml) superó significativamente a la aplicación de 1200 ppm que presentó 1119 ml (Figura 21). Sin embargo, el volumen de fruto promedio de los cinco cortes en la muestra de tomate no presentó diferencias significativas para ninguno de los niveles de los tres factores estudiados (Cuadro 27, Figura 22), tal como lo reporta Castro (1995) en el cultivo de tomate de cáscara.

Cuadro 27. Volumen (ml) de un Kg de frutos frescos de tomate de cáscara

Tratamiento	Número de cosecha					Promedio
	1°	2°	3°	4°	5°	
Piso	1152 a	1186 a	1131 a	1134 a	1113 a	1143 a
Espaldera	1163 a	1190 a	1131 a	1136 a	1111 a	1146 a
DMS (Tuk)	15.8	17.5	16.9	14.7	17.2	8.9
Sin	1157 a	1184 a	1129 a	1142 a	1116 a	1145 a
BI/negro	1166 a	1196 a	1138 a	1133 a	1111 a	1149 a
Transp	1149 a	1183 a	1127 a	1130 a	1108 a	1139 a
DMS (Tuk)	23.3	25.8	24.9	21.6	25.4	13.1
0 ppm	1156 a	1182 a	1149 a	1135 a	1114 a	1147 a
300 ppm	1150 a	1191 a	1125 ab	1141 a	1118 a	1145 a
1200 ppm	1166 a	1190 a	1119 b	1129 a	1102 a	1141 a
DMS (Tuk)	23.3	25.8	24.9	21.6	25.4	13.1
C. V. (a)	2.9	2.5	2.3	4.6	1.4	1.5
C. V. (b)	2.9	3.1	3.2	2.7	3.3	2.0

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. Tukey con $\alpha=0.05$.

Figura 22. Volumen de frutos en un Kg de peso fresco en los cinco cortes de tomate de cáscara (ml)



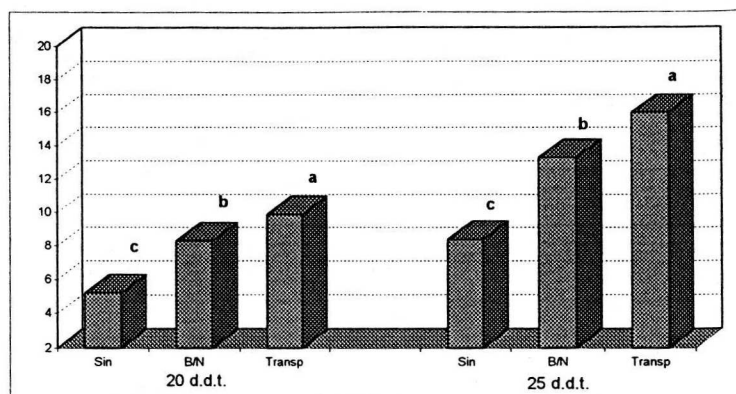
Dentro de factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

4.2.4 Diámetro del tallo

El análisis de varianza del diámetro del tallo a dos centímetros de altura a los 20 y 25 ddt reportó diferencias estadísticas por el uso de acolchados plásticos con un 9.8 y 8.2 % de coeficiente de variación, respectivamente.

La prueba de comparación de medias del diámetro del tallo muestra que plantas conducidas con acolchado transparente fueron estadísticamente mayores al obtenido con los acolchados blanco/negro y el tratamiento testigo. Igualmente, el diámetro del tallo con el acolchado blanco/negro fue significativamente superior al obtenido en los suelos sin acolchar (Figura 23), donde los diámetros de tallos fueron de 9.9, 8.3 y 5.2 mm con el uso de acolchado transparente, blanco/negro y testigo, respectivamente, a los 20 ddt y de 16, 13.3, y 8.4 mm a los 25 ddt, indicando que el rendimiento del tomate de cáscara no es directamente proporcional al diámetro del tallo de las plantas.

Figura 23. Diámetro del tallo a dos cm de altura (mm)



Dentro de fechas, barras con la misma letra indican igualdad estadística de medias (Tukey con $\alpha=0.05$).

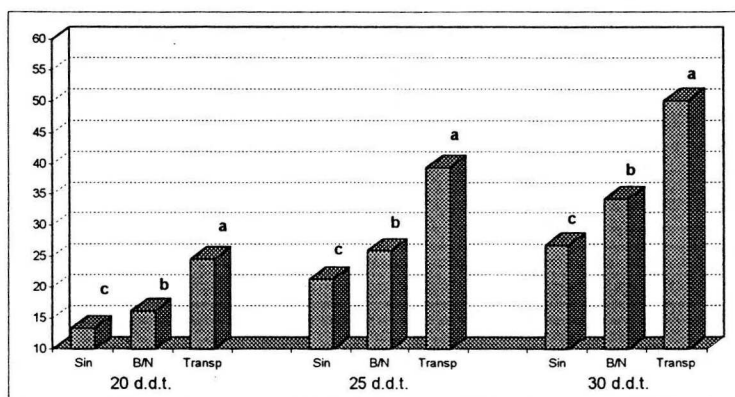
4.2.5 Altura de plantas

El ANAVA de la altura de plantas de tomate de cáscara a los 20, 25, 30, 45 y 65 ddt reportó diferencias altamente significativas en el presente experimento, con un coeficiente de variación de 8.2, 8.0, 7.2, 6.5 y 9.2%, respectivamente. La prueba de comparación de medias muestra que el uso de acolchado transparente aceleró el crecimiento de las plantas, presentando diferencias significativas de la altura de plantas con respecto a los suelos con acolchado blanco/negro y el testigo. Del mismo modo, la respuesta con el acolchado blanco/negro a los 20, 25, 30, 45 y 65 ddt fue significativamente superior con respecto a la altura de plantas en suelos sin acolchar (Figuras 24 y 25). Esto coincide con lo señalado por Decoteau (1990) quien señala que la luz reflejada por los acolchados plásticos del suelo aumentan el tamaño de las plantas.

El mayor crecimiento de las plantas está asociado a la temperatura del suelo, el cual es mayor con el uso de películas plásticas, lo que posiblemente también se traduce en mayor desarrollo del sistema radical de las plantas en condiciones donde la temperatura del ambiente y del suelo no son muy elevadas. Además, posiblemente la humedad del suelo es mayor en la zona de desarrollo radical y la luz reflejada (alta relación rojo lejano : rojo) por el acolchado plástico a

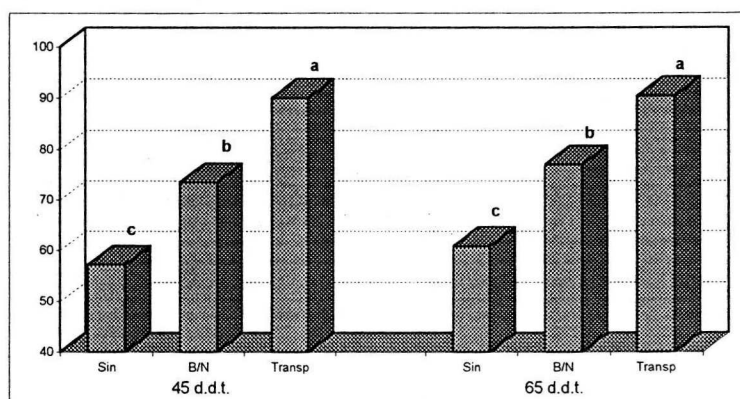
las hojas permite la activación del fitocromo, lo que alarga la longitud de tallos (Bergareche y Moyseet, 1993).

Figura 24. Altura de las plantas de tomate de cáscara (cm)



Dentro de fechas, barras con la misma letra indican igualdad estadística de medias (Tukey con $\alpha=0.05$).

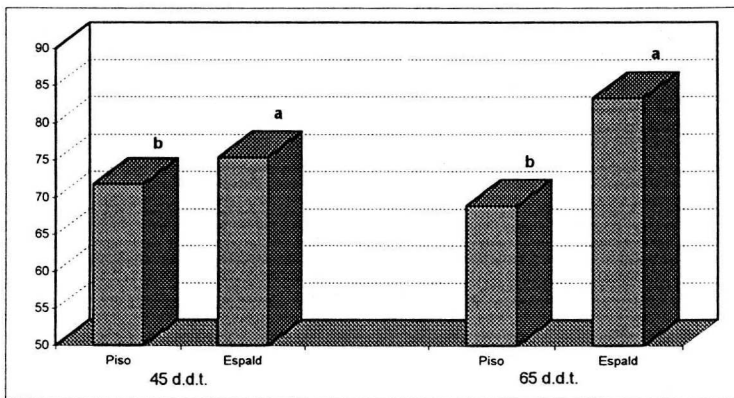
Figura 25. Altura de plantas de tomate de cáscara con el uso de acolchados plásticos (cm)



Dentro de fechas, barras con la misma letra indican igualdad estadística de medias (Tukey con $\alpha=0.05$).

La comparación de la altura media de planta a los 45 ddt muestra que el uso de las espalderas permite una mayor elongación de las ramas, favoreciendo la dominancia apical en comparación al sistema de manejo en piso, donde la dominancia es moderada y el crecimiento lateral es importante. En este sentido, se observa diferencias significativas de la altura de las ramas extendidas, siendo mayor con el empleo de espalderas. Este efecto es más evidente a los 65 ddt donde la diferencia de la altura de plantas es de 15 cm, los cuales presentan diferencias significativas (Figura 26).

Figura 26. Altura de plantas de tomate de cáscara bajo dos sistemas de manejo (cm)

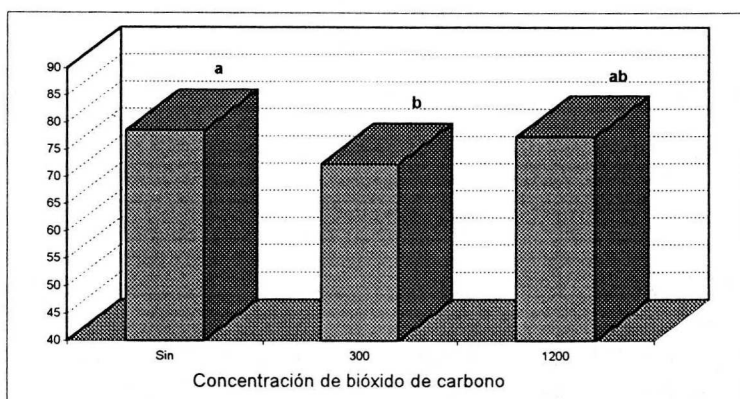


Dentro de fechas, barras con la misma letra indican igualdad estadística de medias (Tukey con $\alpha=0.05$).

La aplicación de bióxido de carbono a los suelos no afectó estadísticamente la altura de las plantas a los 65 ddt y presentaron 78.5, 77.3 y 72.4 cm con los tratamientos testigo, 1200 y 300 ppm de CO_2 disuelto en agua suministrada a las raíces de la planta, respectivamente. Estos resultados son contradictorios a los obtenidos en la primera fase experimental, donde la aplicación de agua carbonatada alarga la distancia entre nudos de las ramas, lo cual posiblemente se explica por el poder amortiguador que tiene el suelo en comparación al sustrato inerte utilizado en la primera fase (Figura 27) ya que el contenido de CO_2 del suelo no es modificado,

lo que permite que la aplicación de CO_2 en estas condiciones no sea ventajoso para el desarrollo del cultivo. Además, a que en esta fase (65 ddt), el crecimiento longitudinal no es importante, como lo señala Cartujano (1984), dado que hay fuerte competencia en la planta por la distribución de asimilados principalmente por la gran demanda para la producción de flores y llenado de frutos.

Figura 27. Altura de plantas de tomate de cáscara a los 65 ddt con la aplicación radical de bióxido de carbono (cm)

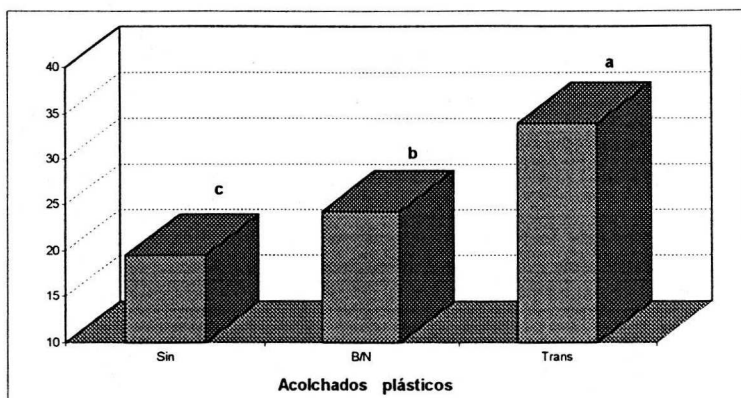


Barras con la misma letra indican igualdad estadística de medias (Tukey con $\alpha=0.05$).

4.2.6 Número de hojas

El ANAVA del número de hojas por planta a los 20 ddt reportó diferencias altamente significativas con el uso de acolchados plásticos, con 8.8% de coeficiente de variación. La prueba de Tukey con $\alpha=0.05$, reportó que el número de hojas por planta fue significativamente mayor con el acolchado transparente (34 hojas), con acolchado blanco/negro se obtuvo 24.5 hojas, lo que superó estadísticamente al número de hojas en los suelos sin acolchar, que sólo presentó 19.5 hojas (Figura 28).

Figura 28. Número de hojas por planta de tomate de cáscara a los 20 ddt



Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Prueba de Tukey con $\alpha=0.05$).

Se observa que el empleo de acolchados plásticos del suelo en el cultivo de tomate de cáscara acelera el crecimiento aumentando el número de hojas, la altura de la planta y el tamaño de hojas, las cuales son más grandes en comparación a los suelos sin cubierta tal como lo reporta Al-Assir *et al.* (1992) en el cultivo de melón a los 32 ddt, donde el número de hojas por planta fue de 18, 13 y 7 con acolchado transparente, negro y testigo, respectivamente. Esta respuesta puede deberse a que el acolchado plástico aumenta el CO_2 intercambiable en la raíz, provocando un efecto chimenea “Chimney effect” que activa el crecimiento de las hojas en el estadio cercano al trasplante cuando el follaje aún no ha cubierto la película plástica (Lamont, 1993). Esta situación de crecimiento acelerado y superior del follaje (mayor número de hojas y área foliar en el estado inicial de las plantas) con los suelos cubiertos por acolchados plásticos permite en mayor proporción el aumento del rendimiento inicial y total del cultivo de tomate de cáscara.

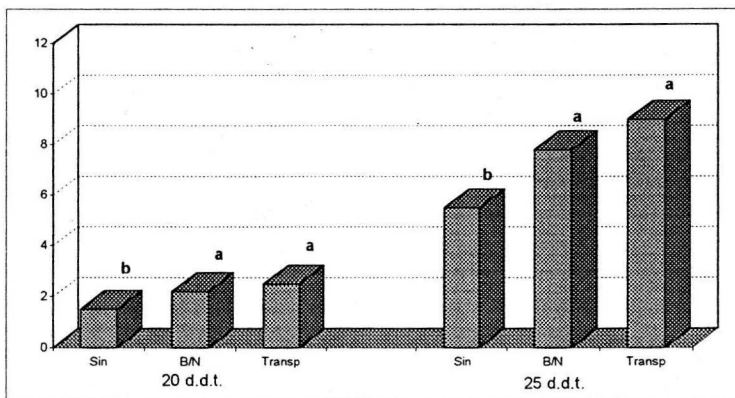
4.2.7 Número de flores

El número de flores por planta a los 20 y 25 ddt presentó diferencias altamente significativas en el uso de acolchados plásticos de acuerdo con el ANAVA, con un 18.3 y 17.5 % de coeficiente de variación para los 20 y 25 ddt, respectivamente.

La comparación del promedio del número de flores por planta a los 20 ddt con el uso de acolchado plástico transparente y blanco/negro no difieren estadísticamente, mismos que presentaron 2.5 y 2.2 flores por planta, respectivamente; sin embargo, superaron significativamente al número de flores por planta (1.5) presente en los suelos sin acolchar (Figura 29). El mismo comportamiento se observó en el número de flores por planta a los 25 ddt, siendo 9, 7.8 y 5.5 con el acolchado transparente, blanco/negro y sin acolchar, respectivamente. Esto coincide con lo encontrado por Soltani *et al.* (1995) en el cultivo de sandía. Esta mayor y acelerada producción de flores, permite en gran medida un mayor rendimiento inicial de frutos en las plantas con acolchado plástico del suelo.

La mayor cantidad de flores en los tratamientos con acolchados plásticos posiblemente es consecuencia del crecimiento acelerado, principalmente de la elongación precoz de las ramas por debajo del primer simpodio que también emiten flores, y la mayor tasa de crecimiento relativo del cultivo.

Figura 29. Número de flores por planta de tomate de cáscara



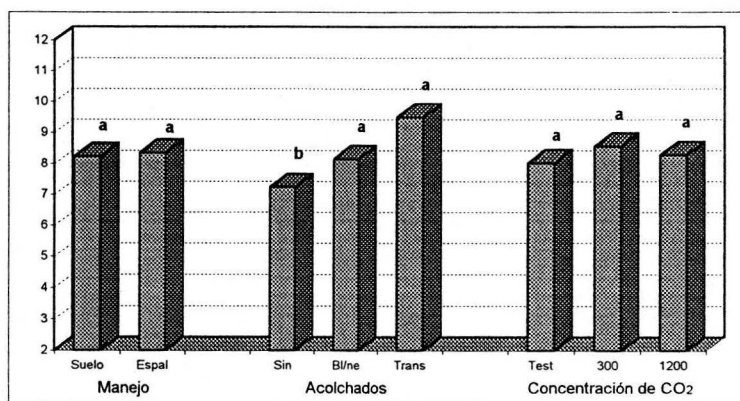
Dentro de fechas, barras con la misma letra indican igualdad estadística de medias (Tukey con $\alpha=0.05$).

4.2.8 Longitud de rama

El ANAVA de la longitud de entrenudos a los 65 ddt muestra que hubo diferencias altamente significativas en el presente experimento, con 15.7% de coeficiente de variación. La prueba de medias muestra que la longitud de entrenudos del tercer orden no fue afectado por el sistema de manejo del cultivo, el cual presentó 8.2 cm de longitud en el sistema de manejo en piso y 8.3 cm con la conducción en espaldera. Sin embargo, el uso de acolchado transparente y blanco/negro alargan la distancia de entrenudos de las ramas del tercer orden, superando estadísticamente al tratamiento testigo. Asimismo, no existió diferencia significativa de la longitud de entrenudos entre el tratamiento con acolchado transparente y blanco/negro (Figura 30). Esta respuesta posiblemente se debe a la luz reflejada por los acolchados plásticos de los suelos, los cuales alteran la actividad del fitocromo, que se manifiesta en mayor longitud de ramas y mayor absorción de CO_2 , como lo reporta Bergareche y Moysset (1993).

La aplicación de bióxido de carbono no tuvo efectos significativos sobre la longitud de entrenudos, observándose 8.0, 8.6 y 8.3 cm de longitud sin la aplicación de bióxido de carbono, con 300 y 1200 ppm de CO_2 , respectivamente (Figura 30).

Figura 30. Longitud de entrenudos del tallo de tomate de cáscara (cm)



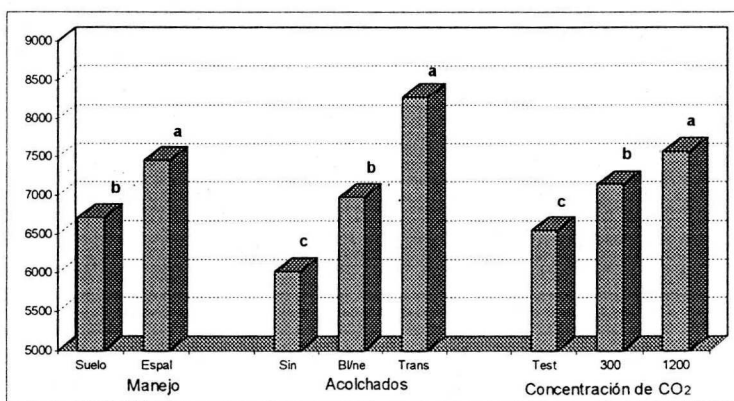
C.V.(a)=10.8%, C.V.(b)=15.7%, DMS(Manejo)=0.6, DMS(Acolchado)=0.9, DMS(Bióxido)=0.9. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

4.2.9 Área foliar

El ANAVA reportó la existencia de diferencias altamente significativas del área foliar a los 65 ddt, con un coeficiente de variabilidad de 8.2%. Del mismo modo, el área foliar por planta fue significativamente afectado por cada uno de los tres factores en estudio.

La prueba de comparación de medias reporta que el área foliar por planta fue significativamente mayor en la conducción en espalderas (7461 cm²) en comparación al sistema de conducción tradicional en piso (6718 cm²) (Figura 31) debido probablemente al maltrato mecánico durante los cortes y al menor desarrollo de las plantas en el sistema de producción en piso, como indica Gutiérrez (1978). Las plantas con acolchado plástico transparente produjeron significativamente mayor área foliar (8272 cm²) que los otros tratamientos; del mismo modo, el área foliar con acolchado blanco/negro (6978 cm²) fue estadísticamente superior al obtenido sin cubierta plástica (6017 cm²) (Figura 31); lo que coincide con Costello (1994), quien reporta que el área foliar del cultivo de brócoli aumenta en 40% con el uso de acolchados orgánicos.

Figura 31. Área foliar por planta de tomate a los 65 ddt (cm²)



C.V.(a)=3.8%, C.V.(b)=8.2%, DMS(Manejo)=275.7, DMS(Acolchado)=406.2, DMS(Bióxido)=406.2. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

La aplicación de CO_2 en forma de agua carbonatada a las raíces aumentó significativamente el área foliar de las plantas, siendo de 7572 cm^2 con la aplicación de 1200 ppm de CO_2 , el cual superó estadísticamente a la aplicación de 300 ppm y al testigo. Del mismo modo, el área foliar por planta con la aplicación de 300 ppm (7143 cm^2), fue estadísticamente mayor que el obtenido por el testigo (6552 cm^2) (Figura 31); tal como indica Mauney y Hendrix (1988) en el cultivo de algodón, donde el área foliar por planta aumenta en 65%, lo cual es principalmente consecuencia de la mayor absorción de Mn y Zn, quienes robustecen el aparato fotosintético de las plantas.

La comparación de medias del área foliar por planta con la combinación de niveles de los tres factores muestra que los tratamientos S2A3B3, S2A3B2, y S1A3B1 presentan los mayores valores y no difieren estadísticamente (Anexo 13). Estos resultados indican que lo determinante del mayor área foliar es el uso de acolchado plástico transparente, el cual incrementa en 38% el área foliar y que los otros factores (sistema de manejo y aplicación de CO_2) tienen menor influencia. Este resultado coincide con lo reportado por Soltani *et al.* (1995) y Tindall *et al.* (1991) donde el área foliar del cultivo de melón y sandía aumenta con el manejo con acolchado plástico.

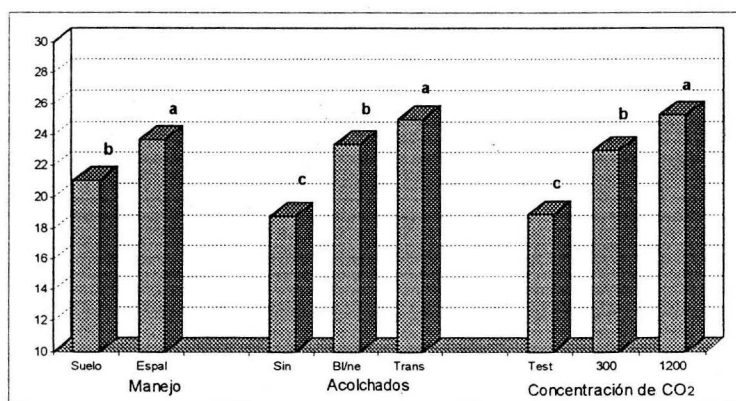
4.2.10 Materia seca

El ANAVA de la acumulación de materia seca en las hojas a los 65 ddt resultó con diferencias significativas con un coeficiente de variación de 8.5%. La comparación de medias muestra que el peso de materia seca de las hojas por planta en la conducción en espaldera ($23.7 \text{ g.planta}^{-1}$) superó estadísticamente al obtenido con la conducción tradicional en piso ($21.2 \text{ g.planta}^{-1}$). El uso de acolchados plásticos afectó estadísticamente la producción de materia seca de las hojas, observándose que el empleo de acolchado transparente produjo 25 gramos y superó estadísticamente a la producción con el uso de acolchado plástico blanco/negro y el testigo, que produjeron 23.4 y 18.8 g/planta , respectivamente (Figura 32). Resultados similares fue obtenido por Bhella (1988), quien reporta que la acumulación de materia seca del cultivo de jitomate

aumentó en 66% con el uso de acolchado plástico negro, y por Adetunji (1994) en el cultivo de cebolla, donde el peso seco y fresco aumentó con acolchado orgánico.

La aplicación de agua carbonatada al suelo afectó estadísticamente la producción de materia seca de las hojas de tomate de cáscara, la cual fue mayor con la aplicación de 1200 ppm de bióxido de carbono ($25.3 \text{ g.planta}^{-1}$), que superó estadísticamente a la producción con 300 ppm (23 g) y testigo (18.9 g). Asimismo, existieron diferencias significativas del peso de materia seca con la aplicación de 300 ppm de CO_2 y el tratamiento testigo (Figura 32). Similares resultados indican Yang *et al.* (1994), quienes reportan que la acumulación de materia seca aumentó en variedades de arroz de bajo requerimiento de Zn al aplicar 5 y 10 milimoles de bicarbonato proveniente de sal de sodio, pero disminuyen en variedades con alta demanda de Zn. Vapaavuori y Pelkonen (1985) señalan mayor producción de materia seca en plantas de sauce (*Salix* sp.), principalmente en la parte foliar y donde la relación del peso seco de raíz/follaje es menor con la aplicación de agua carbonatada.

Figura 32. Peso de materia seca de hojas a los 65 ddt en tomate de cáscara (g.planta^{-1})



C.V.(a)=5.9%, C.V.(b)=8.5%, DMS(Manejo)=1.0, DMS(Acolchado)=1.3, DMS(Bióxido)=1.3. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

Cuadro 28. Tratamientos de mayor acumulación de materia seca en hojas de tomate de cáscara (g.planta⁻¹)

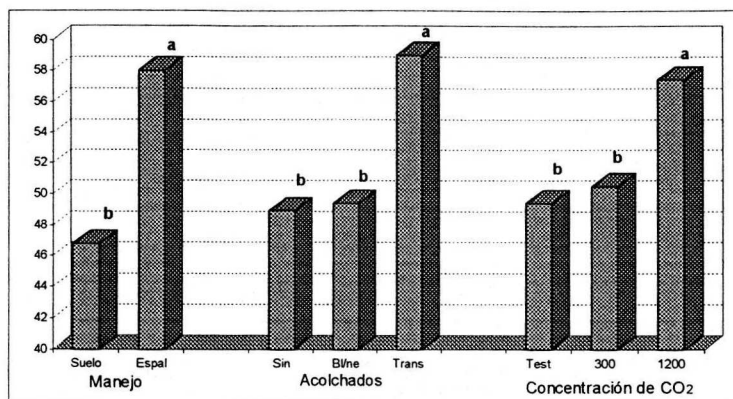
Sistema de manejo	Acolchado plástico	CO ₂ (ppm)	Peso (g)
Espaldera	Trans	1200	37.0
Piso	Trans	300	26.5
Espaldera	Testigo	1200	26.4
Piso	B/N	1200	24.6
Piso	Trans	Sin	24.4
Espaldera	B/N	300	24.3

La comparación de medias de la materia seca de hojas en la combinación de niveles muestra que el tratamiento S2A3B3 superó estadísticamente a los demás tratamientos, registrando 37 g.planta⁻¹. Asimismo, según la prueba de medias de la combinación de los tres factores (Anexo 14), la comparación de cada nivel de parcela en cada nivel de subparcela (Anexo 15) y seleccionando los tratamientos de producción en piso cuando no difieren estadísticamente, los tratamientos de mayor producción de materia seca en las hojas fueron los que se muestran en el Cuadro 28.

El ANAVA de la acumulación de la materia seca de tallos presentó diferencias significativas importantes, con 8.5% de coeficiente de variación. La prueba de comparación de medias muestra que la mayor producción de peso seco de tallos ocurrió con la conducción en espaldera (59.0 g), que superó estadísticamente a la acumulación con el sistema tradicional en piso (46.8 g). Del mismo modo, fue significativamente mayor cuando se utilizó acolchado plástico transparente (59.0 g) con respecto al acolchado blanco/negro (49.4 g) y testigo (48.9 g) (Figura 33), tal como lo reportado por Teasdale y Abdul-Baki (1995) en jitomate.

La aplicación de 1200 ppm de bióxido de carbono aumentó significativamente la producción de materia seca en los tallos (57.4 g), la cual superó estadísticamente a los obtenidos con la aplicación de 300 ppm (50.5 g) y el tratamiento sin aplicación de CO₂ (49.4 g), los que no presentan diferencias estadísticas entre sí (Figura 33).

Figura 33. Peso de materia seca de tallos a los 65 ddt en tomate de cáscara (g.planta⁻¹)



C.V.(a)=4.2%, C.V.(b)=8.5%, DMS(Manejo)=2.1, DMS(Acolchado)=3.1, DMS(Bióxido)=3.1. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

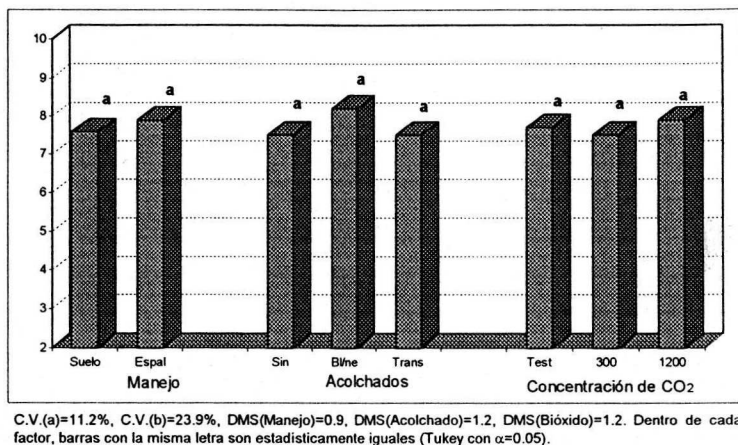
4.2.11 Acidez total

La acidez total en las hojas de tomate de cáscara a los 59 ddt no presentó diferencias estadísticas en ninguno de los factores ni las interacciones de los tres, con un 24% de coeficiente de variación. El mismo comportamiento fue observado en la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), donde el porcentaje de acidez total en hojas no presentó diferencias significativas (Figura 34). Esto pudo deberse a que la aplicación de agua carbonatada al sistema radical no aumentó la concentración de CO₂ en la solución del suelo y sólo modificó el pH del suelo en 0.2 unidades con la aplicación de 1200 ppm que es insuficiente para detectar cambios importantes en la altura de planta (Figura 27) y la longitud del entrenudo (Figura 30), ya que el pH del medio está relacionado directamente al pH de la savia (Espie y Coleman, 1981) y éste a la cantidad de ácidos orgánicos (principalmente málico) en las hojas (Arteca y Poovaiah, 1982).

Los resultados de la concentración de ácidos totales en las hojas indican que el bióxido de carbono aplicado a través del agua de riego no aumentó la cantidad de ácidos orgánicos dentro

del tejido, el cual no induce al aumento del rendimiento inicial ni total de tomate de cáscara (Figuras 14 y 15).

Figura 34. Acidez total en hojas de tomate de cáscara (%)

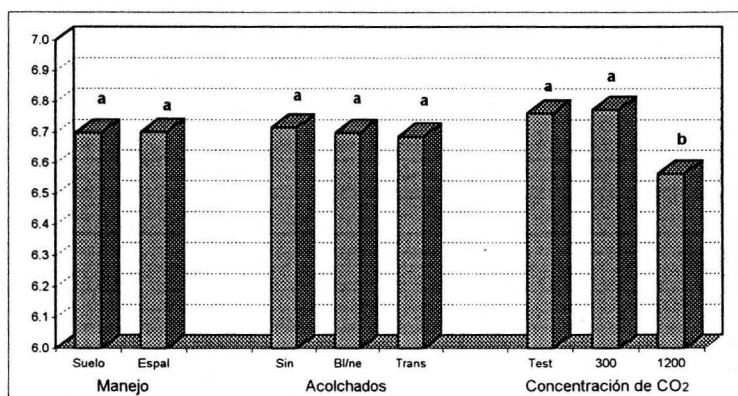


4.2.12 pH del suelo

El ANAVA del pH del suelo a los 59 ddt presentó diferencias altamente significativas, con un 2% de coeficiente de variación. La prueba de comparación de medias del pH del suelo muestra que los factores sistemas de manejo y uso de acolchados plásticos no tuvieron influencia alguna sobre el pH, lo que coincide con Adetunji (1994), quien reportó que la cantidad de nitrógeno y fósforo fue mayor en los suelos con acolchado transparente con respecto al testigo, pero el pH del mismo no presentó diferencias significativas, por el equilibrio y poder amortiguador del suelo en el cultivo de cebolla. En contraste, la aplicación de agua carbonatada con 1200 ppm al suelo disminuyó significativamente el pH del mismo, en relación con la aplicación de 300 ppm de bióxido de carbono y el tratamiento testigo (Figura 35).

El pH del suelo a los 59 ddt fue de 6.6, 6.8 y 6.8 con la aplicación de 1200 ppm, 300 ppm y sin aplicación de bióxido de carbono al suelo, respectivamente. Esta disminución del pH del suelo posiblemente se debe a que el agua carbonatada concentrada en 1200 ppm presentó 5.64 de pH en comparación al agua enriquecida en 300 ppm y el testigo que presentaron 6.6 y 6.75, respectivamente, tal como lo reportan Novero *et al.* (1991).

Figura 35. pH del suelo a los 59 ddt en tomate de cáscara



C.V.(a)=2.1%, C.V.(b)=1.8%, DMS(Manejo)=0.06, DMS(Acolchado)=0.08, DMS(Bióxido)=0.08. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

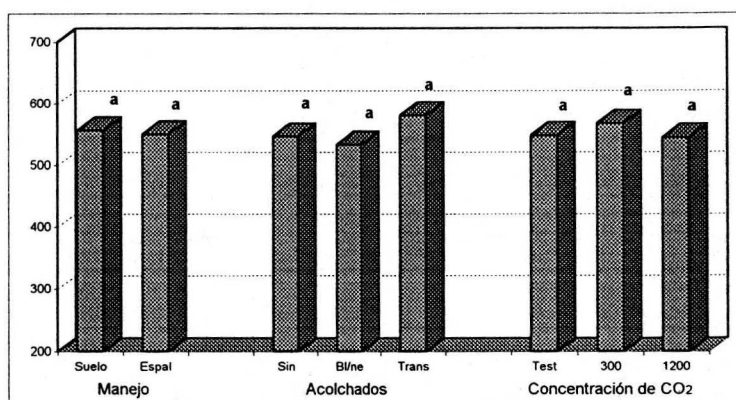
4.2.13 Concentración de CO₂ en la solución del suelo

El ANAVA, con coeficiente de variación de 16.5%, reportó que la concentración de bióxido de carbono en el suelo a 24 horas después de la aplicación de agua carbonatada al cultivo fue significativamente afectado por los tratamientos.

Según la prueba de comparación de medias, el contenido de CO₂ en el suelo a 10 cm de profundidad no fue estadísticamente diferente para ninguno de los factores en estudio, lo que indica que la aplicación de agua carbonatada no incrementó la concentración de carbono en el suelo, o bien éste se perdió rápidamente a la atmósfera, ya que el CO₂ es un gas muy volátil en

el medio ambiente, más aun a temperaturas elevadas (Figura 36). Del mismo modo, el contenido de bióxido de carbono en el suelo no presentó diferencias estadísticas cuando se compararon los 18 tratamientos a través de la prueba de Tukey (Anexo 16). Sin embargo, la concentración de CO_2 en la solución del suelo tiende a aumentar con el uso de acolchado plástico con respecto al tratamiento testigo (Novero *et al.*, 1991).

Figura 36. Concentración de bióxido de carbono en los suelos a los 59 ddt de tomate de cáscara (ppm)

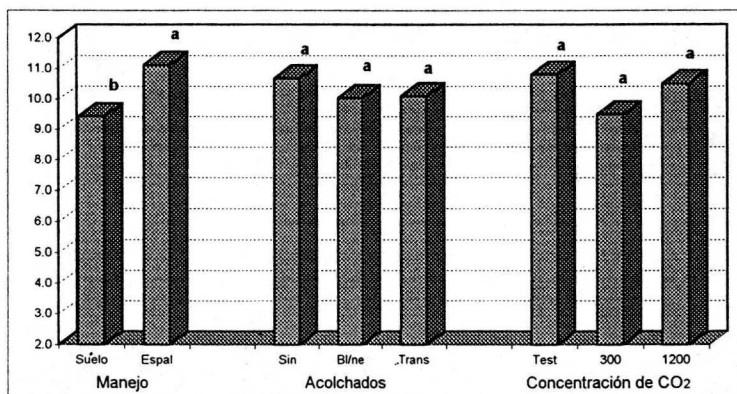


C.V.(a)=37.4, C.V.(b)=14.1%, DMS(Manejo)=37.0, DMS(Acolchado)=54.5, DMS(Bióxido)=54.5. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

4.2.14 Tasa de fotosíntesis aparente

La tasa de intercambio de CO_2 en las hojas de tomate de cáscara a los 59 ddt presentó diferencias significativas por efecto de los tratamientos aplicados con un coeficiente de variación de 22.7%. Según la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) la tasa fotosintética ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en las hojas con conducción en espalderas superó estadísticamente al nivel de actividad fotosintética en plantas conducidas en piso, los cuales registraron 11.1 y 9.4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de tasa de fotosíntesis aparente, respectivamente. En contraste, la tasa de fotosíntesis en las hojas con el uso de acolchados plásticos y aplicación radical de bióxido de carbono no presentó diferencias significativas (Figura 37), al igual que las combinaciones de los tres factores en estudio.

Figura 37. Tasa de fotosíntesis aparente de hojas de tomate de cáscara a los 59 ddt ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)



C.V. (a)=43.8%, C.V.(b)=22.7%, DMS(Manejo)=1.1, DMS(Acolchado)=1.6, DMS(Bióxido)=1.6. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

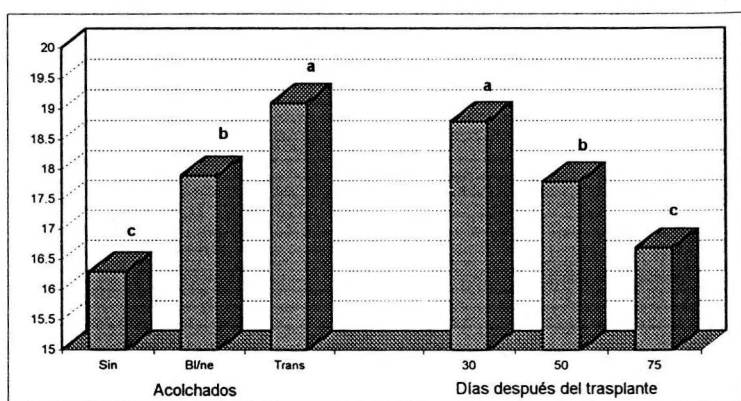
4.2.15 Temperatura del suelo

El análisis de varianza de la temperatura del suelo a 15 centímetros de profundidad entre las 7 y 8 am, 12 am y 4 y 6 pm horas resultó significativamente afectado por el uso de acolchados plásticos, con un coeficiente de variación de 4.2, 3.6 y 3.1 %, respectivamente.

La prueba de comparación de medias de la temperatura del suelo entre las 7 y 8 am resultó significativamente mayor con el uso de acolchado plástico transparente (19.1°C) con respecto al acolchado blanco/negro (17.9°C) y testigo (16.3°C), los cuales también difieren significativamente. Del mismo modo, se observó que la temperatura del suelo en la fase inicial del cultivo (30 ddt) fue estadísticamente mayor que la registrada en la fase intermedia y final del cultivo (50 y 75 ddt), en la que el follaje de las plantas interfiere sobre la incidencia directa de los rayos del sol sobre la película plástica, permitiendo menor aumento de la temperatura del suelo

(Figura 38). Este mayor aumento de la temperatura del suelo con el acolchado transparente se debe a que la película deja pasar la mayor parte de rayos solares al suelo, el cual produce un efecto invernadero en el mismo, situación que se intensifica con la gotas de agua contenidas en la pared inferior de la película plástica que atrapan parte de la energía de onda larga que refleja la superficie del suelo, tal como lo reporta Al-Assir (1992) en el cultivo de melón.

Figura 38. Temperatura del suelo entre la 7 y 8 am (°C)



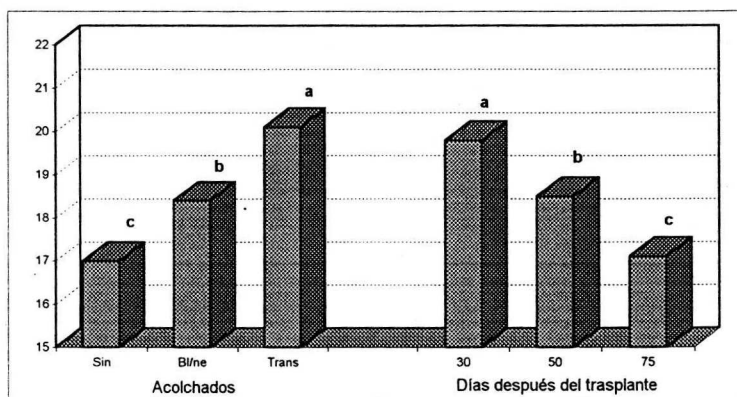
C.V.=4.2%, DMS=0.76. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

La temperatura del suelo a 15 cm de profundidad al medio día, resultó significativamente modificada por el uso de acolchados plásticos, donde se observa que la temperatura con el acolchado transparente (20.1 °C) superó estadísticamente al cubierto con plástico blanco/negro (18.4 °C) y testigo (17.0 °C), entre los cuales también hubo diferencia significativa (Figura 39), lo cual concuerda lo reportado por Adetunji (1994) en el cultivo de cebolla.

La temperatura del suelo entre las 4 y 6 pm fue estadísticamente superior con el uso de acolchado transparente con respecto a la temperatura con el acolchado blanco/negro y el testigo, presentando 21.4, 19.8 y 18.3 °C, respectivamente. Del mismo modo, la temperatura del suelo a los 50 ddt fue estadísticamente superior a la registrada a los 30 y 75 ddt (Figura 40).

En resumen, la temperatura del suelo a los 15 cm de profundidad fue significativamente mayor cuando se usó plástico transparente, seguido de plástico blanco/negro que también superó significativamente al testigo en los tres momentos de medición (mañana, medio día y tarde).

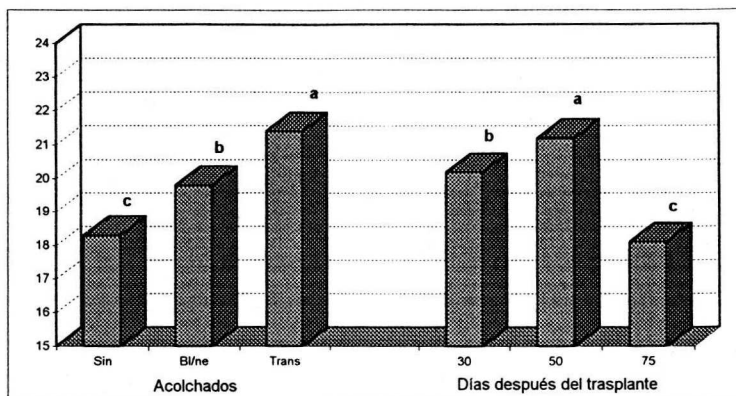
Figura 39. Temperatura del suelo a las 12 am (°C)



C. V. =3.6%, DMS=0.66. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

La mayor temperatura del suelo fue con el acolchado transparente a los 30 y 50 ddt y las menores en la mañana, medio día y horas de la tarde fue sin cubierta plástica y cuando el follaje cubrió totalmente la superficie acolchada del suelo, lo cual ocurrió a los 75 ddt (Cuadro 29).

En el presente experimento se observó que las mayores temperaturas del día se registraron en horas de la tarde (4 a 6 pm), donde la temperatura del suelo a 15 cm de profundidad con acolchado transparente superó en 3.5 °C al tratamiento testigo, lo que coincide con lo reportado por Orozco *et al.* (1995).

Figura 40. Temperatura del suelo entre las 4 y 6 pm (°C)

C. V.=3.1%, DMS=0.66. Dentro de cada factor, barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey con $\alpha=0.05$).

Cuadro 29. Temperatura del suelo a 15 cm de profundidad (°C)

Acolchado	Momento	Hora de medición		
		7-8	12	16-18
Testigo	30 ddt	17.6	18.8	18.8
Testigo	50 ddt	16.3	16.7	20.0
Testigo	75 ddt	15.0	15.4	16.3
B/N	30 ddt	18.1	19.0	19.6
B/N	50 ddt	18.3	18.5	21.1
B/N	75 ddt	17.4	17.6	18.5
Transp.	30 ddt	20.7	21.8	22.3
Transp.	50 ddt	18.8	20.2	22.4
Transp.	75 ddt	17.8	18.3	19.6

4.2.16. Análisis financiero

La producción de tomate de cáscara con riego por goteo (tratamiento testigo=S1A1B1) en el presente experimento presentó una relación beneficio/costo de 0.55, lo que indica que por cada peso invertido se tiene una ganancia neta de 0.55 pesos cuando el precio del mercado fue de un

peso por kilogramo. Esta respuesta positiva del cultivo aún se mantiene con 20% de disminución del valor de la producción, lo que demuestra que el tomate de cáscara bajo riego por goteo es un cultivo rentable con un costo de producción es de 27,645 pesos por hectárea (Anexo 17).

Cuadro 30. Análisis del beneficio/costo en una hectárea de cultivo de tomate de cáscara en Chapingo, México, 1996.

Tratamiento	Rendimiento (ton/ha)	Valor de producción	Costo de producción (\$/ha)	Utilidad neta (\$/ha)	Relación B : C
S1A2B1	75.60	75598	36295	39303	1.08
S1A3B1	74.06	74055	36295	37760	1.04
S1A2B2	77.55	77553	39475	38078	0.96
S1A3B2	76.21	76208	39475	36733	0.93
S1A2B3	80.30	80298	41995	38303	0.91
S2A2B1	77.38	77378	49245	28133	0.57
S1A1B1	42.83	42833	27645	15188	0.55
S2A3B1	76.02	76018	49245	26773	0.54
S2A2B3	83.78	83780	54945	28835	0.52
S1A3B3	63.27	63270	41995	21275	0.51
S2A3B2	78.83	78828	52425	26403	0.50
S2A2B2	77.59	77588	52425	25163	0.48
S1A1B2	42.09	42090	30825	11265	0.37
S2A3B3	74.63	74625	54945	19680	0.36
S2A1B1	53.47	53465	40595	12870	0.32
S1A1B3	42.94	42943	33345	9598	0.29
S2A1B3	48.29	48285	46295	1990	0.04
S2A1B2	39.64	39640	43775	-4135	-0.09

Precio de mercado : \$ 1.00

El análisis económico y de sensibilidad a través de la relación beneficio/costo en el presente experimento muestra que el mayor beneficio económico del tomate de cáscara se obtuvo con la conducción en piso, acolchado plástico blanco/negro y sin aplicación de bióxido de carbono, aún cuando con esta combinación de niveles no se obtenga el máximo rendimiento de frutos por hectárea. Con este tratamiento se obtuvo 1.08 pesos de ganancia neta por cada peso invertido (Cuadro 30) y cuando el valor de producción disminuye en 50%, ya sea por disminución del precio o rendimiento, aún se mantiene una ganancia neta de 0.04 pesos (Cuadro 31). Estos resultados se deben parcialmente a que los costos de producción con la conducción en espaldara aumentan en mayor proporción que con el uso de acolchados plásticos y la aplicación radical de bióxido de carbono (Anexo 18); sin embargo, a nivel comercial los costos de producción del

manejo en espaldera y aplicación radical de CO₂ pueden disminuir por la mecanización y la actividad de mano de obra en mayor escala que se realice.

En el Cuadro 31 se observa que la relación del beneficio/costo es más sensible por efecto del valor de la producción que por el costo de producción del tomate de cáscara, indicando lo determinante que es el precio del tomate en el mercado en relación a los costos de producción para una hectárea de cultivo.

Cuadro 31. Análisis de sensibilidad de la relación beneficio/costo en el cultivo de tomate de cáscara en el valor y los costos de producción (20, 40 y 50%) en Chapingo, México, 1996. (Valores para una hectárea)

Tratamiento	Relación B/C	Reducción del valor de producción			Incremento del costo de producción		
		20%	40%	50%	20%	40%	50%
S1A2B1	1.08	0.67	0.25	0.04	0.74	0.49	0.39
S1A3B1	1.04	0.63	0.22	0.02	0.70	0.46	0.36
S1A2B2	0.96	0.57	0.18	-0.02	0.64	0.40	0.31
S1A3B2	0.93	0.54	0.16	-0.03	0.61	0.38	0.29
S1A2B3	0.91	0.53	0.15	-0.04	0.59	0.37	0.27
S2A2B1	0.57	0.26	-0.06	-0.21	0.31	0.12	0.05
S1A1B1	0.55	0.24	-0.07	-0.23	0.29	0.11	0.03
S2A3B1	0.54	0.23	-0.07	-0.23	0.29	0.10	0.03
S2A2B3	0.52	0.22	-0.09	-0.24	0.27	0.09	0.02
S1A3B3	0.51	0.21	-0.10	-0.25	0.26	0.08	0.00
S2A3B2	0.50	0.20	-0.10	-0.25	0.25	0.07	0.00
S2A2B2	0.48	0.18	-0.11	-0.26	0.23	0.06	-0.01
S1A1B2	0.37	0.09	-0.18	-0.32	0.14	-0.02	-0.09
S2A3B3	0.36	0.09	-0.19	-0.32	0.13	-0.03	-0.09
S2A1B1	0.32	0.05	-0.21	-0.34	0.10	-0.06	-0.12
S1A1B3	0.29	0.03	-0.23	-0.36	0.07	-0.08	-0.14
S2A1B3	0.04	-0.17	-0.37	-0.48	-0.13	-0.26	-0.30
S2A1B2	-0.09	-0.28	-0.46	-0.55	-0.25	-0.35	-0.40

En resumen de la segunda fase experimental se determinó que la aplicación radical de bióxido de carbono no produjo cambios significativos del pH del suelo, concentración de CO₂ de la solución suelo y porcentaje de acidez en hojas, los cuales no produjeron diferencias sobre el crecimiento y desarrollo del tomate de cáscara en comparación al tratamiento testigo. Se

determinó que el rendimiento inicial y total; peso, número y volumen de frutos; longitud de entrenudos y tasa de fotosíntesis aparente no fueron modificados por la adición de CO_2 a la raíz; tal como lo reporta Storlie y Heckman (1996b) en pimiento, donde reportan que la concentración de elementos nutritivos y el rendimiento de frutos no aumentaron con la aplicación de agua carbonatada por la ligera e insuficiente disminución del pH del suelo.

El uso de acolchados plásticos aumentó la temperatura del suelo, mismo que indujo a un mayor crecimiento vegetativo (altura de planta, número de hojas, longitud de ramas, área foliar, diámetro del tallo y materia seca de hojas y tallos), que aunado a una mayor conservación de la humedad del suelo, favorece la disponibilidad de elementos nutritivos, los cuales produjeron mayor número de flores, peso y número de frutos y rendimiento inicial (dos primeros cortes) y total, siendo mayor el rendimiento inicial y total obtenido con el acolchado blanco negro dado que tuvo una mayor relación de materia seca de hojas/tallos (0.47), comparada con el tratamiento con acolchado transparente (0.42) y testigo (0.38).

El manejo en espalderas modificó el patrón de crecimiento y la relación fuente/demanda de las plantas, disminuyendo la producción de frutos en el primer corte e incrementándose en los últimos tres, en comparación al sistema de producción tradicional en piso, donde disminuye el período de cosecha principalmente por el maltrato mecánico de las plantas en los cortes. El mayor rendimiento total se produjo con la conducción en espaldera, pero la relación beneficio/costo del cultivo fue menor con respecto a la producción en piso.

El mayor rendimiento total (83.78 ton/ha) se obtuvo con el tratamiento conducido en espaldera, acolchado blanco/negro y 1200 ppm de CO_2 aplicado al sistema radical; aunque la mayor rentabilidad (relación B/C=1.08) fue usando acolchado blanco/negro, conducción en piso sin CO_2 adicional al suelo que rindió 75.6 ton/ha, el cual no difirió estadísticamente del tratamiento de mayor rendimiento total, debido principalmente a que la conducción en espalderas es el factor que mayor costo adicional genera en el cultivo de tomate de cáscara.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos, hipótesis y resultados del presente trabajo experimental se concluyó lo siguiente :

5.1 Primera fase experimental : En invernadero

El pH del agua carbonatada disminuye cuanto más bióxido de carbono se encuentra en solución; así, el pH de la solución concentrada a 1200 ppm fue 5.86 y a 300 ppm fue 6.8, mientras que el agua de riego presentó 7.5.

La mayor producción de frutos por planta se obtuvo con la aplicación de 1200 y 300 ppm de CO₂ durante la fase de 10 bolsas por planta, con lo cual se produjeron 627 y 590, respectivamente.

La mayor acumulación de materia seca total y área foliar por planta se obtuvo con la aplicación de 1200 ppm de CO₂ en la fase de 10 bolsas y primer fruto lleno, respectivamente.

La longitud de los entrenudos no presentó diferencias estadísticas significativas; sin embargo, la tendencia de mayor longitud ocurrió en plantas que no recibieron bióxido de carbono y con 300 ppm durante la fase de 10 bolsas.

5.2. Segunda fase experimental : En Campo

La producción de tomate de cáscara se concentra entre el segundo y tercer cortes, donde se produce el 45% del rendimiento total de frutos.

La precocidad en los dos primeros cortes con el sistema de conducción en piso fue 15% mayor en comparación a la producción en espaldera, aunque el rendimiento total con este último sistema superó en 6% a la producción en piso; mismo que se debe al menor maltrato mecánico y al mayor rendimiento en los últimos tres cortes que superó en 30% a la producción en piso.

El mayor rendimiento total de tomate se obtuvo con el acolchado blanco/negro, el cual superó en 7 y 75% al rendimiento obtenido con acolchado transparente y el testigo, respectivamente; y el mayor rendimiento inicial fue con el acolchado transparente. Sin embargo, la precocidad y el rendimiento total de tomate no fueron afectados significativamente por la aplicación radical de bióxido de carbono.

La mayor precocidad en la producción se presentó cuando el cultivo se condujo con acolchado transparente, sin aplicación de bióxido de carbono y en manejo en piso, lo cual produjo 29.3 ton/ha en los dos primeros cortes. Sin embargo, el mayor rendimiento total se obtuvo con la aplicación de 1200 ppm de CO₂, acolchado blanco/negro y en espaldera, el cual rindió 83.8 ton/ha.

El peso promedio de un fruto de tomate de cáscara fue significativamente mayor con el uso de acolchados plásticos en comparación al testigo sin acolchar, mismo que no fue afectado por los sistemas de manejo, ni por la aplicación radical de bióxido de carbono.

El volumen de un kilogramo de frutos frescos disminuyó con la aplicación de agua carbonatada al cultivo; sin embargo, ni los sistemas de manejo ni el acolchado plástico lo afectaron significativamente.

El acolchado plástico de los suelos afectó la morfogénesis de las plantas, observándose mayor diámetro de tallo, número de flores y hojas, longitud de ramas y altura de plantas con el acolchado plástico transparente, el cual elevó la temperatura en 3 y 1.5 °C con respecto al suelo sin acolchar y al acolchado con plástico blanco/negro, respectivamente. Sin embargo, el mayor crecimiento inicial de las plantas de tomate no se tradujo en un mayor rendimiento total de frutos, mismo que correspondió al acolchado con plástico blanco/negro.

La longitud del tallo fue mayor con los acolchados plásticos; sin embargo, el sistema de manejo y la aplicación radical de bióxido de carbono no tuvieron influencia significativa.

El área foliar de las plantas conducidas en espaldera superó en 11% a las plantas conducidas en piso. Asimismo, el acolchado plástico transparente superó en 19 y 37% al área foliar de plantas con acolchado blanco/negro y sin acolchar, respectivamente. También la aplicación radical de 1200 ppm de CO₂ provocó mayor área foliar, la cual superó en 6 y 15% a las plantas tratadas con 300 ppm y sin aplicación de CO₂, respectivamente.

La aplicación de 1200 ppm de bióxido de carbono disuelto en el agua disminuyó ligeramente el pH del suelo en 0.2 unidades; mientras que la tasa de fotosíntesis aparente, la concentración de bióxido de carbono en la solución del suelo y la acidez total en las hojas no fueron afectados por ningún tratamiento.

El cultivo de tomate de cáscara conducido con riego por goteo presenta una relación beneficio costo de 0.55, pero fue superada por varios tratamientos de la presente investigación, donde la mayor relación beneficio costo (1:1.08) se obtuvo con el uso de acolchado plástico blanco/negro, sin adición de bióxido de carbono y en conducción en piso, mismo que rindió 75.6 ton/ha. No obstante, el mayor rendimiento total fue 83.8 ton/ha, que se obtuvo con la aplicación de 1200 ppm de CO₂, uso de acolchado blanco/negro y con conducción en espaldera, con una relación beneficio costo de 0.52.

VI. SUGERENCIAS

Con base a las experiencias del presente trabajo experimental se puede sugerir lo siguiente :

Evaluar el efecto de la aplicación radical de bióxido de carbono en el cultivo de tomate de cáscara en condiciones de suelo alcalino y lugares donde la temperatura es elevada.

Evaluar el efecto de las espalderas en la estación de verano, donde las precipitaciones son un factor determinante del rendimiento del cultivo de tomate de cáscara.

Evaluar el uso de películas plásticas extradelgadas (50 galgas) en cultivo de corto período vegetativo, como el tomate de cáscara, con el objeto de disminuir los costos de producción.

Determinar la concentración de elementos nutritivos y la extracción de nutrimentos por el cultivo de tomate de cáscara, dado que hasta el momento se desconoce la cantidad aprovechable por el cultivo.

En los programas de mejoramiento genético considerar la importancia de las plantas de tomate de cáscara que presentan crecimiento erecto para la conducción en espalderas.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abdul-Baki, A. and C. Spence. 1992. Black polyethylene mulch doubled yield of fresh-market field tomatoes. *HortScience* 27(7):287-289.
- Adetunji, I. A. 1994. Response of onion to soil solarization and organic mulching in semi-arid tropics. *Scientia Horticulturae* 60:161-166.
- Adler, W. C., and P. H. Everett. 1968. Aluminum foil and white polyethylene mulches to repel-aphids and control watermelon mosaic. *Journal Economic Entomology* 61:1276-1279.
- Al-Assir, I. A., I. G. Rubeiz, and J. V. Khoury. 1992. Yield response of greenhouse cantaloupe to clear and black plastic mulches. *Biological Agriculture and Horticulture* 8:205-209.
- Arteca, R. N., B. W. Poovaiah, and O. E. Smith. 1979. Changes in carbon fixation, tuberization, and growth induced by CO₂ applications to the root zone of potato plants. *Science* 205(2):1279-1280.
- Arteca, R. N., and B. W. Poovaiah. 1982. Absorption of CO₂ by potato roots and its subsequent translocation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(3):398-401.
- Ayala P, J. P; A. Peña L. y J. Mulato B. 1992. Caracterización del germoplasma de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.) en Chapingo, México. *Revista Chapingo*, año XVI, (79-80) : 128-137.
- Bansal, K. C.; D. C. Uprety, and Y. P. Arbol. 1993. Genetic variation in photosynthetic characteristics in wheat : causes and consequences. In : Arbol, Y. P., P. Mohanty and

- Govinjee (eds.). *Photosynthesis : Photoreactions to plant productivity*. London, England. pp. 527-545
- Baron, J. J., and S. F. Gorski. 1986. Response of eggplant to a roots environment enriched with CO₂. *HortScience* 21:495-498.
- Basile, G., M. Arienzo, and A. Zena. 1993. Soil nutrient mobility in response to irrigation with carbon dioxide enriched water. *Common. Soil Sci. Plant Anal.* 24:1183-1195.
- Bergareche, C. y L. Moysset. 1993. El Fitocromo. En: *Fisiología y bioquímica vegetal*. Primera Edición. Editorial Interamericana Mc. Graw-Hill. Madrid, España. p. 581.
- Bhella, H. S. 1988. Tomato response to trickle irrigation and black polyethylene mulch. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113(4):543-546.
- Bialczyk, J., Z. Lechowski, and A. Libik. 1994. Growth of tomato seedling under different CO₂ concentrations in the medium. *Jour. Plant Nutrition* 17(5):801-816.
- Bown, A. W. 1985 CO₂ and intracellular pH. *Plant, Cell and environment* 8:459-465.
- Bringas, G. L. 1995. La plasticultura está por los suelos. Las nuevas tecnologías fomentan la rápida transformación del sector agrícola. *Revista Productores de Hortalizas* 4(9):38-39.
- Brown, S. L., and J. E. Brown. 1992. Effect of plastic mulch color and insecticides on thrips populations and damage to tomato. *HortTechnology* 2:208-211.
- Buyanovsky G. A. and Wagner G.H. 1983. Annual cycles of carbon dioxide level in soil air. *Soil Science Society of American Journal*. 47:1139-1145.

- Cartujano, E. F. 1984. Desarrollo y fenología del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.) variedad Rendidora en la región de Zacatepec, Morelos. Tesis de Licenciatura, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, Estado de México. p. 149.
- Castillo, P. I. 1990. Estudio de dos densidades de población, dos sistemas de manejo y tres arreglos topológicos en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.). Tesis Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. p. 75.
- Castillo, P. I.; Peña L. A. y Cruz G. R. A. 1991. Densidad de población, sistema de manejo y arreglos topológicos en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.). Revista Chapingo. No. 73-74. pp. 53-56.
- Castro, V. E. 1995. Efecto de coberturas orgánicas e inorgánicas en la producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.) en Chapingo, Méx. Tesis Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. p. 53.
- Comite des plastiques en agriculture. 1992. Les plastiques en agriculture. Coedition CPA y Revue Horticole. Paris, Francia. p. 583.
- Costello, M. J. 1994. Broccoli growth, yield and level of aphid infestation in leguminous living mulches. Biological Agriculture and Horticulture 10:207-222.
- Cralle, H. T. and D. M. Vietor. 1989. Productivity. In: Biomass Handbook. O. Kitani and C.W. Hall (eds.). Gordon and Beach Sci. Pub. N.Y., USA. pp. 11-20.
- Cruz, G. R. A. 1991. Producción y manejo post-madurez comercial de frutos de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.) para producir semilla con calidad. Tesis. Maestría en Ciencias en Genética. Colegio de Postgraduados, Estado de México. p. 155.

- Csizinszky, A. A., D. J. Shuster, and J. B. Kring. 1995. Color mulches influence yield and insect pest populations in tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120(5):778-784.
- Decoteau, D. R. 1990. Bell pepper plant development over mulches of diverse colors. *HortScience* 25(4):460-462.
- Decoteau, D. R., M. J. Kasperbauer, D. D. Daniels, and P. G. Hunt. 1988. Plastic mulches color effects on reflected light and tomato plant growth. *Scientia Horticulturae* 34:169-175.
- Decoteau, D. R., M. J. Kasperbauer, and P. G. Hunt. 1989. Mulch surface color affects yield of fresh market tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114:216-220.
- De Mendiburu, D. F. 1990. Experimentos con factoriales. *Apuntes de métodos estadísticos para la investigación I*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. p.26.
- Enoch, H. Z. 1984. carbon dioxide uptake efficiency in relation to crop-intercepted solar radiation. *Acta Hortic.* 162:137-147.
- Enoch, H. Z. 1990. Crop responses to aerial carbon dioxide. *Acta Hort.* 268:17-29.
- Enoch, H. Z., and J. M. Olesen. 1993. Plant response to irrigation with water enriched with carbon dioxide. *Tansley Review No. 54*. *New Phytopatological* 125:249-258.
- Espie, G. S. and Coleman B. 1981. The intracellular pH of isolated Photosynthetically active *Asparagus mesophyll* cells. *Planta*. 153:210-216.
- FAO. 1994. Anuario estadístico de producción. Volumen 48. Roma, Italia. 245 pp.

- García, E. 1986. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para adaptarlas a la República Mexicana. UNAM, México. p. 246.
- Gardner, F. P. ; P. B. Pearce; and R. L. Mitchell. Physiology of crop plants. Iowa State university Press; Ames, Iowa, USA. pp. 271-295.
- Garzón, J. A. y O. C. Pozo. 1995. Impacto de la plasticultura en el control de virosis en hortalizas. Memorias del Simposium Internacional de Tecnologías Agrícolas con Plásticos. León, Guanajuato, México. 5, 6 y 7 octubre 1995. pp. 41-68.
- Gilby, G. W. 1990. Speciality horticultural films, based on polyethylenes, for greater control of the growing environment. Proceeding, XI International Congress of the Use of Plastic in Agriculture. New Delhi, India. pp. G67-G73.
- Gobierno del Estado de México. 1995. Producción y comercialización de tomate verde. Boletín Abasto y Comercio No. 8. Año VI. p. 37.
- Gómez, C. M. A.; R. R. Schwentesius; y A. S. Merino. 1991. El consumo de hortalizas en México. CIESTAAM-UACH. Chapingo, Estado de México, Méx. p. 51
- Govindarajan, A. G. and B. W. Poovaiah. 1982. Effect of root zone carbon dioxide enrichment on ethylene inhibition of carbon assimilation in potato plants. *Physiol. Plant* 55:465-469.
- Graf, G. E. and S. Aronoff. 1955. Carbon dioxide fixation by roots. *Science* 121:211-212.
- Greenough, D. R. 1990. Aluminum-surfaced mulch: An approach to the control of tomato spotted wilt virus in solanaceous crops. *Plant Disease* 70(10):850-808.

- Gutiérrez, H. M. 1986. Comparación de sistemas de espaldera contra piso bajo cuatro densidades de población de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.). Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Chapingo, Estado de México. p. 98.
- Gutiérrez, V. R. 1978. Estudio comparativo de dos sistemas de producción en una variedad de jitomate (*Lycopersicon esculentum* M). Jitomate de vara contra jitomate de suelo en el municipio de Pesquería, Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Ing. Agrónomo Administrador. ITESM. Monterrey, N. L., México. pp. 76.
- Ham, J. G., G. J. Kluitenberg, and W. J. Lamont. 1993. Optical properties of plastic mulches affect the yield temperature regime. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118:188-193.
- Hanada, T. 1991. The effect of mulching and rowcover on vegetables production. Extension Bulletin No. 332. Food & Fertilizer Technology center. August, 1991. Taiwan, China. p. 22.
- Helder, R. J. 1988. A quantitative approach to the inorganic carbon system in aqueous media used in biological research: dilute solutions isolated from the atmosphere. Plant, Cell and Environment 11:211-230.
- Hopen, H. J., and N. F. Oebker. 1975. Mulch effect on ambient carbon dioxide levels and growth of several vegetables. HortScience 102(2):159-161.
- Hyo-Duk, S. 1991. The use of fertilizers, mulching, and irrigation for vegetables production. II: The temperature zone-Korea. Extension Bulletin No. 334. Food & Fertilizer Technology Center. Taiwan, China. p. 24.
- Ibarra, J. L. y A. P. Rodríguez. 1991. Acolchado de suelos con películas plásticas. Editorial Limusa, México D.F. p.132.

- Jackson, W. A. and N. T. Coleman. 1959. Ion absorption by bean roots and organic acids changes brought about through CO₂ fixation. *Soil Sci.* 73:311-319.
- Jensen, H. J. and A. J. Malter. 1995. Protected agriculture. A global review. World Bank Technical Paper. Number 253. Washington D.C., USA. p 157.
- Lamont, W. J. 1991. The use of plastic mulches for vegetables production. Extension Bulletin No. 333. Food & Fertilizer Technology Center. Taiwan, China. p.7.
- Lamont, W. J. 1993. Plastic mulches for the production of vegetable crops. *HortTechnology* 3(1):35-39.
- Lamont, W. J. 1994. Plasticulture vegetable productions Systems- What are the components?. An American Soc. Hort. Sci. Seminar. Kentucky, USA. p. 36.
- Lamont, W. J., K. A. Sorenson, and C. W. Averre. 1990. Painting aluminium strips in black plastic mulch reduces mosaic symptoms on summer squash. *HortScience* 25: 1305-1305.
- Lashomb, J. H. and Y. S. Ng. 1984. Colonization by colorado potato beetles, *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera:Chrysomelidae), in rotated and nonrotated potato fields. *Environmental entomology* 13:1352-1356.
- Matheny, T. A.; P. G. Hunt, and M. G. Kasperbauer. 1992. Potato tuber production in response to reflected light from different colored mulches. *Crop Science* 32:1021-1024.
- Matocha, J. E. and S. Mostaghimi. 1988. Effect of carbon dioxide and iron enrichment of a calcareous soil on Fe-chlorosis, root and shot development of grain sorghum. *Journal of Plant Nutrition* 11:1503-1515.

- Mauney, J. R. and D. L. Hendrix. 1988. Responses of glasshouse grown cotton to irrigation with carbon dioxide-saturated water. *Crop Sci.* 28(5):835-838.
- Menzel Y. M. 1951. The citotaxonomy and genetics of *Physalis*. Reprint From *Proc. Amer. Philos. Soc.* 195(A):132-183.
- Milner, H. G. 1963. Petroleum mulch. *Nature* 197(4864):241-242
- Montalvo, H. D. 1995. Nutrición y clorosis en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.). Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. p. 181.
- Montalvo, H. L. 1996. Manejo de cubiertas, sustratos e intervalos de riego en la producción de plántula de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.). Tesis Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. p. 127.
- Montes, H. S. 1989. Evaluación de los efectos de la domesticación sobre el tomate (*Physalis phyladelphica* Lam.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. p. 151.
- Morales, U. A. 1995. Estabilización de plásticos para la agricultura. Memorias del Simposiun Internacional de Tecnologías Agrícolas con Plásticos. Guanajuato, México, 5, 6 y 7 octubre 1995. pp. 105-114.
- Moreno, M. M. y J. F. Torres. 1996. Evaluación de fertilizantes orgánicos en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.) Variedad CHF1-Chapingo. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. p. 59.

- Mulato, B.J. 1984. Desarrollo y Fenología del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.) variedad Rendidora en la región de Zacatepec, Morelos. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México. p. 109.
- Muñoz, S. A. 1980. Residuos sólidos plásticos: tratamiento y reciclaje. CIFCA. Madrid, España.
- Nakayama, F. S. and D. A. Bucks. 1980. Using subsurface trickle system for carbon dioxide enrichment. Proc. 15th. National Agricultural Plastic Congress. Tucson, Arizona, USA. 13-17 April. pp. 13-18.
- Novero, R., D. H. Smith, F. D. Moore, J. F. Shanahan, and R. d'Andria. 1991. Field-grown tomato response to carbonated water application. *Agronomy Journal* 83:911-916.
- Orozco, S. M., O. Z. Pérez, and O. A. López. 1995. Effect of transparent mulch on insect populations, virus disease, soil temperature, and yield of cantaloup in a tropical region. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Sci.* 23:199-204.
- Pandey, K. K. 1957. Genetics of self-incompatibility in *Physalis ixocarpa*, Brot. A New System. *Am. Jour. Bot.* 44:879-887.
- Patten, K. D., E. W. Nevendorff, A. T. Leonard, and V. A. Haby. 1988. Mulch and irrigation placement effect on soil chemistry properties and Rabbiteye blueberry plants irrigated with sodic water. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113(1):4-8.
- Pearman, G. I. 1988. Greenhouse planning for climate change. Australia. p. 752.
- Peña, L. A. y S. F. Márquez. 1990. Mejoramiento genético de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.). *Revista Chapingo* No. 71-72. pp. 84-88.

- Peña, L. A., B. J. Mulato, P. J. P. Ayala, y Montalvo H. D. 1992. Caracterización de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.). Memorias del XIV Congreso Nacional de Fitogenética. Chiapas, México. p. 694
- Perrin, R. K., D. L. Winkelman, E. R. Moscardi, J. R. Anderson. 1976. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos; un manual metodológico de evaluación económica. CIMMYT, Folleto No. 27. México. p.54.
- Reyes, M. H. 1993. La Plasticultura en México. Plasticulture. No. 100, 1993/4. Paris, Francia. p. 26.
- Robinson, D. W. 1991. Development in plastic structures and materials for horticultural crops. Extension Bulletin No. 331. Food & fertilizer Technology Center. Taiwan, China. p.7.
- Robledo, D. F. y L. V. Martín. 1988. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Segunda edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. p. 573.
- Rogers, H. H. and R. C. Dehlman. 1993. Crop responses to CO₂ enrichment. In: Rozema J, H. lambers, S. C. Van de Geijn, and M. L. Cambridge, (Eds.). CO₂ and Biosphere. London, England. pp. 117-131.
- Rubeiz, I. G., and M. M. Freiwat. 1995. Rowcover and black lastic mulch effect on tomato production. Biological Agriculture and Horticultural 12:113-118.
- SAGAR. 1993. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo 1. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México, D.F. pp. 502-507.

- _____. 1994. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo 1. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México, D.F. pp. 496-501.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamérica. México D. F. p. 759.
- Salman, H. M., and S. F. Gorski. 1988. The effect of clear and black polyethylene mulches on the soil environment. Research Circular No. 288. Vegetable crops. The Ohio State University, USA. p.9.
- Santos, H. A. 1994. El uso de plásticos en agricultura. Tesis profesional. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. p.172.
- Saray M. C. R. y Loya R. J. L. 1977. El cultivo de tomate de cáscara en el Estado de Morelos. CIAMEC No. 57. Circular No. 58. México.
- Saray M. C. R.; A. Palacios A. y Villanueva E. 1978. "Rendidora" nueva variedad de tomate de cáscara. Folleto Div No. 73. Campo Agrícola Experimental de Zacatepec. CIAMEC-INIA-SARH. México. p. 8.
- Schafer, W. 1988. Plant growth after application of CO_2/HCO_3 to the roots. Jour. Agron. Crop. Sci. 160:228-234.
- Schalk, J. M., and L. Robbins. 1987. Reflective mulches influence plant survival, production and insect control in fall tomatoes. HortScience 22:30-32.

- Scott, S. J., P. J. McLeod, F. W. Montgomery, and C. A. Handler. 1989. Influence to reflective mulch on incidence of thrips (Thysanoptera: Thripidae : Phlaeothripidae) in staked tomatoes. *Journal Entomology Sci.* 24:422-427.
- Serrano, C. Z. 1994. Construcción de invernaderos. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. p 445.
- Soldevilla, C. S. 1994. Curvas de absorción de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) a diferentes niveles de fertilización en el cultivo de marigold (*Tagetes erecta*, L.) cv 'Orange ade' en el valle de Chíncha. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. p.113.
- _____. 1996. México: La exportación de jitomate fresco. Documento del curso de Seminario III. Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. México. p.18. Inédito.
- Solís, M. F. 1994. Respuestas fisiológicas del crisantemo (*Chrysanthemum morifolium*, RAMAT) a la fertilización con CO₂ y nitrógeno. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. México. p.121.
- Soltani, N., J. L. Anderson, and A. R. Hamson. 1995. Growth analysis of watermelon plants grown with mulches and rowcovers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120(6):1001-1009.
- Stofella, P. J., Y. Li, R. R. Pelosi, and A. M. Hammer. 1995. Citrus Rootstock and carbon dioxide enriched irrigation influence on seedling emergence, growth, and nutrient content. *Jour. Plant Nutrition* 18(7):1439-1448.
- Storlie, C. A. and J. R. Heckman. 1996a. Soil, plant and canopy responses to carbonated irrigation water. *HortTechnology* 6(2):11-114.

- Storlie, C. A. and J. R. Heckman. 1996b. Bell pepper yield response to carbonated irrigation water. *Jour. Plant Nutr.* 19 (10&11): 1477-1484.
- Teasdale, J. R. and A. A. Abdul-Baki. 1995. Soil temperature and tomato growth associated with black polyethylene and hairy vetch mulches. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120(5):848-853.
- Tindall, J. A., R. B. Beverly, and D. E. Radcliffe. 1991. Mulch effect on soil properties and tomato growth using micro-irrigation. *Agronomy Journal* 83:1028-1034.
- Vapaavuori, E. M. and P. Pelkonen. 1985. HCO_3^- uptake through the roots and its effect on the productivity of willow cuttings. *Plant, Cell and Environment* 8:531-534.
- Wallace, A., Mueller R. T., Wood, R. A., and Soufi S. M. 1979. Plant uptake of bicarbonate as measured with the ^{11}C isotope. *Plant and Soil*, 51: 431-455.
- West, J.; and L. C. Peirce. 1988. Yield of tomato phenotypes modified by planting density, mulch, and rowcovers. *HortScience*. 23(2):321-324.
- Wien, H. C., and P. L. Minotti. 1987. Growth, yield and nutrient uptake of transplanted fresh market tomatoes as affected by plastic mulch and initial nitrogen rate. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112:759-763.
- _____. 1988a. Increasing yield of tomatoes with plastic mulch and apex removal. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113(3):342-347.
- _____. 1988b. Response of fresh-market tomatoes to nitrogen fertilizer and plastic mulching in a short growing season. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113(1):61-65.

Wittwer, S. H. and W. Robb. 1964. Carbon dioxide enrichment of greenhouse atmospheres for food crop production. *Economic Botany*.

Wittwer, S. H. 1985. CO₂ level in the biosphere: effect on plant productivity. *CRC Crit. Rev. Plant Sci.* 2(3):171-198.

_____. 1993. World-wide use of plastic in horticultural production. *HortTechnology* 3(1):6-19.

Wiwutvongvana, P., M. Ekasingh, J. Paungmanee, T. Klodpeng, M. Nikornpun, and P. Lumyong. 1991. The use of fertilizers, mulching and irrigation for vegetables production. I: The tropical zone-Thailand. Extension Bulletin No. 334. Food & Fertilizer Technology Center. Taiwan, China. p.24.

Wong, S. C. 1979. Elevated atmospheric partial pressure of CO₂ and plant growth. I: Interactions of nitrogen nutrition and photosynthetic capacity in C₃ and C₄ plants. Berlin, Alemania. *Oecology* 44:68-74.

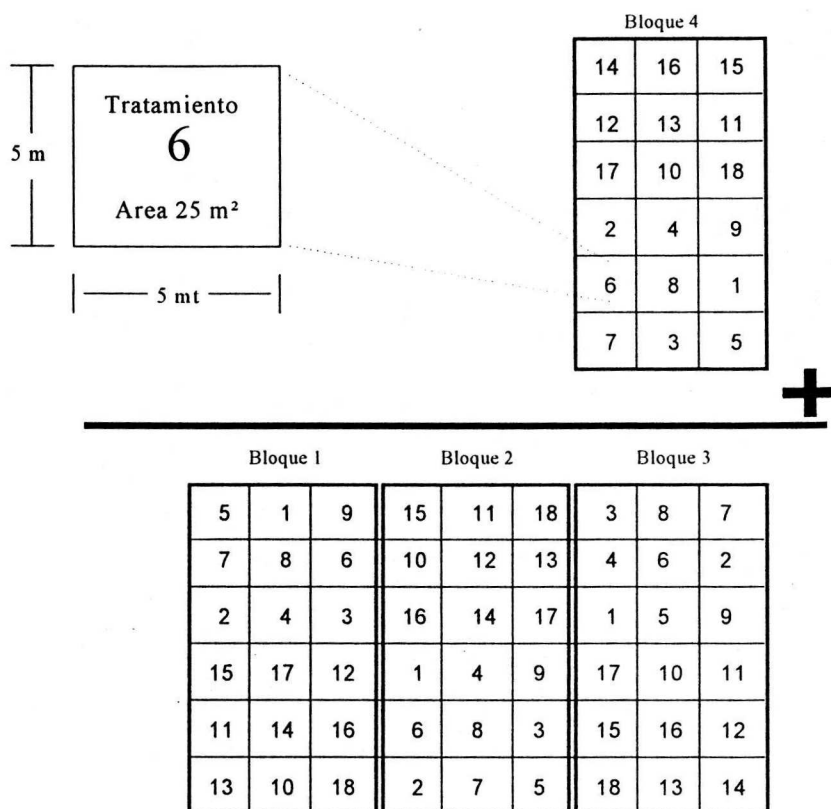
Yagodin, B. A. 1986. *Agroquímica*. Editorial Mir. Moscú. Vol. 1. p. 416.

Yang, X. , V. Romheld, and H. Marschner. 1994. Effect of bicarbonate on root growth and accumulation of organic acid in Zn-inefficient and Zn-efficient rice cultivars (*Oryza sativa*, L.) *Plant and Soil* 164:1-7.

Zehnder, G. W., and J. Hough-Goldstein. 1990. Colorado potato beetle (Coleóptera: *Chrysomelidae*) populations development and effect on yield of potato with an without mulch. *Journal of Economic Entomology* 83(5):1982-1987.

Anexo 1

Disposición de los tratamientos en el experimento de tomate de cáscara



Area de parcela : 25 m²

Area experimental : 3200 m²

ANEXO 2

Comparación de medias de las variables respuesta en la primera fase experimental según la prueba de Tukey con $\alpha=0.01$

VARIABLES RESPUESTA								
Producción por planta			Numero de frutos por planta			Peso de un fruto		
Trat.	Gramos	Grupo	Trat.	N°	Grupo	Trat.	Gramos	Grupo
C3M3	627	a	C1M3	21	a	C0M1	44.5	a
C1M3	590	ab	C3M3	18	ab	C0M3	44.4	a
C2M3	534	abc	C3M4	17	abc	C0M2	43.0	a
C1M6	507	abcd	C1M6	17	abc	C0M5	42.9	a
C3M4	468	bcde	C2M3	16	abcd	C3M1	42.8	a
C1M5	406	cdef	C1M4	14	bcde	C0M4	42.5	a
C1M2	402	cdef	C1M2	13	bcdef	C1M1	41.2	ab
C2M4	367	def	C1M5	13	bcdef	C0M6	39.5	ab
C3M2	360	def	C2M5	12	bcdefg	C2M2	39.0	ab
C2M5	354	def	C2M4	12	bcdefg	C3M3	36.5	ab
C3M1	352	ef	C3M2	12	bcdefg	C3M5	36.3	ab
C2M1	343	ef	C3M6	11	cdefg	C2M1	35.5	ab
C3M5	342	ef	C2M1	10	defg	C2M3	33.6	ab
C1M4	340	ef	C2M6	10	defg	C2M6	32.6	ab
C2M6	315	ef	C3M5	10	efg	C2M4	32.3	ab
C3M6	306	f	C3M1	8	efg	C3M2	31.6	ab
C1M1	299	f	C2M2	8	efg	C2M5	31.0	ab
C2M2	296	f	C1M1	7	efg	C1M6	30.8	ab
C0M3	284	f	C0M6	7	fg	C1M5	30.7	ab
C0M5	277	f	C0M3	7	g	C1M2	30.4	ab
C0M4	276	f	C0M4	7	g	C3M6	29.8	ab
C0M6	275	f	C0M5	7	g	C3M4	29.1	ab
C0M1	274	f	C0M1	6	g	C1M3	28.8	ab
C0M2	266	f	C0M2	6	g	C1M4	25.5	b
C.V.	13.7		C.V.	18.7		C.V.	15.1	
DMS	154.23		DMS	6.29		DMS	16.39	

C0= Sin Aplicación adicional de CO₂, C1=Aplicación de 300 ppm de CO₂, C2=Aplicación de 600 ppm de CO₂, C3=Aplicación de 1200 ppm de CO₂, M1=Aplicación de CO₂ en el semillero, M2=Aplicación de CO₂ a la primera flor, M3=Aplicación de CO₂ en la etapa de 10 bolsas de fruto, M4=Aplicación de CO₂ en la etapa del primer fruto lleno, M5=Aplicación de CO₂ después del primer corte, M6=Aplicación de CO₂ en todos los momentos anteriores. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

ANEXO 3

Comparación de medias de las variables respuesta en la primera fase experimental según la prueba de Tukey con $\alpha=0.01$

VARIABLES RESPUESTA								
Materia seca total			Materia seca de tallos			Materia seca de raíces		
Trat.	Gramos	Grupo	Trat.	Gramos	Grupo	Trat.	Gramos	Grupo
C3M3	106.4	a	C3M2	26.6	a	C2M4	7.7	a
C3M4	103.8	ab	C3M3	22.6	ab	C2M2	6.7	ab
C3M2	95.1	abc	C2M2	21.5	bc	C3M3	5.9	abc
C2M3	94.8	abc	C3M4	20.4	bcd	C3M2	5.1	bcd
C1M1	85.4	abcd	C1M1	18.9	bcde	C3M4	5.0	bcd
C1M3	82.7	bcde	C2M4	17.3	cdef	C1M3	4.8	bcde
C2M2	82.6	bcde	C2M5	16.9	cdef	C2M5	4.8	bcde
C2M4	82.2	bcde	C2M3	16.4	defg	C1M5	4.3	cdef
C3M6	80.7	cdef	C3M6	16.2	defgh	C3M6	4.3	cdef
C3M1	76.3	cdefg	C1M5	15.3	efghi	C1M1	4.2	cdef
C1M2	74.1	cdefg	C2M6	15.0	efghij	C1M4	4.0	cdef
C1M5	72.5	defg	C3M1	14.8	efghijk	C2M3	3.8	def
C1M4	70.9	defg	C1M2	14.7	fghijk	C1M2	3.3	def
C2M5	70.2	defg	C1M4	14.0	fghijk	C2M6	3.2	def
C2M6	65.1	defg	C1M3	13.7	fghijk	C1M6	3.1	def
C1M6	62.9	efg	C2M1	11.8	ghijkl	C0M4	2.9	ef
C0M3	61.4	efg	C0M3	11.7	hijkl	C0M3	2.9	ef
C0M4	60.1	fg	C0M4	11.1	ijkl	C3M1	2.9	ef
C0M6	59.6	fg	C0M6	11.1	ijkl	C0M5	2.9	ef
C0M5	59.6	fg	C0M5	10.9	ijkl	C0M6	2.8	ef
C0M1	59.2	fg	C0M1	10.7	ijkl	C0M1	2.7	f
C0M2	58.5	g	C0M2	10.5	jkl	C0M2	2.7	f
C3M5	56.5	g	C1M6	10.3	kl	C3M5	2.3	f
C2M1	55.9	g	C3M5	8.8	i	C2M1	2.3	f
C.V.	9.7		C.V.	10.2		C.V.	17.1	
DMS	21.84		DMS	4.70		DMS	2.06	

C0= Sin Aplicación adicional de CO₂, C1=Aplicación de 300 ppm de CO₂, C2=Aplicación de 600 ppm de CO₂, C3=Aplicación de 1200 ppm de CO₂, M1=Aplicación de CO₂ en el semillero, M2=Aplicación de CO₂ a la primera flor, M3=Aplicación de CO₂ en la etapa de 10 bolsas de fruto, M4=Aplicación de CO₂ en la etapa del primer fruto lleno, M5=Aplicación de CO₂ después del primer corte, M6=Aplicación de CO₂ en todos los momentos anteriores. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

ANEXO 4

Comparación de medias de las variables respuesta en la primera fase experimental según la prueba de Tukey con $\alpha=0.01$

VARIABLES RESPUESTA								
Materia seca de hojas			Materia seca de frutos maduros			Altura de primer simpodio		
Trat.	Gramos	Grupo	Trat.	Gramos	Grupo	Trat.	cm	Grupo
C3M4	15.7	a	C3M3	41.8	a	C1M1	20.5	a
C2M3	15.4	ab	C2M3	40.7	a	C3M2	19.3	ab
C3M2	15.0	abc	C1M3	38.9	ab	C2M3	19.0	ab
C3M3	14.5	abc	C3M4	35.1	abc	C1M3	18.0	abc
C1M3	14.2	abc	C1M6	31.2	abcd	C3M6	17.5	abcd
C2M4	14.1	abc	C3M2	29.4	abcd	C1M5	17.3	abcd
C1M1	13.9	abcd	C1M5	29.4	abcd	C3M4	16.8	abcde
C0M3	13.7	abcd	C3M1	28.9	abcd	C3M3	16.8	abcde
C3M1	13.7	abcd	C2M4	28.6	abcd	C2M2	16.5	abcdef
C0M4	13.6	abcd	C3M6	28.1	abcd	C1M4	16.0	bcdefg
C0M5	13.0	abcd	C1M2	26.6	bcd	C1M2	16.0	bcdefg
C1M2	12.9	abcd	C3M5	26.3	bcd	C1M6	15.8	bcdefgh
C0M6	12.8	abcd	C1M4	24.9	cd	C2M5	14.8	cdefgh
C0M1	12.6	abcd	C1M1	24.5	cd	C3M5	14.0	cdefgh
C1M4	12.6	abcd	C2M2	22.5	cd	C2M1	13.8	defgh
C0M2	12.5	abcd	C2M6	22.2	cd	C2M4	13.8	defgh
C3M6	12.3	bcd	C0M4	21.4	cd	C3M1	13.0	efgh
C2M5	12.3	bcd	C0M1	21.4	cd	C0M5	12.5	fgh
C2M2	12.2	bcd	C2M5	21.4	cd	C2M6	12.3	gh
C1M5	11.9	cde	C0M6	21.4	cd	C0M6	12.3	gh
C2M6	11.8	cde	C0M3	21.3	cd	C0M1	12.3	gh
C2M1	10.8	de	C0M5	21.3	cd	C0M4	12.3	gh
C1M6	10.8	de	C0M2	21.1	cd	C0M3	12.0	gh
C3M5	8.8	e	C2M1	20.5	d	C0M2	11.8	h
C.V.	8.3		C.V.	16.9		C.V.	9.1	
DMS	3.29		DMS	13.96		DMS	4.22	

C0= Sin Aplicación adicional de CO₂, C1=Aplicación de 300 ppm de CO₂, C2=Aplicación de 600 ppm de CO₂, C3=Aplicación de 1200 ppm de CO₂, M1=Aplicación de CO₂ en el semillero, M2=Aplicación de CO₂ a la primera flor, M3=Aplicación de CO₂ en la etapa de 10 bolsas de fruto, M4=Aplicación de CO₂ el la etapa del primer fruto lleno, M5=Aplicación de CO₂ después del primer corte, M6=Aplicación de CO₂ en todos los momentos anteriores. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

ANEXO 5

Comparación de medias de las variables respuesta en la primera fase experimental según la prueba de Tukey con $\alpha=0.01$

VARIABLES RESPUESTA								
Long. entrenudos*			Longitud de entrenudos**			Area foliar por planta		
Trat.	Cm.	Grupo	Trat.	Cm.	Grupo	Trat.	Cm ²	Grupo
C1M1	12.9	a	C2M3	18.0	a	C3M4	5597	a
C2M3	12.8	a	C1M1	16.5	a	C3M3	5317	a
C1M3	12.1	a	C3M3	16.0	a	C3M2	5272	a
C1M6	12.1	a	C2M6	15.9	a	C1M1	5126	a
C2M2	12.1	a	C1M6	15.6	a	C2M4	4855	a
C3M4	12.0	a	C1M5	15.5	a	C1M2	4711	a
C1M4	11.3	a	C1M3	15.4	a	C2M6	4711	a
C3M1	11.3	a	C2M2	15.0	a	C2M3	4688	a
C3M3	11.3	a	C3M2	15.0	a	C1M3	4621	a
C3M2	11.0	a	C1M4	14.5	a	C1M4	4579	a
C3M6	10.8	a	C3M4	14.4	a	C2M5	4552	a
C2M6	10.6	a	C3M1	14.1	a	C1M5	4486	a
C1M5	10.4	a	C2M5	14.0	a	C1M6	4477	a
C3M5	10.0	a	C3M5	13.5	a	C3M1	4383	a
C2M5	10.0	a	C0M3	13.5	a	C3M6	4255	a
C0M2	9.8	a	C2M4	13.5	a	C0M3	4241	a
C2M1	9.8	a	C2M1	13.3	a	C0M4	4210	a
C2M4	9.6	a	C0M4	12.8	a	C2M1	4177	a
C1M2	9.5	a	C1M2	12.6	a	C0M6	4092	a
C0M1	9.3	a	C0M5	12.5	a	C0M2	4037	a
C0M3	9.3	a	C0M2	12.3	a	C3M5	4012	a
C0M4	9.0	a	C0M6	12.3	a	C2M2	4010	a
C0M6	9.0	a	C3M6	12.1	a	C0M5	3830	a
C0M5	8.8	a	C0M1	11.9	a	C0M1	3537	a
C.V.	22.1		C.V.	18.9		C.V.	18.5	
DMS	7.24		DMS	8.26		DMS	2542.7	

C0= Sin Aplicación adicional de CO₂, C1=Aplicación de 300 ppm de CO₂, C2=Aplicación de 600 ppm de CO₂, C3=Aplicación de 1200 ppm de CO₂, M1=Aplicación de CO₂ en el semillero, M2=Aplicación de CO₂ a la primera flor, M3=Aplicación de CO₂ en la etapa de 10 bolsas de fruto, M4=Aplicación de CO₂ en la etapa del primer fruto lleno, M5=Aplicación de CO₂ después del primer corte, M6=Aplicación de CO₂ en todos los momentos anteriores. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

* Longitud de entrenudo corto

** Longitud de entrenudo largo

ANEXO 6**Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) del rendimiento total de tomate de cáscara (Kg/ha)**

Tratamiento	Rendimiento	Grupo	Tratamiento	Rendimiento	Grupo
S2A2B3	83780	a	S2A3B3	74625	a
S1A2B3	80298	a	S1A3B1	74055	a
S2A3B2	78828	a	S1A3B3	63270	b
S2A2B2	77588	a	S2A1B1	53465	c
S1A2B2	77553	a	S2A1B3	48285	cd
S2A2B1	77378	a	S1A1B3	42943	de
S1A3B2	76208	a	S1A1B1	42833	de
S2A3B1	76018	a	S1A1B2	42090	de
S1A2B1	75598	a	S2A1B2	39640	e

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

ANEXO 7**Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) del rendimiento total de niveles de parcela grande en cada nivel de parcela chica (Kg/ha)**

Subparcela	Parcela	Rendimiento	Grupo
A1B1	E1	42833	b
A1B1	E2	53465	a
A1B2	E1	42090	a
A1B2	E2	39640	a
A1B3	E1	42943	a
A1B3	E2	48285	a
A2B1	E1	75598	a
A2B1	E2	77378	a
A2B2	E1	77553	a
A2B2	E2	77588	a
A2B3	E1	80298	a
A2B3	E2	83780	a
A3B1	E1	74055	a
A3B1	E2	76018	a
A3B2	E1	76208	a
A3B2	E2	78828	a
A3B3	E1	63270	b
A3B3	E2	74625	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

ANEXO 8

Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) del rendimiento total de tomate de cáscara de las combinaciones de subparcela en cada nivel del sistema de manejo (Kg/ha)

Sistema de manejo en piso

Subparcela	Rendimiento	Grupo
A2B3	80298	a
A2B2	77553	a
A3B2	76208	a
A2B1	75598	a
A3B1	74055	a
A3B3	63270	b
A1B3	42943	c
A1B1	42833	c
A1B2	42090	c

Tratamientos con las mismas letras son estadísticamente iguales.

Sistema de manejo en espaldera

Subparcela	Rendimiento	Grupo
A2B3	83780	a
A3B2	78828	ab
A2B2	77588	ab
A2B1	77378	ab
A3B1	76018	ab
A3B3	74625	b
A1B1	53465	c
A1B3	48285	c
A1B2	39640	d

Tratamientos con las mismas letras son estadísticamente iguales.

ANEXO 9

Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) del rendimiento total en la combinación de niveles de sistemas de manejo y aplicación de CO₂ en cada nivel de acolchado plástico (Kg/ha)

Combinación	Acolchado	Rendimiento	Grupo
S2B1	1	53465	a
S2B3	1	48285	ab
S1B3	1	42943	bc
S1B1	1	42833	bc
S1B2	1	42090	bc
S2B2	1	39640	c

S2B3	2	83780	a
S1B3	2	80298	a
S2B2	2	77588	a
S1B2	2	77553	a
S2B1	2	77378	a
S1B1	2	75598	a

S2B2	3	78828	a
S1B2	3	76208	a
S2B1	3	76018	a
S2B3	3	74625	a
S1B1	3	74055	a
S1B3	3	63270	b

Dentro de cada grupo, tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

ANEXO 10

Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) del rendimiento total en la combinación de niveles de sistemas de manejo y acolchados plásticos en cada nivel de aplicación de CO₂ (Kg/ha)

Combinación	Bióxido	Rendimiento	Grupo
S2A2	1	77378	a
S2A3	1	76018	a
S1A2	1	75598	a
S1A3	1	74055	a
S2A1	1	53465	b
S1A1	1	42833	c

S2A3	2	78828	a
S2A2	2	77588	a
S1A2	2	77553	a
S1A3	2	76208	a
S1A1	2	42090	b
S2A1	2	39640	bc

S2A2	3	83780	a
S1A2	3	80298	a
S2A3	3	74625	a
S1A3	3	63270	b
S2A1	3	48285	c
S1A1	3	42943	cd

Dentro de cada grupo, tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

ANEXO 11

Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) del rendimiento inicial de tomate de cáscara (ton/ha)

Tratamiento	Rendimiento	Grupo	Tratamiento	Rendimiento	Grupo
S1A3B1	29.28	a	S2A3B2	23.10	abcde
S1A2B2	28.20	ab	S2A3B1	22.87	bcde
S1A2B1	26.52	ab	S2A2B1	21.98	bcdef
S1A2B3	26.30	ab	S1A1B3	19.84	cdefg
S1A3B3	26.25	ab	S1A1B1	18.87	defg
S2A2B3	26.21	ab	S2A1B1	17.67	defg
S1A3B2	26.03	abc	S1A1B2	17.27	efg
S2A3B3	23.65	abcd	S2A1B2	16.15	fg
S2A2B2	23.46	abcde	S2A1B3	14.46	g

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

ANEXO 12

Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) del rendimiento inicial de los niveles de parcela grande en cada nivel de parcela chica (ton/ha)

Subparcela	Parcela	Rendimiento	Grupo
A1B1	E1	18.9	b
A1B1	E2	17.7	a
A1B2	E1	17.3	a
A1B2	E2	16.2	a
A1B3	E1	19.8	a
A1B3	E2	14.5	b
A2B1	E1	26.5	a
A2B1	E2	22.0	b
A2B2	E1	28.2	a
A2B2	E2	23.5	b
A2B3	E1	26.3	a
A2B3	E2	26.2	a
A3B1	E1	29.3	a
A3B1	E2	22.9	b
A3B2	E1	26.0	a
A3B2	E2	23.1	a
A3B3	E1	26.2	a
A3B3	E2	23.7	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

ANEXO 13**Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) del área foliar de tomate de cáscara (cm²)**

Tratamiento	Área foliar	Grupo	Tratamiento	Área foliar	Grupo
S2A3B3	10083	a	S2A2B1	6642	efg
S2A3B2	9055	ab	S1A3B3	6637	efg
S1A3B1	8833	abc	S1A1B2	6319	fgh
S2A2B3	8653	bc	S1A1B1	6106	fgh
S1A3B2	8298	bcd	S1A2B2	6058	fgh
S2A1B3	7799	bcde	S1A2B1	5949	gh
S2A2B2	7427	cdef	S2A1B2	5704	gh
S1A2B3	7140	defg	S1A1B3	5120	h
S2A3B1	6729	efg	S1A1B1	5054	h

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

ANEXO 14**Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) de la producción de materia seca de hojas (g.planta⁻¹)**

Tratamiento	Materia seca	Grupo	Tratamiento	Materia seca	Grupo
S2A3B3	37.0	a	S1A3B3	23.6	bcd
S1A3B2	26.5	b	S1A2B2	21.8	bcde
S2A1B3	26.4	b	S2A1B2	21.3	cde
S2A3B2	25.8	bc	S1A2B1	20.5	def
S2A2B3	15.0	bcd	S1A1B2	18.4	efg
S1A2B3	24.6	bcd	S2A1B1	16.5	fgh
S1A3B1	24.4	bcd	S1A1B1	15.2	gh
S2A2B2	24.3	bcd	S1A1B3	14.9	gh
S2A2B1	23.9	bcd	S2A3B1	12.8	h

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

ANEXO 15

Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) del rendimiento inicial de los niveles de parcela grande en cada nivel de parcela chica (ton/ha)

Subparcela	Parcela	Rendimiento	Grupo
A1B1	E1	15.2	a
A1B1	E2	16.5	a
A1B2	E1	18.4	b
A1B2	E2	21.3	a
A1B3	E1	14.9	b
A1B3	E2	26.4	a
A2B1	E1	20.5	b
A2B1	E2	23.9	a
A2B2	E1	21.8	b
A2B2	E2	24.3	a
A2B3	E1	26.4	a
A2B3	E2	25.0	a
A3B1	E1	24.4	a
A3B1	E2	12.8	b
A3B2	E1	26.5	a
A3B2	E2	25.8	a
A3B3	E1	23.6	b
A3B3	E2	37.0	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

ANEXO 16

Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) de la concentración de CO₂ en el suelo (ppm)

Tratamiento	[CO ₂]	Grupo	Tratamiento	[CO ₂]	Grupo
S1A3B2	677	a	S2A1B2	548	a
S1A1B2	641	a	S1A2B1	528	a
S2A2B1	640	a	S2A3B2	524	a
S2A3B3	627	a	S1A2B2	510	a
S1A3B1	606	a	S2A2B2	505	a
S2A1B3	588	a	S2A1B1	483	a
S2A3B1	582	a	S1A3B3	470	a
S1A1B3	568	a	S2A2B3	457	a
S1A2B3	559	a	S1A1B1	451	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

ANEXO 17**Costo de producción por hectárea del cultivo de tomate de cáscara con fertigación para 1996 (Pesos mexicanos)**

	Cantidad	Precio unitario	N° de jornales	Gasto
Semilla (gr)	200			100
Almácigo				
Preparación		30	1	30
Siembra		30	1	30
Deshierbos		30	2	60
Riegos		30	3	90
Aplicación de P.Q.		30	1	30
Otros (fertilizantes, P.Q.)				300
Campo definitivo				
Preparación de terreno				1000
Trasplante		30	15	450
Replante		30	2	60
Cintas de goteo				6000
Riego (60 riegos)		30	20	600
Preparación de solución nutritiva		30	8	240
Fertilizantes				
Nitrato de calcio (bolsas de 50 kg)	8	190		1520
Nitrato de potasio (bolsas)	10	210		2100
Sulfato de magnesio (Bolsas)	8	100		800
Ácido fosfórico (L)	60	15		900
Nitrato de amonio (bolsas)	4	150		600
Fosfato de amonio (bolsas)	3	150		450
Bayletón (L)	1	500		500
Lannate (Kg)	6	100		600
Tamarón (L)	2	85		170
Adherente (L)	1	40		40
Aplicación de P.Q.		30	12	360
Deshierbo manual		30	20	600
Cultivo				500
Cosechas (5)		30	100	3000
Alquiler de terreno (hectárea)				4000
Sub total (Nuevos pesos)				25130
Otros (10%)				
Gran total (Nuevos pesos)				27643

La cinta de riego se usa en dos períodos de producción

ANEXO 18**Costo de producción por hectárea de las diversas técnicas de cultivo en el tomate de cáscara (Pesos mexicanos)****Acolchados plásticos :**

	Cantidad	Precio unitario	N° de jornales	Gasto
Polietileno (kg)	500	15.5		7750
Perforado del plástico		30	8	240
Puesta del plástico		500		500
Retirado del plástico		30	20	600
Deshierbo con herbicidas				460
Sub total				9550
(-) Labores de cultivo		600		600
(-) Deshierbo manual		30	10	300
TOTAL				8650

Manejo en espaldera :

	Cantidad	Precio unitario	N° de jornales	Gasto
Parantes de madera	3500	2.5		8750
Fijado de parantes		30	30	900
Conducción de plantas		30	60	1800
Hilo de plástico (Kg)				1500
TOTAL				12950

Aplicación de bióxido de carbono (300 ppm) :

	Cantidad	Precio unitario	N° de jornales	Gasto
Tanque de bióxido de carbono	9	120		1080
Tambos de dilución	3	500		1500
Mano de obra	30	20		600
Total				3180

Aplicación de bióxido de carbono (1200 ppm) :

	Cantidad	Precio unitario	N° de jornales	Gasto
Tanque de bióxido de carbono	30	120		3600
Tambos de dilución	3	500		1500
Mano de obra	30	20		600
Total				5700

ANEXO 19

Datos de campo de variables evaluadas con el Diseño en Bloques Completos al Azar con arreglo en parcelas divididas.

Biox.	Acolc.	Sistem.	Rep.	V-1	V-2	V-3	V-4	V-5	V-6	V-7	V-8
B1	A1	S1	1	18.33	43.93	35.4	7.2	13.5	5363	415	8.6
B1	A1	S1	2	19.37	45.57	32.4	6.2	16.2	6298	487	13.2
B1	A1	S1	3	17.87	41.67	28.3	8.4	14.6	6088	426	16.8
B1	A1	S1	4	19.91	40.16	26.2	5.4	16.4	6675	476	9.7
B1	A1	S2	1	18.70	58.40	30.1	5.4	16.5	4491	566	11.8
B1	A1	S2	2	17.79	53.09	28.0	7.0	18.5	5121	560	14.7
B1	A1	S2	3	14.95	47.75	29.0	8.8	17.6	5874	396	11.1
B1	A1	S2	4	19.22	54.62	27.3	8.2	13.5	4731	412	11.9
B1	A2	S1	1	25.01	78.41	38.2	6.4	22.8	6615	582	5.8
B1	A2	S1	2	27.18	75.98	34.0	8.2	20.2	5846	478	9.1
B1	A2	S1	3	22.11	70.41	35.4	11.0	19.6	5675	476	10.2
B1	A2	S1	4	31.79	77.59	30.7	11.6	19.5	5661	575	9.4
B1	A2	S2	1	19.32	74.02	33.3	7.2	28.4	7896	729	19.2
B1	A2	S2	2	24.57	79.67	36.6	10.4	20.6	5740	631	12.2
B1	A2	S2	3	23.82	79.22	36.0	4.8	22.4	6186	659	8.0
B1	A2	S2	4	20.20	76.60	31.1	10.2	24.3	6747	541	9.5
B1	A3	S1	1	28.95	75.15	37.3	6.4	25.3	8543	704	5.0
B1	A3	S1	2	27.50	77.50	29.6	7.4	23.8	9238	465	10.8
B1	A3	S1	3	31.33	74.23	31.2	6.2	27.9	8974	537	6.6
B1	A3	S1	4	29.34	69.34	29.9	9.2	20.5	8576	718	6.5
B1	A3	S2	1	23.08	81.68	33.4	6.2	13.7	6745	606	15.5
B1	A3	S2	2	24.15	76.55	34.5	5.8	12.4	7368	510	15.7
B1	A3	S2	3	20.70	69.70	33.6	8.2	12	6273	652	7.9
B1	A3	S2	4	23.54	76.14	31.6	9.0	13	6529	559	10.3
B2	A1	S1	1	18.05	44.25	33.7	6.0	18.7	6405	738	7.3
B2	A1	S1	2	16.67	42.37	28.7	5.4	16.8	5780	544	9.7
B2	A1	S1	3	16.35	43.05	28.6	6.1	18.6	6374	526	8.2
B2	A1	S1	4	17.99	38.69	28.5	7.6	19.6	6717	756	9.1
B2	A1	S2	1	17.69	40.71	27.9	6.0	19.9	5330	681	11.1
B2	A1	S2	2	16.38	37.21	31.1	7.2	23.2	6232	593	11.5
B2	A1	S2	3	14.94	42.44	28.2	8.4	19.6	5252	463	10.9
B2	A1	S2	4	15.60	38.20	26.2	6.6	22.4	6002	455	11.7
B2	A2	S1	1	25.87	74.57	37.7	5.0	21.1	5916	683	5.4
B2	A2	S1	2	31.89	76.79	33.0	6.6	20.1	5936	413	9.7
B2	A2	S1	3	26.80	76.50	30.5	10.2	23.3	5977	404	12.1
B2	A2	S1	4	28.25	82.35	30.1	9.4	22.7	6403	539	9.7

Biox=aplicación radical de bióxido de carbono con tres niveles : B1=sin aplicación adicional de CO₂, B2=300 ppm de CO₂, 1200 ppm de CO₂; Acolc=Uso de acolchados plásticos con tres niveles : A1=testigo(sin acolchado), A2=acolchado blanco/negro, A3=acolchado transparente; Sistem=Sistema de manejo con dos niveles : S1=manejo en piso, S2=manejo en espalderas. Se tuvieron 4 repeticiones de cada combinación de niveles. V-1=rendimiento inicial de frutos en ton/ha (2 primeras cosechas), V-2=rendimiento total de frutos (ton/ha), V-3=peso promedio de un fruto en las cinco cosechas (gramos), V-4=porcentaje de acidez en hojas (%), V-5=peso de materia seca de hojas (g.planta⁻¹), V-6=área foliar (cm².planta⁻¹), V-7=concentración de CO₂ en la solución del suelo (ppm), V-8=tasa de fotosíntesis aparente (μmol m⁻² s⁻¹).

...continua

... Viene

ANEXO 19**Datos de campo de variables evaluadas con el Diseño en Bloques Completos al Azar con arreglo en parcelas divididas.**

Biox.	Acolc.	Sistem.	Rep.	V-1	V-2	V-3	V-4	V-5	V-6	V-7	V-8
B2	A2	S2	1	25.46	81.36	36.6	5.8	24.3	6970	749	9.2
B2	A2	S2	2	24.78	78.48	33.3	7.4	22.2	7389	444	11.2
B2	A2	S2	3	23.64	78.64	30.9	10.8	26.9	7575	420	7.4
B2	A2	S2	4	19.97	71.87	31.8	10.2	23.6	7773	407	8.8
B2	A3	S1	1	28.05	71.25	36.9	6.8	25.6	8566	643	11.9
B2	A3	S1	2	23.40	79.00	37.6	5.0	27.2	7028	552	7.4
B2	A3	S1	3	25.95	78.05	33.7	7.8	26.8	8918	604	8.0
B2	A3	S1	4	26.73	76.53	30.2	6.0	26.2	8679	910	8.8
B2	A3	S2	1	21.45	74.55	35.4	5.4	27.1	9663	646	10.1
B2	A3	S2	2	23.88	80.88	34.8	6.8	24.5	7957	497	10.8
B2	A3	S2	3	24.95	83.35	33.1	14.6	26.4	9456	388	10.2
B2	A3	S2	4	22.13	76.53	28.4	10.0	25.2	9145	565	8.0
B3	A1	S1	1	18.69	44.32	31.5	5.6	14.3	4894	551	11.1
B3	A1	S1	2	18.90	39.20	31.5	11.0	15.9	5447	523	8.4
B3	A1	S1	3	18.39	42.49	25.8	8.4	16.4	5635	543	11.2
B3	A1	S1	4	23.36	45.76	28.1	11.6	13.1	4506	656	9.9
B3	A1	S2	1	18.79	56.49	34.4	5.8	24.6	7270	574	9.4
B3	A1	S2	2	14.95	45.55	31.6	8.2	28.6	8440	680	10.1
B3	A1	S2	3	11.35	43.75	26.2	11.0	25.9	7645	509	9.0
B3	A1	S2	4	12.75	47.35	29.3	7.6	26.5	7840	590	10.0
B3	A2	S1	1	25.78	76.68	33.3	5.4	26.4	7645	661	12.8
B3	A2	S1	2	25.21	77.31	33.3	5.4	22.3	6473	526	10.1
B3	A2	S1	3	23.94	81.84	36.2	9.2	24.3	7059	396	11.9
B3	A2	S1	4	30.26	85.36	33.5	9.4	25.5	7384	652	9.6
B3	A2	S2	1	24.74	81.24	38.2	10.6	25	8961	405	6.2
B3	A2	S2	2	26.07	88.37	35.0	6.0	27.5	8575	612	16.3
B3	A2	S2	3	27.30	85.10	35.2	7.2	22.5	9217	378	6.9
B3	A2	S2	4	26.71	80.41	33.9	8.0	24.9	7860	432	10.5
B3	A3	S1	1	23.49	64.59	33.1	7.2	21.9	6154	624	9.8
B3	A3	S1	2	28.35	67.05	33.2	9.2	26.5	7467	335	8.5
B3	A3	S1	3	31.57	65.37	31.0	6.6	23	6478	431	8.2
B3	A3	S1	4	21.57	56.07	27.1	7.6	22.9	6447	491	9.5
B3	A3	S2	1	24.85	79.15	36.1	6.0	37.5	10209	645	16.9
B3	A3	S2	2	21.95	74.05	32.4	8.6	38.6	10519	698	11.8
B3	A3	S2	3	23.67	75.47	34.1	7.4	36	9811	579	11.3
B3	A3	S2	4	24.13	69.83	31.1	6.4	35.9	9795	586	13.4

Biox=aplicación radical de bióxido de carbono con tres niveles : B1=sin aplicación adicional de CO₂, B2=300 ppm de CO₂, 1200 ppm de CO₂; Acolc=uso de acolchados plásticos con tres niveles : A1=testigo(sin acolchado), A2=acolchado blanco/negro, A3=acolchado transparente; Sistem=sistema de manejo con dos niveles : S1=manejo en piso, S2=manejo en espalderas. Se tuvieron 4 repeticiones de cada combinación de niveles. V-1=rendimiento inicial de frutos en ton/ha (2 primeras cosechas), V-2=rendimiento total de frutos (ton/ha), V-3=peso promedio de un fruto en las cinco cosechas (gramos), V-4=porcentaje de acidez en hojas (%), V-5=peso de materia seca de hojas (g.planta⁻¹), V-6=área foliar (cm².planta⁻¹), V-7=concentración de CO₂ en la solución del suelo (ppm), V-8=tasa de fotosíntesis aparente (μmol m⁻² s⁻¹).