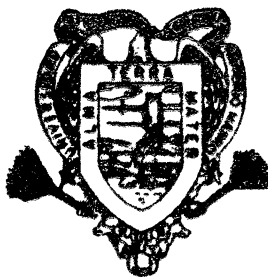


**ANALISIS DE LOS COMPONENTES DEL BALANCE
DE ENERGIA EN EL CULTIVO DE MELON
(Cucumis melo L.) CON ACOLCHADO PLASTICO**

JUAN PLUTARCO MUNGUIA LOPEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
AREA: SISTEMAS DE PRODUCCION**



**Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"**

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenvista, Saltillo, Coah.

NOVIEMBRE DEL 2000

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

**ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DEL BALANCE DE ENERGÍA
EN EL CULTIVO DE MELÓN (*Cucumis melo* L.) CON ACOLCHADO
PLÁSTICO.**

POR

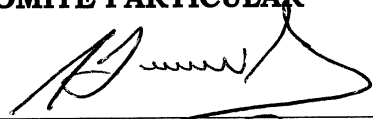
JUAN PLUTARCO MUNGUÍA LÓPEZ.

**Elaborado bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y
aprobada como requisito parcial, para optar al grado de:**

**DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
AREA: SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**

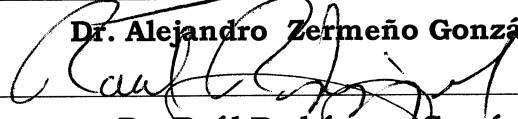
COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal



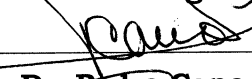
Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor:



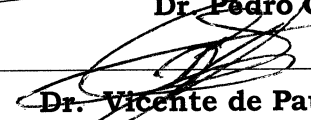
Dr. Raúl Rodríguez García

Asesor:



Dr. Pedro Cano Ríos

Asesor:

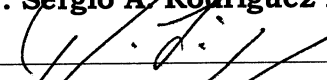


Dr. Vicente de Paúl Álvarez Reyna

Asesor



Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera



Dr. Ramiro López Trujillo

Subdirector de Postgrado.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Noviembre de 2000

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a las siguientes instituciones y personas que colaboraron en la realización del presente trabajo de investigación.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), por darme la oportunidad de superarme en mi formación profesional. Al Dr. Luis Francisco Ramos del Valle. Director General del Centro y al M.C. Rogelio René Ramírez V. Director de la División de Ingeniería de Procesado de Plástico.

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN) y al Departamento de Riego y Drenaje, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado

A la Universidad Estatal de Utah USA y al Dr. Lawrence E. Hipps por su apoyo y facilidades otorgadas para la realización de este trabajo de investigación.

A mis asesores por su apoyo, disposición, sugerencias y consejos: Dr Alejandro Zermeño G., Dr. Raúl Rodríguez G., Dr. Pedro Cano R., Dr. Vicente de Paul Alvarez R. y al Dr. Sergio A. Rodríguez H. Quienes con su amplia experiencia y conocimientos facilitaron la culminación de este trabajo de investigación.

A todos Gracias por los conocimientos compartidos

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por permitirme concluir una meta mas de mi vida profesional.

Con profundo respeto, admiración y amor a mis Padres:

M^a del Rosario López de Munguía
Juan Munguía Contreras.

Quienes siempre me han apoyado en todas las actividades que he emprendido y me han trasmitido los valores necesarios de una buena formación personal, familiar y profesional.

A mi esposa M^a Rosario Quezada y mi hija Lucia, por su apoyo y compresión brindado en todo momento durante la realización de mis estudios.

A mis hermanos que siempre han estado cerca de mí:

M^a del Refugio
Andrés
Hilaria
Pablo
M^a del Rosario
Antonia
M^a Guadalupe
Irene
Marcelina

A todos mi profundo respeto y agradecimiento

COMPENDIO

Análisis de los Componentes del Balance de Energía en el Cultivo de Melón (*cucumis melo* L.) con Acolchado Plástico.

POR

JUAN PLUTARCO MUNGUÍA LÓPEZ

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

AREA: SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, NOVIEMBRE, 2000.

Dr. Alejandro Zermeño González - Asesor -

***Palabras Clave:* Acolchado plástico, balance de energía, estaciones eddy.**

El melón es una de las hortalizas más importantes en México. Esto debido a la gran demanda de mano de obra para el establecimiento, manejo y cosecha, además de ser una fuente importante de divisas por su venta en el extranjero. El uso de acolchado plástico en cultivos hortícolas se ha incrementado significativamente en los últimos años. El acolchado de suelos incrementa la temperatura del suelo, reduce la incidencia de

maleza, reduce las pérdidas de agua por evaporación directa desde la superficie del suelo y todo esto trae como consecuencia incremento en el rendimiento y calidad de las cosechas (Bella, 1998; Maiero *et al.*, 1987; Wien y Minotti, 1998 y Zermeño *et al.*, 1998). Otros estudios han encontrado que las características espectrales de la radiación reflejada de algunas películas pueden afectar la temperatura de las hojas de los cultivos y modificar la transpiración (Ham *et al.*, 1991)

La mayoría de los estudios conducidos han realizado mediciones del efecto del acolchado plástico en el incremento de la temperatura del perfil superior del suelo y su efecto en el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Zermeño *et al.*, 1998; Battikhi y Ghawi, 1987). Sin embargo la presencia del acolchado plástico en la superficie del suelo, tiene efecto significativo en todos los componentes de la ecuación de balance de energía. La ecuación del balance de energía sobre una cubierta vegetal, eliminando los términos misceláneos puede escribirse de la siguiente manera:

$$R_n = H + LE + G. \quad (1)$$

Donde R_n es la radiación neta, H es el flujo de calor sensible, LE es el flujo de calor latente y G es el flujo de calor en el suelo. El flujo de calor sensible y latente pueden ser medidos usando las

estaciones eddy (Stull, 1988) de acuerdo con las siguientes expresiones matemáticas:

$$H = \rho_a C_p \overline{W'T'} \quad (2)$$

$$LE = \lambda \overline{W\rho_v} \quad (3)$$

Donde ρ_a es la densidad del aire, C_p es la capacidad calorífica del aire, λ es el calor latente de evaporización $\overline{W'T'}$ es la covarianza entre la velocidad vertical del viento y la temperatura del aire y $\overline{W\rho_v}$ es la covarianza entre la velocidad vertical del viento y la densidad del vapor de agua. Varios estudios han medido los componentes del balance de energía en cultivos sin acolchado de suelo (Dugas *et al.*, 1991; Malek *et al.*,1992; McAneney *et al* 1994; Zermeño y Higgs, 1997). Sin embargo la presencia de la película de plástico en la superficie del suelo cambia el albedo o el índice de reflectividad a la radiación solar, reduce la pérdida de agua por evaporación desde la superficie del suelo e incrementa la temperatura del perfil superior del suelo, estos cambios afectan la radiación neta y el flujo de calor en el suelo. Por lo tanto el objetivo de este estudio fue analizar el efecto del acolchado de suelo con película de plástico de color negro en los componentes del balance de energía en el cultivo de melón.

El estudio de campo se realizó en una superficie de 10 ha de melón, localizado en el Rancho Los Arrepentidos, en Paila,

Coahuila, México. La fecha de siembra fue el 7 de abril de 1998 usando el híbrido Cruiser F1, las semillas se depositaron en camas de 1.83 cm de ancho por 200 m de largo, la distancia entre plantas fue de 20 cm. El acolchado plástico utilizado fue polietileno negro de 20 micras de espesor y 1.2 m de ancho. Toda la superficie fue irrigada el mismo tiempo, el riego fue aplicado cada tercer día con la finalidad de mantener el suelo cerca de capacidad de campo en las etapas iniciales del cultivo.

Los componentes de la ecuación del balance de energía se midieron usando dos estaciones eddy. Una estación eddy fue colocada en una superficie aproximada de una hectárea y la otra estación fue colocada en una superficie de nueve hectáreas con acolchado de suelo. Ambas estaciones fueron colocadas en la parte Oeste del terreno con la finalidad de tener el suficiente fetch, dado que los vientos dominantes provenían del Este. Cada estación consistió de un anemómetro sonico, un girómetro de Kriptón y un termopar de alambre fino. En cada estación también se midió la radiación neta, el flujo de calor en el suelo y el contenido de humedad en el suelo. El flujo de calor en el suelo se calculo ponderando la superficie que formaba las camas y la superficie que formaba los pasillos. La velocidad y dirección del viento también se midió en la estación que estaba en la sección

acolchada Las estaciones estuvieron trabajando desde el 15 de abril hasta el 7 de julio y se obtenían promedios cada 20 minutos de radiación neta, flujo de calor en el suelo, flujo de calor latente y flujo de calor sensible, así como velocidad del viento, dirección del viento y contenido de humedad en el suelo.

Los componentes del balance de energía (Radiación neta R_n , Flujo de calor latente LE , flujo de calor sensible H y flujo de calor en el suelo G) a los 20, 40, 60 días después de siembra. En estos días se puede notar que la radiación neta es mayor en la sección con acolchado plástico que en el control a través de todo el ciclo de cultivo, lo cual indica que las propiedades espectrales de las películas de polietileno tienen un efecto significativo en el balance de radiación de onda corta y larga. El flujo de calor latente (LE) es mas alto en el control en los días 20 y 40 después de siembra, esto debido a la gran superficie evaporativa en la sección que no tenía acolchado de suelos. Sin embargo a los 60 días después de siembra el flujo de calor latente es mayor en la sección con acolchado, esto es debido a la mayor transpiración en el cultivo causado por el acolchado de suelos y el mayor desarrollo del cultivo.

El flujo de calor sensible (H) en mayor en la sección con acolchado de suelo a los 20 y 40 días después de siembra, lo cual

es debido a la alta temperatura de la superficie inducida por la películas de plástico de color negro, que incrementa la diferencia de temperaturas entre la superficie y el aire. Sin embargo a los 60 días después de siembra, H es aproximadamente igual en las dos secciones. Esto puede ser debido al desarrollo vegetativo del cultivo que intercepta una mayor cantidad de radiación neta y consecuentemente menor cantidad de radiación alcanza la superficie el plástico del acolchado, lo cual reduce la diferencia de temperaturas entre el plástico y el aire. No se detectaron diferencias apreciables en el flujo de calor en el suelo entre la sección que tenía acolchado y la que no tenía acolchado, en los días analizados, esto debido a que la parte de pasillos que permaneció todo el ciclo de cultivo seca represento un gran porcentaje de la superficie de estudio en la sección acolchado y en la sección sin acolchado.

Los resultados de este estudio sugieren que las propiedades espectrales de la película polietileno tienen un apreciable efecto en el balance de radiación de onda corta y larga que incrementa la radiación neta en la sección con acolchado de suelo. En las primeras etapas de desarrollo del cultivo el acolchado plástico reduce el flujo de calor latente, debido a que evita la pérdida de agua por evaporación, sin embargo cuando el cultivo está en pleno

desarrollo el flujo de calor latente es mayor en la sección acolchada, debido al mayor desarrollo del cultivo y a que con el acolchado de suelo se incrementa la transpiración del cultivo.

ABSTRACT

Analysis of Energy Balance Components on the Muskmelon Crop
(*Cucumis melo* L.) with Plastic Mulch.

BY

JUAN PLUTARCO MUNGUÍA LÓPEZ

DOCTOR OF SCIENCE

PRODUCTION SYSTEMS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, NOVEMBER 2000

Alejandro Zermeño-Gonzalez, Ph.D. - Advisor -

Keywords: Plastic mulch; energy balance; eddy covariance

Muskmelon is one of the most important vegetable crops of Mexico. It demands a considerable amount of labor for its establishment, growth and harvest, and is a very important source of income for the growers in the national as well as the international markets. The use of plastic mulches for the growth of vegetable crops has increased significantly in the last few years. It has been shown that the use a plastic mulch increases the top soil temperature, reduces the soil surface evaporation, reduces the

incidence of weeds, which in turn advances harvest maturity, increases yields and improves the quality of the fruits (Bhella, 1988; Maiero et al., 1987; Wien and Minotti, 1998 and Zermeño *et al.*, 1998). Other studies have found that the spectral characteristics of the reflected radiation of some plastic films may affect the temperature of the plant leaves which may affect the crop transpiration (Ham *et al.*, 1991).

Most of the conducted studies have measured the effect of a plastic mulch in the increase of the upper soil temperature and its effects in the growth and yield of crops (Zermeño *et al.* 1998 and Battikhi and Ghawi, 1987). However, the presence of a plastic mulch on the soil surface will have a significant effect in all components of the energy balance equation. The energy balance equation over a vegetated surface, neglecting the miscellaneous terms can be written as:

$$R_n = H + LE + G \quad (1)$$

Where R_n is net radiation, H is sensible heat flux, LE is latent heat flux and G is soil heat flux at the surface. The sensible and latent heat flux can be measured by using the eddy covariance technique (Stull, 1988) according to the following relations.

$$H = \rho_a C_p \overline{W'T'_a} \quad (2)$$

$$LE = \lambda \overline{W'\rho'_v} \quad (3)$$

Where ρ_a is the air density, C_p is the air heat capacity, λ is the latent heat of vaporization, $\overline{W'T'_a}$ is the covariance between the vertical wind speed and the air temperature and $\overline{W'\rho'_v}$ is the covariance between the vertical wind speed and the density of water vapour. Several studies have measured the energy balance components over agricultural crops with without plastic mulch (Dugas *et al* , 1991; Malek *et al.*, 1992; McAneney *et al.*,1994 and Zermeño-Gonzalez and Hipps, 1997). However, a plastic film changes the albedo or solar radiation reflectivity index, reduces the soil surface evaporation and increases the top soil temperature, this in turn will affect the net radiation and soil heat flux which also affect the sensible and latent heat flux. The objective of this study was to analyze the effect of a black plastic mulch in the components of the energy balance of a muskmelon crop.

The field study was conducted in a 10 has surface of muskmelon located in the farm Los Arrepentidos county of Paila Coahuila, Mexico. Sowing was established on April 7, 1988 using

the muskmelon hybrid Cruiser F1, the seeds were deposited in beds of 1.83 m wide by 200 m long and 0.20 m between seeds to give a population of 28000 plants/ha. The plastic mulch used was a black polyethylene film of 20 μm thick and 1.2 m wide. All surfaces were irrigated at the same time with a T-Tape. Irrigation was applied every other day to sustain a soil water content close to field capacity.

The components of the energy balance equation were measured using two eddy covariance stations. One eddy station was located in a surface of around 1 ha with without plastic mulch, the other station was located in a surface of around 9 has with plastic mulch. Both station were placed in the west side of the field to have enough fetch for easterly winds. Each station consisted of one dimensional sonic anemometer, one krypton hygrometer and a fine wire thermocouple. Net radiation, soil heat flux and soil water content was also measured at each station. Soil heat flux was calculated as the surface weight average of the heat flux in the wet and dry part of the beds. Wind speed and direction was also measured in the station located in plastic mulch section. The stations were working from April 15 to July 7 and output average 20-minute values of net radiation, soil heat flux, sensible and latent

heat flux, as well as wind speed and direction and soil water content.

The energy balance components (net radiation R_n , sensible heat flux H , latent heat flux LE and soil heat flux at the surface G) at 20, 40 and 60 days after sowing in the control field (without plastic mulch) and the field with plastic mulch. The days presented here represent the development, flowering and maturity of the growing season. Note that net radiation is higher in the plastic mulch field than in the field with without plastic mulch throughout the crop growing season, which indicates that the spectral properties of the polyethylene film had a significant effect in the short and long wave radiation balance. It was observed that latent heat flux (LE) is higher in the control field at 20 and 40 days after sowing, this due to a higher soil surface evaporation in the field with without plastic mulch. However, at 60 days after sowing, the latent heat flux is higher in the field with plastic mulch, due to a higher crop transpiration caused by a greater crop foliage development in this field.

The sensible heat flux (H) was higher in the field with plastic mulch at 21 and 40 days after sowing, which was due to a higher

surface temperature induced by the black plastic mulch that increased the difference between the surface and the air temperature. However, at 60 days after sowing, H is approximately equal in both fields. Probably be due to the growing of the crop foliage that was intercepting more solar radiation and consequently, less radiation was reaching the polyethylene film, which reduced the surface-air temperature. No appreciable differences in surface soil heat fluxes were observed between the control and the plastic mulch field in the three days analysed. Because the dry part of the beds represented a major percentage of the control and plastic mulch field, the soil heat flux in the wet part of the beds with and without plastic mulch had a minor effect in the surface weight average soil heat flux.

The results of this study suggest that the spectral properties of a black polyethylene film has an appreciable effect in the short and long wave radiation balance that increases the net radiation over a muskmelon crop. At the first stages of the crop growing season, the plastic mulch reduces the latent heat flux, due to a reduced soil surface evaporation, however at full foliage development, the latent heat flux in the field with plastic mulch is

higher due to a greater foliage development under plastic mulch that induced a higher crop transpiration.

The sensible heat flux was higher in the plastic mulch field at the first stages of the crop growing due to a higher surface temperature induced by the black plastic mulch, however at full foliage development, the sensible heat flux at both fields is approximately equal. This was due to a higher solar radiation interception by the crop foliage at both fields that reduced the solar radiation that was reaching the surface so that the surface-air temperature difference was approximately equals at both fields. Because the dry part of the beds represented a high percentage of the area at both fields (with and with out plastic mulch), no appreciable differences in the weight average soil heat flux.

INDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS.....	xxi
INDICE DE FIGURAS.....	xxiii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Generalidades del Melón.....	5
Origen.....	5
Descripción botánica.....	6
Requerimientos climáticos.....	10
Requerimientos de suelo.....	12
Requerimientos hídricos	13
Clasificación del fruto.....	14
Generalidades en el Uso de Plásticos en la Agricultura...	16
Propiedades ópticas de los plásticos.....	16
Efecto del acolchado en la temperatura del perfil superior del suelo.....	20
Efecto en la radiación reflejada.....	26
Efecto en la humedad del suelo.....	28
Efecto en el control de maleza.....	29
Efecto en el rendimiento y precocidad del cultivo....	30
Componentes del Balance de Energía	31
Radiación neta.....	32
Flujo de calor latente.....	38
Flujo de calor sensible.....	40
Flujo de calor en el suelo.....	43

Métodos Micrometeorológicos para Medir Flujos de Calor y Vapor de Agua.....	46
Descripción de los sistemas de la relación Bowen (EBBR) y estaciones eddy (EC).....	49
Medición de flujos de vapor de agua y calor en superficies vegetales.....	61
MATERIALES Y METODOS	79
Localización del Trabajo de Campo.....	79
Características Edáficas y de Vegetación de la Región...	79
Establecimiento del Trabajo de Campo.....	82
Manejo Agronómico del Cultivo.....	82
Instalación de las Estaciones eddy.....	83
Medición de los Componentes del Balance de Energía....	84
Medición de la Temperatura de la Superficie.....	86
Recolección de Datos en Campo.....	86
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	88
Componentes del Balance de Energía.....	89
Radiación Neta.....	91
Flujo de Calor Latente.....	94
Flujo de Calor Sensible.....	98
Flujo de Calor en el Suelo.....	100
Temperatura Aparente de la Superficie.....	111
Partición de Energía Disponible.....	111
CONCLUSIONES.....	114
LITERATURA CITADA.....	116

Cuadro	INDICE DE CUADROS	Pagina
2.1	Variables climáticas para el cultivo de melón (Valadez 1994).....	11
2.2	Propiedades ópticas de varias superficies.....	35
3.1	Análisis físico-químico del suelo en el sitio experimental en Paila, Coah., 1998.....	81
4.1	Valores de Evapotranspiración en mmdía^{-1} en el cultivo de melón.....	96
4.2	Componentes de la ecuación del balance de energía (Wm^{-2}), velocidad (ms^{-1}) y dirección de viento a los 20 días después de siembra en el cultivo de melón.....	106
4.3	Componentes de la ecuación del balance de energía (Wm^{-2}), velocidad del viento (ms^{-1}) y dirección del viento a los 33 días después de siembra en el cultivo de melón.....	107
4.4	Componentes de la ecuación del balance de energía (Wm^{-2}), velocidad del viento (ms^{-1}) y dirección de viento a los 40 días después de siembra en el cultivo de melón.....	108

4.5	Componentes de la ecuación del balance de energía (Wm^{-2}), velocidad del viento (ms^{-1}) y dirección del viento a los 53 días después de siembra en el cultivo de melón.....	109
4.6	Componentes de la ecuación del balance de energía en (Wm^{-2}), velocidad del viento (ms^{-1}), a los 60 días después de siembra en el cultivo de melón	110
4.7	Temperatura aparente de la superficie del, de las camas de cultivo y entre las camas en el cultivo de melón.....	111
4.8	Valores integrados desde las 8:00 hrs hasta las 20:00 hrs de LE/Rn, H/Rn y G/Rn a los 20,40 y 60 días después de siembra con acolchado y sin acolchado en el cultivo de melón.....	112

FIGURA

INDICE DE FIGURAS

2.1	Relación de días con temperatura del suelo en la emergencia de semillas de melón.....	12
2.2	Cambios en la rugosidad de la superficie vientos arriba y advección horizontal.....	54
3.1	Croquis de campo con la ubicación de las estaciones eddy (a) y los termopares y platos de flujo de calor (b) en condiciones de acolchado y no acolchado en el cultivo de melón.....	84
4.1	Valores medidos de radiación neta (R_n), flujo de calor sensible(H), flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), a los 20 días después de siembra, en el cultivo de melón con y sin acolchado de suelo.....	101
4.2	Valores medidos de radiación neta (R_n), flujo de calor sensible(H), flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), a los 33 días después de siembra (superior) y a los 40 días después de siembra (inferior), en el cultivo de melón con y sin acolchado de suelo.....	102
4.3	Valores medidos de radiación neta (R_n), flujo de calor sensible(H), flujo de calor latente (LE) y	

flujo de calor en el suelo (G), a los 53 días después de siembra (superior) y a los 60 días después de siembra (inferior), en el cultivo de melón con y sin acolchado de suelos..... 103

4.4 Valores del contenido volumétrico de humedad en el suelo ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) a los 19, 20 y 21 días después de siembra (superior) y a los 32, 33 y 34 días después de siembra (inferior) en el cultivo de melón con y sin acolchado de suelo..... 104

4.5 Valores del contenido volumétrico de humedad en el suelo ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) a los 49, 50 y 51 días después de siembra (superior) y a los 59, 60 y 61 días después de siembra (inferior) en el cultivo de melón con y sin acolchado de suelo. 105

INTRODUCCIÓN.

El melón (*Cucumis melo* L) es una de las hortalizas de mayor importancia económica en México, debido a la gran demanda de mano de obra requerida en su manejo, cosecha, acarreo, selección y empaque. Además de la generación de divisas por su comercialización tanto en el mercado nacional como en el extranjero. El cultivo se caracteriza por desarrollarse en climas templados ya que requiere grandes cantidades de agua para su desarrollo. Sin embargo en el Norte de México, su producción es afectada por factores climáticos adversos como bajas temperaturas y escasez de agua que caracteriza a las regiones áridas. En México los principales estados productores de melón son Michoacán, Sinaloa, Coahuila, Durango, Oaxaca, Nayarit, Jalisco, Guerrero y Chiapas en los cuales se siembran alrededor de 24 mil hectáreas, en los estados restantes se siembran aproximadamente 3 mil hectáreas más. (Valadez, 1994).

En la Comarca Lagunera el melón es la hortaliza más importante ya que ocupa aproximadamente 5,108 hectáreas, con un volumen de la producción de 88,000 toneladas, y un

rendimiento promedio de 17.2 ton/ha, el destino de la producción es básicamente el mercado nacional, debido a que la producción se concentra en los meses de Junio a Agosto coincidiendo con la época de cosecha de Texas y California en USA, lo que impide su comercialización en el mercado extranjero.

El melón es un cultivo que responde notablemente al acolchado de suelo, la aplicación de esta técnica ha permitido, elevar la producción por unidad de superficie, incrementar la precocidad y rendimiento de los cultivos, mayor calidad de exportación, ahorro de agua, control de malezas y otros beneficios (Zapata *et al.*, 1989).

El acolchado plástico modifica el microclima e incrementa el rendimiento de los cultivos, sin embargo, los mecanismos biofísicos que inducen la respuesta de la planta al acolchado de suelos, el microclima que se crea en el cultivo por efecto de acolchado no han sido adecuadamente cuantificados. La mayoría de las investigaciones realizadas que demuestran los beneficios del acolchado de suelo se han realizado en parcelas pequeñas y únicamente se ha medido la temperatura del suelo, o se han realizado mediciones puntuales del contenido de humedad en el

suelo, para determinar los consumos de agua de los cultivos con acolchado plástico.

La presencia del acolchado plástico en la superficie del suelo de cultivo tiene efecto en todos los componentes del balance de energía. En varios estudios se han medido los componentes del balance de energía en cultivos agrícolas sin acolchado plástico (Dugas *et al.*, 1991; Malek *et al.* 1992; Mc Aneney *et al.*, 1994 y Zermeño and Hipps, 1997). La utilización de películas de polietileno para el acolchado de suelos cambia el albedo o el índice de reflectividad a la radiación solar, se reduce la superficie evaporativa e incrementa la temperatura del perfil superior del suelo. Este cambio afectará la radiación neta (R_n), el flujo de calor latente (LE), el flujo de calor sensible (H) y el flujo de calor en el suelo (G).

Los efectos termales del acolchado de suelo pueden ser interpretados en términos de la ecuación del balance de energía, pero pocos trabajos se han realizados para explicar los efectos térmicos de los acolchados en términos de las modificaciones de los componentes de balance de energía en la superficie y son poco conocidos los procesos de intercambio de energía entre los cultivos con acolchado plástico y el aire.

El objetivo de la presente investigación fue analizar el efecto del acolchado de suelo con película de plástico de color negro en los componentes del balance de energía en el cultivo de melón (*Cucumis melo* L). Para tener un mejor entendimiento del ambiente y su influencia sobre el cultivo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del Melón

Origen.

El melón ya era conocido desde antes de Cristo, a 300 años después de Cristo se encontraba muy extendido por Italia, ya en siglo XV había sido introducido en la mayoría de los países de Europa. Actualmente se siembra en países de todos los continentes, pero su producción esta centralizada principalmente en las regiones de clima caluroso (Marco, 1969).

Existen dos teorías del origen del melón, la primera señala que es originario del Este de África, al Sur del Sahara, encontrando los primeros testimonios en Egipto en el año 2400 AC (Whitaker y Bemis, 1974, Whitaker 1979). La segunda teoría menciona que el melón es originario de la India, del Beluchistán y de la Guinea donde se desarrollaron diferentes formas silvestres del cultivo, con frutos de diferentes tamaños desde un huevo hasta los melones serpientes (*Cucumis melo* L variedad *flexuosus*) de un metro de largo y 7 a 10 cm diámetro. Estudios realizados afirman que en el siglo XV se cultivaba en Islandia en 1494, en América Central en

1516 y en Estados Unidos hacia el año 1609. Fue en el siglo XVII que se desarrollaron las primeras formas carnosas que hoy se conocen y que la especie se extendió por todo el mundo. Otros autores mencionan como posible centros de origen a las regiones meridionales Asiáticas (Tamaro 1974, Zapata *et al.*, 1989).

El melón por su origen de clima templado, cálido y luminoso, suele presentar en condiciones normales de cultivo, una vegetación exuberante con tallos poco consistentes y tiernos que adquieren su mayor desarrollo en las estaciones secas y calurosas. Este cultivo esta ubicado dentro de la familia de las *Cucurbitáceas* y es una planta herbácea, anual y rastrera. La planta desarrolla raíces abundantes con un crecimiento rápido entre los 30 y 40 cm de profundidad del suelo, la raíz principal alcanza hasta un metro de profundidad, siendo sus raíces secundarias, mas largas que la principal y muy ramificadas. La región de exploración y absorción de éstas se encuentra entre los 40 y 45 cm de profundidad (Zapata *et al.*, 1989; Valadez, 1994).

Descripción Botánica

El melón es una planta herbácea, provista de zarcillos, con los cuales se adhiere ya sean del ámbito rastrero o trepador. La raíz principal llega hasta un metro de profundidad y las raíces

secundarias son más largas que la principal, llegando a medir hasta 3.5 m y ramificándose abundantemente. De la misma manera se afirma que en las primeras etapas de desarrollo (entre 1 y 30 días) el sistema de raíces del melón crece más rápido que el de la sandía y pepino. El tallo es trepador y está cubierto de vellos blancos; mencionan que las ramificaciones o sea los tallos primarios y secundarios son más cortos que los de la sandía (pueden llegar a medir 1.5 m (Valadez, 1997).

Valadez (1994) menciona que el tallo empieza a ramificarse después de que se ha formado la 5 ó 6 hoja, las hojas pueden estar divididas en tres o cinco lóbulos y pueden mostrar diferentes formas; redondas, raniformes, acorazonadas, triangulares y pentagonales. Otros autores las caracterizan como de tamaño variable, ásperas y más redondas que las del pepino. La planta tiene flores masculinas (estaminíferas) y flores femeninas (pistilíferas), sin embargo hay plantas con flores femeninas y hermafroditas y hay plantas con flores masculinas y hermafroditas. En los dos últimos casos las flores estaminíferas se encuentran sobre las axilas de las guías primarias y las flores pistilíferas sobre las guías secundarias y casi siempre sobre la axila de la primera hoja y las flores femeninas nacen solitarias; cuando hay flores hermafroditas también nacen solitarias. Las hojas son de borde entero y dentado,

estando provistas al igual que los tallos de pelos abundantes, por lo que resultan ásperas al tacto. Las flores son de color amarillo, apareciendo posteriormente las flores masculinas.

La planta de melón es extremadamente polimorfa, con tallos herbáceos y trepadores ayudados por zarcillos y están cubiertos de vellosidades blancas. Esta empieza a formar guías después de que se ha formado la quinta ó sexta hoja verdadera, además de que las hojas pueden estar divididas en tres o cinco lóbulos, están cubiertas por vellosidades y pueden mostrar formas tales como: redondeadas, reniformes, acordonadas, triangulares y pentagonales (Zapata *et al.*, 1989; Valadez, 1994). Las plantas son generalmente andromonoicas, aunque hay ginomonoicas y andromonoicas. Las flores masculinas aparecen antes que las femeninas y en grupos de tres o cinco flores en los nudos de las guías primarias y nunca en los nudos donde se encuentra una flor femenina o una flor hermafrodita, las cuales nacen solitarias. La planta produce más flores masculinas que femeninas y la proporción de flores de los diferentes tipos varían con las condiciones del clima (Luz y temperatura). Las flores son de color amarillo.

La polinización de las flores de melón se debe básicamente a los insectos, principalmente abejas y abejorros y la fecundación

puede ocurrir con polen de la misma flor (Autofecundación) con polen de flores de la misma planta (autopolonización) o con polen de flores de otras plantas (Polinización y fecundación cruzada). Los frutos alcanzan su madurez en condiciones favorables para el cultivo en 45 días después de su fecundación, presentando tamaños muy variados, dependiendo del cultivar. En cuanto a su forma, puede ser esférico, deprimida, oblonga, ovoidea u oval. Antes de madurar, el fruto tiene una superficie verde, adquiriendo conforme madura un color pardo o verde amarillo. La pulpa puede tener distintas coloraciones: blanca, amarilla, anaranjada o roja (Zapata *et al.*, 1989; Valadez, 1994). Actualmente se han desarrollado híbridos que tienen un período promedio a inicio de floración masculina y hermafrodita entre 38 a 45 días después de la siembra, mientras que las variedades son más tardías a inicio de floración hermafrodita, siendo de 49 días después de la siembra. El ciclo de cultivo de los híbridos y variedades oscila entre los 95 y 105 días. La cosecha se inicia a partir de los 75 a 85 días después de la siembra y el número de cortes varía en función de la fecha de siembra y en algunos casos del precio del melón en el mercado (Cano, 1990).

Requerimientos Climáticos

El melón es un cultivo de Clima cálido que no tolera bajas temperaturas. Para que exista buena germinación de las semillas debe de haber temperaturas mayores de 15 °C, con una temperatura óptima de 24 a 35 °C, con una máxima de 39 °C, la temperatura ideal para la floración se encuentra entre 20 y 23 °C y la óptima para el desarrollo debe estar en un rango de 25 a 30 °C, con un máximo de 32 °C y una mínima de 10 °C. Cuando la temperatura del aire es inferior a 13 °C, el desarrollo vegetativo se detiene y a 1°C la planta se hiela. Cuando el fruto se encuentra en etapa de maduración debe haber una relación entre la temperatura del día y la noche, en el día debe de registrarse temperaturas altas (>30 °C) y días largos (mucha iluminación) para favorecer la tasa fotosintética y por la noche presentarse temperaturas frescas (15.5 a 18 °C) para que disminuya la respiración de las plantas (Maroto, 1989; Zapata *et al.*, 1989; Valadez, 1994).

En las etapas tempranas de desarrollo de la planta, la humedad relativa debe ser de 65 a 75 por ciento en floración de 60 a 70 por ciento y en fructificación de 55 a 65 por ciento. Además es importante la cantidad de luz recibida por el cultivo, ya que su producción y calidad se incrementa si la iluminación aumenta. La

cantidad de horas Luz requeridas por el cultivo es de un mínimo de 15 horas al día. En el Cuadro 2.1 se muestran las variables climáticas para un buen desarrollo del cultivo de melón (Moroto, 1989; Zapata *et al.*, 1989; Valadez, 1994).

La germinación de las semillas puede efectuarse en un suelo con poca humedad, pero es más conveniente que el contenido de humedad del suelo esté próximo a capacidad de campo (Valadez, 1994).

Cuadro 2.1. Variables climáticas óptimas para el cultivo de melón (Valadez, 1994).

Fase de desarrollo	T _{mínima} °C	T _{máxima} °C	HR _{mínima} (por ciento)	HR _{máxima} (por ciento)
Germinación	28.0	32.0	65.0	75.0
Desarrollo Vegetativo	20.0	23.0	60.0	70.0
Floración	20.0	23.0	60.0	70.0
Fructificación	25.0	30.0	55.0	65.0

La relación entre temperatura del suelo y los días necesarios para la germinación de las semillas del cultivo de melón a 1.25 cm de profundidad se muestra en la Figura 2.1 (Valadez, 1994).

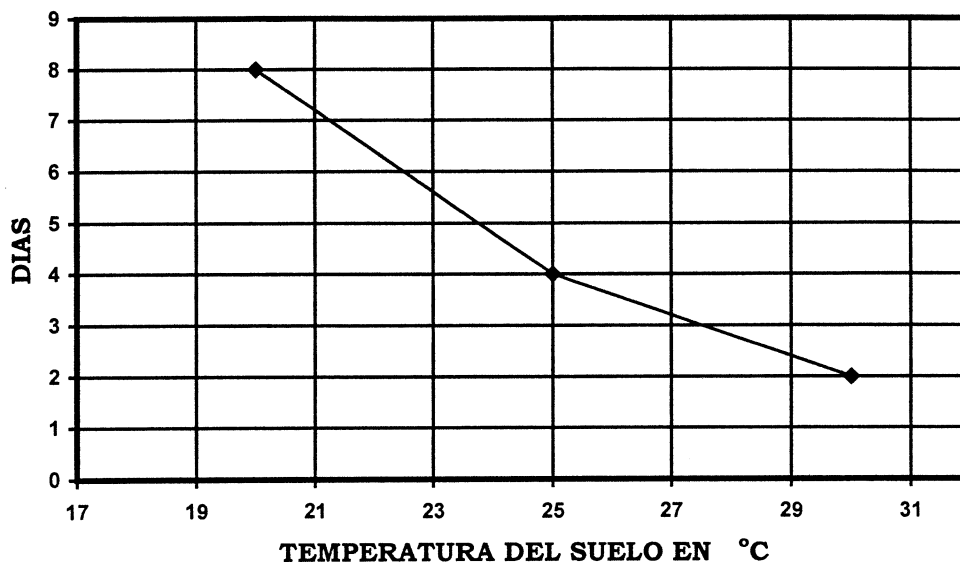


Figura 2.1. Relación de días con temperatura del suelo en la emergencia de semillas de melón.

Requerimientos de Suelo

El cultivo de melón se desarrolla en un amplio rango de suelos, sin embargo para obtener precocidad se desarrolla mejor en los franco-arenosos cuyo contenido de materia orgánica y drenaje sean buenos, pero cuando el interés principal es obtener rendimientos altos, los suelos más adecuados son los de textura media con alta capacidad de retención de humedad, pero sin que se produzcan encharcamientos, ya que éstos causan podredumbre de las raíces y de los frutos. Esta hortaliza está clasificada como ligeramente tolerante a la acidez, ya que se desarrolla en un pH de seis a seis punto ocho, un pH muy ácido puede ocasionar un

disturbio fisiológico llamado amarillamiento ácido. En tolerancia a salinidad está clasificado de como mediana y baja tolerancia, tolera valores de (4 mS/cm) (Stein *et al.*, 1990; Valadez, 1994).

Requerimientos hídricos

Las plantas de melón necesitan mucha agua en el período de crecimiento y durante la maduración, y estas necesidades están ligadas al clima local y a la insolación. La falta de agua en el cultivo causa bajos rendimientos y afecta negativamente la calidad de la producción. La temperatura del suelo al nivel de las raíces durante el periodo de crecimiento del melón debe de ser superior a los 10 °C siendo preferible una mayor temperatura, ya que la absorción de agua por parte de las raíces es mayor al incrementarse la temperatura. Si la temperatura del suelo es baja y la del aire es alta, con relación a la del suelo, se puede provocar un déficit de agua en las plantas, que se manifiesta por una decoloración de las hojas contiguas a los frutos, un desecamiento de los ápices de los frutos y finalmente la marchitez de la planta (Zapata *et al.*, 1989).

Durante todo el ciclo de cultivo del melón se pueden realizar de siete a ocho riegos en promedio, bajo sistema de riego por

superficie, recomendándose castigarlo en la etapa de maduración de los frutos con la finalidad de que se concentren los sólidos solubles (Valadez, 1994).

Clasificación del Fruto

En un producto se toma en cuenta la calidad, ya que ésta define el mercado y el valor del producto y finalmente las utilidades de los productores. Existe un manual donde se clasifica la calidad del melón en tres clases: calidad exportación, consumo nacional, y rezaga o pachanga; a continuación se presentan las características de cada una de las clases (Contreras, 1967).

1ª clase. Fruto de calidad de exportación.

-Fruto bien formado, redondo o medianamente oblongo.

-Red perfecta, uniforme y definida.

-Fruto sin lesiones en la corteza causadas por quemaduras del sol, insectos o mohos.

El contacto de la superficie inferior del fruto, con el suelo ocasiona una mancha amarilla que en algunos casos impide la

formación de la red, esta mancha debe comprender menos de 15 por ciento de la superficie del fruto.

El fruto no debe de tener rajaduras radiales, ni circulares en la unión del pedúnculo.

El grado de madurez del fruto debe ser entre sazón y madurez 3/4.

2ª Clase. Fruto de calidad nacional.

En esta clasificación se considera el fruto que no cumpla con los requisitos para exportación, pero que presentan un daño menor o igual al 10 por ciento en la superficie del fruto, descartando la rezaga.

3ª Clase Fruto de rezaga o pachanga.

Es un fruto que no tiene valor comercial y que cuenta con las siguientes características:

- Fruto completamente deforme.
- Fruto quemado por el sol.
- Fruto con lesiones por insectos o perforados.
- Fruto suave o blando para el transporte.

Generalidades de los Plásticos Utilizados en la Agricultura

Propiedades Ópticas de los Plásticos

Los acolchados plásticos son comúnmente usados en la producción de cultivos hortícolas para modificar el régimen termal, controlar el crecimiento de malezas e influir en la humedad del suelo (Ham *et al.*, 1991). Existe una amplia variedad de acolchados con diferentes propiedades espectrales y físicas de tal manera que se pueden seleccionar materiales que incrementen o disminuyan el calentamiento del suelo. Aplicando el principio de conservación de la energía, la radiación incidente que no es utilizada en el calentamiento del suelo puede ser reflejada desde la superficie, re-irradiada por la superficie o transportada de la superficie por convección de calor al aire (Tanner *et al.*, 1974). Esta energía residual tiene efecto en las relaciones hídricas, temperatura, fotosíntesis y morfología en las plantas recién transplantadas por la alteración del balance de radiación del follaje. Adicionalmente los acolchados pueden alterar la temperatura del aire cercano al follaje.

En un clima subtropical se estableció un cultivo de pimiento con acolchado de suelos usando plástico de color blanco, presentando un desarrollo mas rápido y con mayor precocidad que

pimientos desarrollados en un acolchado orgánico, mientras que en un clima cálido semiárido, el acolchado negro presentó menos daños y reducción en la producción (Roberts y Anderson, 1994), estos y más reportes resaltan la importancia del color del plástico para acolchado de suelos y saber la influencia que tiene cada color de plástico en el suelo y la planta.

El acolchado con película de plástico negra es el que más se ha difundido entre los agricultores que utilizan esta técnica en todo el mundo. Las aplicaciones especiales de otros tipos de colores de plásticos también están documentadas, en climas cálidos por ejemplo; en estaciones largas de calentamiento del suelo, los acolchados transparentes pueden ser indeseables, en su lugar los acolchados coextruidos blanco/negro, metalizados reflectivos son una buena alternativa para esas regiones. Típicamente el acolchado negro y transparente elevan la temperatura del suelo por encima de la temperatura ambiente, mientras que el acolchado coextruido blanco/negro, aluminio/blanco y aluminio/negro puede ligeramente elevar la temperatura pero por lo general disminuyen la temperatura del suelo (Schales, 1990).

El acolchado plástico afecta principalmente el microclima superficial del campo por modificación de la radiación recibida en la

superficie del suelo y evitar el paso del vapor de agua de la evaporación del suelo (Tanner, 1974; Liakatas *et al.*, 1986).

Cambiando la temperatura de la superficie del suelo y la humedad en la zona radical, se influye en el crecimiento y productividad de las plantas. Investigaciones recientes han demostrado que la fenología, rendimiento y calidad de ciertos cultivos puede ser afectada solo por el incremento de las temperaturas del suelo, aire y conservación de la humedad del suelo que proporciona el acolchado de suelos (Maiero *et al.*, 1987; Wien y Minotti., 1988 y Bhella, 1998). Otros autores reportan que la calidad de la radiación reflejada de ciertos acolchados puede tener un efecto sobre el crecimiento de las plantas (Decoteu *et al.*, 1988, 1989). Un estudio con simulaciones numéricas ha demostrado que la radiación reflejada y emitida de la superficie del acolchado tiene un efecto en la temperatura de la hoja y el uso de agua por la planta. El efecto del acolchado plástico sobre la temperatura del suelo y el balance de radiación es determinado principalmente por las propiedades ópticas del material. El acolchado puede transmitir, absorber o reflejar una porción de la radiación incidente en cada longitud de onda. Por ejemplo un acolchado puede transmitir casi toda la radiación en una longitud de onda, mientras que otras son absorbidas fuertemente o reflejadas (Loy y Walls, 1990).

Evaluaciones de la influencia del acolchado plástico en el ambiente del suelo y cultivo requiere de una caracterización de las propiedades ópticas de las películas plásticas sobre una gran porción del espectro electromagnético (Ham *et al.*, 1991). Propiedades ópticas tales como reflectancia, transmitancia y absorbancia para la radiación de onda corta y larga son necesarios para realizar un simple balance de energía en la película de plástico (Liakatas *et al.*, 1986). Si las propiedades de los plásticos son conocidas, modelos de simulación numérica pueden ser utilizados para predecir el efecto en el régimen termal y de humedad del suelo (Mahrer y Katan, 1981) o en el dosel de la planta (Ham *et al.*, 1991).

La necesidad de caracterizar las propiedades ópticas en función de la longitud de onda es una consecuencia del hecho que la calidad de la radiación es importante en la producción de cultivos. El desarrollo de acolchados de trasmisión infrarroja (Loy y Wells, 1990) que selectivamente cambian la transmisión de la luz en el cercano infrarrojo y bloquean la radiación fotosintéticamente activa. Así como los cambios morfológicos de las plantas inducidos por alteraciones de la relación de reflectancia de luz rojo lejano y rojo (Decotau *et al.*, 1988).

Si bien las propiedades ópticas de la película plástica son rutinariamente medida, considerable complejidad involucra la medición de las verdaderas propiedades ópticas de las películas, debido a la geometría que presentan las camas de cultivo, además las propiedades ópticas son función de la elevación del ángulo del sol y dependen de la radiación incidente directa o difusa. Las propiedades ópticas pueden ser también afectadas por la condensación de agua, presencia de suelo (polvo) u otro tipo de partículas (Dubois, 1979). Las propiedades ópticas pueden cambiar como resultado de su envejecimiento o las condiciones climatológicas. Además del cambio inducido geoméricamente, las propiedades ópticas también cambian dinámicamente.

Efecto del Acolchado Plástico en la Temperatura del Perfil Superior del Suelo

El acolchado de suelo afecta significativamente la temperatura del suelo además de otras propiedades físicas del suelo influenciando el desarrollo de la raíz. La temperatura del suelo es importante en el volumen de raíz de los cultivos y tiene efecto en su patrón de distribución en el suelo, el acolchado de suelo también beneficia a los cultivos debido a que conservan el agua del suelo y

controla el crecimiento de malezas. Los diferentes acolchados no tienen los mismos efectos sobre el cultivo y especialmente cuando se desarrollan bajo condiciones de riego. El acolchado de suelo es una técnica de producción aceptada en ciertos cultivos hortícolas. Diferentes tipos de películas de polietileno están disponibles en el mercado para el acolchado de suelos pero cada una de ellas tienen su propósito específico (Mashingaidze *et al.*, 1996).

El acolchado de suelo es bien conocido por que modifica el balance de agua en la zona radicular y de energía en la superficie del cultivo y crea condiciones más favorables para el desarrollo de éstos. Estudios han demostrado que el acolchado de suelo con películas de polietileno proporciona mayor desarrollo en muchos cultivos hortícolas, especialmente en climas templados (Rubeiz y Sakuratani, 1991; Abdul-Baki *et al.*, 1992; Al-Assir *et al.*, 1992; Albregts y Chandler, 1993). Además los diferentes colores de plásticos para acolchado pueden tener efectos diferentes en la actividad biológica y propiedades del suelo.

Al realizar una prueba de campo para evaluar efecto de once diferentes colores de acolchado plástico en el crecimiento y rendimiento de dos cultivares de sandía *Citrullus lanatus* (Thumb.) Manof, L. en la cual se evaluó la influencia del color de acolchado

en la temperatura del suelo a 5 cm de profundidad, temperatura del aire a una altura de 5 cm de la superficie y presencia de insectos. Durante la estación de crecimiento el rango de temperaturas mínimas y máximas varió de 19.9 a 21.7 °C y de 29.3 a 38.3 °C para el suelo y el aire respectivamente. La parcela de suelo desnudo presentó la temperatura del suelo más baja, mientras que la mínima más alta se presentó en el acolchado metalizado reflectivo. La temperatura de suelo mas alta de las máximas se presentó en el suelo acholado (IRT) mientras que la mas baja de las mínimas se presentó en el suelo desnudo (Andino y Motsenbockek, 1997).

El rango de temperatura del aire sobre los plásticos no fue tan grande como el de la temperatura del suelo. El rango de temperatura máxima del aire oscila de 33.6 a 36.5°C. El plástico coextruido blanco con negro presentó las más bajas temperaturas

En una superficie de acolchado plástico el balance de energía y su influencia sobre y por debajo de la superficie del suelo en el ambiente del cultivo son determinados por las propiedades ópticas del plástico (Waggoner *et al.*, 1960; Ham *et al.*, 1993), el grado de contacto entre el plástico y la capa inmediatamente inferior de suelo (Liakatas *et al.*, 1986). La relación entre el contacto de

acolchado del suelo y las propiedades ópticas de las películas de plástico será reflejada sobre la temperatura del suelo. Esta observación requiere atención porque los agricultores han sido aconsejados a usar plástico transparente para solarización de suelo y plástico opaco para el control de maleza. Altas temperaturas se presentan debajo de acolchado negro el cual transmite solo el 1 por ciento de la radiación solar, en cambio se logran mayores temperaturas con el plástico transparente el cual trasmite mas del 84 por ciento de radiación solar (Ham *et al.*, 1993). La película de plástico bien colocada aparentemente resulta más eficiente para calentar el suelo por conducción que por transmisión directa de la radiación solar. Contrariamente acolchado mal fijado al suelo crea una capa de aire entre el plástico y el suelo causando altas temperaturas del suelo durante el día bajo acolchado transparente, comparados con el acolchado negro (Liakatas *et al* 1986).

Varios reportes donde el plástico transparente no se puso bien en contacto con el suelo indujeron fluctuaciones de temperatura del suelo extremas mayores que en el plástico negro (Waggoner *et al.*, 1960; Bonnano y Lamont, 1987; Cebula 1995). Sin embargo menores fluctuaciones de las temperaturas extremas fueron observadas bajo acolchado plástico transparente que bajo

acolchado negro cuando estos estuvieron bien colocados (Ham *et al.*, 1993).

En Carolina del Norte, USA, durante el mes de Julio se encontró que la temperatura del suelo a 10 cm de profundidad en el plástico transparente fue de 5 a 15 °C más alta y de 4 a 12 °C más alta a 20 cm, que bajo suelo desnudo, elevadas temperaturas fueron observadas a 30 cm bajo un cultivo de tomate que sombreaba la mitad del acolchado, la temperatura del suelo fue consistentemente de 3 a 5 °C más alta bajo en el acolchado con plástico negro que bajo el suelo desnudo (Wu *et al.*, 1996).

La temperatura del suelo se midió a 10 cm de profundidad en películas de plástico coextruido (aluminizado/blanco), negra y suelo desnudo; encontrando que el acolchado coextruido presentó 4 °C menos que el acolchado negro y éste 2 °C menos que el suelo desnudo (Ham *et al.* 1993).

En un sistema de producción con acolchado negro fotodegradable colocado sobre un acolchado blanco, se evaluó la temperatura del suelo, encontrándose que ésta disminuye conforme el acolchado negro se degrada y quedaba mas expuesto el acolchado blanco (Graham *et al.*, 1995) este sistema calienta el suelo rápidamente en primavera y suprimen el crecimiento de maleza

durante todo el ciclo de cultivo, mientras que evita un excesivo incremento de la temperatura del suelo durante el verano. Cosecha precoz y mayor rendimiento se obtuvo en el cultivo de tomate en condiciones de acolchado rojo y negro, debido a que induce mayor temperatura del suelo que el acolchado blanco y metalizado (Wien y Minotti, 1987; Decoteau *et al.*, 1989; Bhella, 1998).

En un estudio de simulación del balance de energía en hojas suspendidas sobre ocho diferentes acolchados plásticos, se encontró que el rango de reflectancia fue de 0 a 50 por ciento y el rango de la transmitancia fue de 0.4 a 58 por ciento. La emisividad aparente de la mayoría del acolchado fue cercana a 0.9, la cual es similar en magnitud que el suelo desnudo. La excepción fue el acolchado plateado reflectivo, el cual está recubierto con una pintura de aluminio, dado que el aluminio tiene una emisividad de 0.1, la emisividad del acolchado se redujo a 0.34. Condiciones ambientales en dos días fueron utilizadas para el análisis, el día 219 muestra que las temperaturas entre acolchados variaron por mas de 20 °C durante el día y excedió la temperatura del aire en 40 °C al medio día. Las temperaturas mas altas fueron registradas en el acolchado negro embozado y en plástico fotodegradable los cuales tienen una absorción alta de radiación de onda corta. Las más bajas temperaturas fueron registradas en el plástico coextruido

blanco/negro, plateado reflectivo y transparente embozado, estos acolchados fueron los que presentaron la más alta reflectancia. En el día 270 del año, las diferencias en temperatura entre los acolchados fueron muy pequeñas y la temperatura del acolchado sólo excedió la temperatura del aire aproximadamente 25 °C. La baja radiación redujo el impacto de las propiedades espectrales de los acolchados en la temperatura de los mismos. Adicionalmente altas velocidades del viento incrementaron la transferencia de calor convectivo, manteniendo la temperatura del acolchado cercana a la temperatura del aire (Ham *et al.*, 1991).

Efecto en la Radiación Reflejada

Sobre el suelo existe una respuesta espectral en adición a la respuesta por incremento de la temperatura del suelo y ésta puede ser fisicoquímica (regulación del fitocromo) o radiante (incremento o decremento del calor acumulado en el follaje). En el dosel de pimientos se registró el doble de radiación fotosintéticamente activa con acolchado transparente que con acolchado negro o suelo desnudo (Cebula, 1995). En otro estudio se encontró que el acolchado plástico blanco reflejó seis veces más radiación fotosintéticamente activa que un acolchado negro y alrededor de un

50 por ciento mas que un acolchado plateado reflectivo (Decoteu *et al.*, 1989).

Los acolchados reflectivos elevaron la temperatura del aire afectando las temperaturas máximas en un cultivo de Salsuma mandarina (*Citrus unshui kouich*) hasta 3 °C y la mínima en la noche entre 0.3 - 1.3 °C (Richarson *et al.*, 1993).

El uso de acolchados con diferentes propiedades espectrales para el manejo del ambiente del suelo, también modifica el microclima.

El acolchado de suelo puede afectar el microclima de la hoja de diferentes formas. La radiación solar reflejada de la superficie del acolchado puede irradiar en la parte inferior de las hojas de los cultivos influenciando el nivel de irradiación absorbida. Investigaciones realizadas usando coberturas reflectivas sobre el suelo en un intento para incrementar la radiación fotosintéticamente activa e incrementar el rendimiento en manzanos (Green, 1993).

El acolchado reflectivo reflejará mas radiación hacia las hojas, pero será menor la cantidad de radiación de onda larga que emitan, porque ellos son típicamente más frescos que los

acolchados que absorben radiación o sea los acolchado negros. Sin embargo acolchados opacos absorbedores, sin embargo reflejaran menor radiación pero emitirán mas radiación de onda larga por que su temperatura es mas alta. Mas investigaciones son necesarias para determinar cuales características tienen mayor influencia en el estrés de la planta o desarrollo de la planta.

Efecto en la Humedad del Suelo

El acolchado de suelo disminuye las pérdidas de agua por evaporación desde la superficie del suelo, mejorando el balance hídrico de los cultivos. El acolchado plástico reduce la pérdida de agua por el alto grado de impermeabilidad al vapor de agua. El uso de riego por goteo en conjunto con el acolchado plástico se reduce la pérdida de humedad del suelo y decrecen los requerimientos de riegos. La conjugación ha logrado ahorro de agua de un 45 por ciento comparado con los sistemas de aspersion, la reducción de área de mojado de la superficie de cultivo también contribuye a la generación de flujo de calor sensible H (Tarara y Ham, 1999).

Zapata *et al.*, (1989) menciona que la influencia del acolchado sobre el suelo es benéfica para el desarrollo de la raíz de las plantas

hortícolas, ya que son más numerosas y adquieren mayor longitud en sentido horizontal, como consecuencia de que la planta encuentra humedad suficiente a poca profundidad y su sistema radical se desarrolla lateralmente sin tener que buscar el agua mayor profundidad.

Efecto en el Control de Maleza

Es totalmente impermeable a la radiación visible. Por lo tanto, si la maleza que se encuentra debajo del mismo puede germinar debido a que encuentran condiciones de humedad y temperatura óptimas, una vez agotadas las sustancias de reserva de las semillas, las plántulas mueren al no poder realizar el proceso de la fotosíntesis por la ausencia de luz. En cuanto a la radiación solar el plástico de color negro absorbe más del 80 por ciento, elevando considerablemente la temperatura del plástico, lo que puede quemar las hojas del cultivo que están en contacto con éste. El resto de la radiación solar es reflejada al dosel del cultivo o es transmitida (Ham *et al.*, 1993; García, 1996).

Efecto en el Rendimiento y Precocidad del Cultivo

El acolchado de suelos acelera la cosecha variando desde 3 a 28 días, dependiendo del cultivo, estación del año y tipo de plástico utilizado. En el cultivo de tomate utilizando 7 colores de acolchado plástico, se encontró que los tomates desarrollados bajo acolchado verde y aluminio produjeron más frutos comerciales, mientras que los tomates de los acolchados rojos, café y transparente, tuvieron un peso del fruto intermedio. Por lo que respecta al porcentaje de frutos tempranos cosechados fue de la siguiente manera, en el acolchado negro fue de 55 por ciento, en acolchado blanco fue de 34 por ciento, en aluminio fue de 27 por ciento, en café fue de 25 por ciento y en verde fue de 19 por ciento con respecto al testigo. (Brown *et al.*, 1991).

El desarrollo del cultivo de melón tuvo un crecimiento exponencial, caracterizado al principio por un crecimiento lento y un incremento acelerado en la última etapa fenológica, la modificación para que este desarrollo exponencial se diera más rápido fue debido a que las modificaciones del medio ambiente del acolchado plástico, influenció significativamente el grado de madurez temprana de las cosechas. En este, experimento las diferencias en crecimiento vegetativo entre acolchado fueron

relativamente pequeñas, sin embargo a los 35 días después de la siembra, el número de hojas fue mayor en el acolchado transparente y menor en el acolchado negro (Loy y Wells, 1990).

En un estudio sobre los efectos de los acolchados plásticos con riego por goteo en el cultivo de melón, el acolchado transparente produjo 43.5 ton/ha, no se encontró diferencia en relación con el acolchado negro 44.37 ton/ha, pero si hubo diferencia con el suelo sin acolchar 41.9 ton/ha. (García, 1996). La producción de frutos para exportación fue mayor en el polietileno negro, 21.8; acolchado transparente, 19.3 y el no acolchado 13.7 ton/ha. Por otro lado Martínez (1997) obtuvo 67.8 y 38.3 ton/ha para el acolchado y el testigo respectivamente con un abatimiento de la humedad aprovechable de 40 por ciento, mientras que con un 60 por ciento de abatimiento de la humedad aprovechable se obtuvo 66.6 y 36.2 ton/ha para el acolchado y no acolchado.

Componentes del Balance de Energía

La mayoría de los artículos describen estudios empíricos de la respuesta del cultivo al acolchado de suelo, pero pocos incluyen extensas mediciones continuas de variables micrometeorológicas

relevantes. Esto es desconcertante como menciona (Tanner, 1974), ya que la tasa de transpiración de la planta, y consecuentemente su temperatura esta fuertemente relacionadas con su microclima.

Los datos micrometeorológicos pueden contribuir a la identificación de mecanismos fisiológicos que conduzcan a respuestas de un cultivo al ambiente de un acolchado de suelo. Sin embargo, mediciones de pocas horas o días son inadecuadas para interpretar cambios en el microclima de semanas o incluso meses (Monteith y Elstón, 1971).

Dentro del microclima de un cultivo la cuantificación de la transferencia de energía en el sistema es el balance de energía de la superficie, a continuación se mencionara cada una de las transferencias de energía de una superficie de cultivo.

Radiación Neta

La suma de la energía durante todo el día es (R_s), en cambio para la superficie de la planta es la radiación neta ($R_{n_{\text{dosel}}}$), para la superficie del suelo ($R_{n_{\text{suelo}}}$), o para el acolchado ($R_{n_{\text{acolchado}}}$). La radiación total esta compuesta de la radiación solar de onda corta (R_{sw} , 0.2 a 1.4 μm) y radiación terrestre de onda larga (R_{lw} , 2 a

50 μm). El pico de la longitud de onda de la energía emitida por la mayoría de los objetos terrestres es de 9 μm . La radiación fotosintéticamente activa comprende una banda de 0.4 a 0.7 μm de longitud de onda; la energía solar con una longitud de onda de 0.7 μm es llamada radiación infrarrojo cercano. La radiación de onda larga es comúnmente llamada radiación infrarroja o termal. La radiación solar puede ser directa o puede ser difusa debido a la dispersión causada por las nubes, moléculas atmosféricas y vegetación. El total de la radiación directa y radiación difusa es llamada radiación global (R_s). Por convención los flujos de energía son asignados con valores positivos o negativos para denotar su dirección: la transferencia de energía hacia el cultivo (suelo o acolchado) se le asigna un valor positivo y la energía que se mueve fuera del cultivo recibe un valor negativo para definir la dirección del vector. Así durante el día R_n la cual es dominante por provenir de R_s , es positivo, pero durante la noche R_n la cual es dominada por R_{lw} saliendo del cultivo o del acolchado es negativo (Tarara, 1999).

La radiación solar y terrestre es absorbida, reflejada y transmitida en varias proporciones de acuerdo a las propiedades ópticas de la superficie: absorbancia (α), reflectancia (ρ), transmitancia(τ). Las propiedades ópticas de varias superficies,

incluyendo el acolchado negro y varios cultivos se enlistan en el Cuadro 2.2. Las propiedades ópticas generalmente son reportadas como un promedio del valor partículas de una longitud de onda (ejemplo α_{sw} para 0.2 – 1.2 μm) ponderado por el espectro energético en dicha banda de longitud de onda. El suelo, el acolchado y otras vegetaciones pueden reflejar radiación solar hacia el follaje del cultivo, de este modo incrementan el total de radiación en la superficie de la planta.. Por ejemplo un acolchado metalizado total de pasillos en manzano incrementa la absorción de radiación fotosintéticamente activa en un 40 por ciento, comparada con manzanos sin acolchado de suelo y un incremento de radiación fotosintéticamente activa en un 24 por ciento cuando el acolchado solo cubrió la mitad del pasillo (Green, 1995).

Todos los objetos emiten radiación de onda larga (R_{lw}) como una función de su temperatura y su emisividad (ϵ). La emisividad es la fracción de la radiación emitida por una superficie comparada con la emitida por un cuerpo perfectamente emisor ($\epsilon= 1$) a la misma temperatura, un cuerpo ideal no existe en la naturaleza, por lo cual esta relación es formalizada por la ley de Stefan Boltzmann.

$$R_{lw} = \epsilon_s \sigma T_s^4 \quad (2.1)$$

Cuadro 2.2. Propiedades ópticas de varias superficies.

Superficie	Propiedades Ópticas a Onda Corta			Propiedades Ópticas a Onda Larga			Autor	
	α_{sw}	ρ_{sw}	τ_{sw}	$\varepsilon=\alpha_{Lw}$	ρ_{Lw}	τ_{Lw}		
Acolchado Plástico								
Negro		0.96	0.03	0.01	0.92/ .87*		0.67*	Ham <i>et al.</i> , 1993
Blanco		0.51	0.48	0.01	0.89*		0.51*	
Aluminio		0.60	0.39	0.01	0.28*		0.09*	
Transp.		0.05	0.11	0.84	0.05	0.13	0.82	Avissar <i>et al.</i> , 1986 [‡]
Suelo Desnudo								
F.Limoso	S.	0.73	0.27		0.93	0.07		Ham y Senock, 1992
F.Limoso	H	0.85	0.15		0.96	0.04		
F. Arenoso	S	0.67	0.33		0.88	0.12		Graser y Bavel, 1982 [‡] ; Ham <i>et al.</i> , 1993
F. Arenoso	H	0.82	0.18					
F. Arcilloso	S	0.70	0.33					Isdo <i>et al.</i> , 1975
F. Arcilloso	H	0.86	0.14					
Arenoso	S	0.65	0.35		0.91	0.09		Campbell y Norman 1998 [‡] ; Buttner y Kerm, 1965 [‡]
Arenoso	H				0.94	0.06		
A Limoso	S	0.77	0.23		0.92	0.08		Graser and VanBavel, 1982 [‡] ; Chen <i>et al.</i> , 1989 [‡]
A Limoso	H	0.85	0.15		0.93	0.07		
Cultivos								
Hojas de manzano (<i>Malus domestica</i> Borkh)					0.95	0.01-0.05	0.0-0.04	Gates, 1981
Cebada (follaje) (<i>Hordeum vulgare</i>)			0.23		0.98			Fritschen 1967 [‡] ; Heilman <i>et al.</i> , 1981 [‡]
Maíz (hoja) (<i>Zea mays</i> L).			0.29					Davies and Buttner, 1969 [‡] ; Idso <i>et al.</i> , 1969 [‡]

Cuadro 2.2. continuación

Maíz (follaje)			0.17					Brown and Covey, 1996; Jacobs y Van Pul, 1990†
Algodón (hoja) (<i>Gossypium hirsutum</i>)		0.52	0.22					Gates, 1980†; Idso <i>et al.</i> , 1969‡
Algodón (follaje)			0.21					Monteith y Unsworth 1990
Algodón (hoja) (<i>Papulus deltoides</i>)		0.51	0.22	0.27				Gates, 1980
Geranio (hoja) (<i>Pelargonium x hortorum</i>)		0.55	0.22	0.23	0.99			Gates, 1980†; Idso <i>et al.</i> , 1969‡
Naranja (dosel) (<i>Citrus sinensis</i>)			0.16		0.94			Monteith <i>et al.</i> Unsworth, 1990†; Idso <i>et al.</i> , 1969‡
Durazno (hoja) (<i>Prunus persica</i>)		0.59	0.25	0.16				Gates, 1980
Pimiento (hojas) (<i>Capsicum annuum</i>)		0.53	0.21	0.26	0.98			Gates, 1980 †; Idso <i>et al.</i> , 1969‡
Pimiento (dosel)			0.22					Davis y Buttimor, 1969
Frijol (hoja) (<i>Phaseolus vulgaris</i>)		0.82	0.10	0.08	0.96			Moss y Loomis 1952 ^{ta} ; Fuchs y Tanner, 1966‡
Frijol (dosel)			0.24					Monteith and Unsworth, 1990

Cuadro 2.2. continuación

Girasol (hoja) (<i>Helianthus annuus</i>)		0.54	0.24	0.22				Gates, 1980
Caña de Azúcar (dosel) (<i>Saccharum officinarum</i>)			0.15		0.99			Monteith y Unsworth 1990 [†] ; Idso <i>et al.</i> , 1969 [‡]
Tabaco (hoja) (<i>Nicotina tabacum</i>)			0.29		0.97			Davies and Buttamor, 1969; Idaso <i>et al.</i> , 1969 [‡]
Tabaco (dosel)			0.24		0.97			Davies and Buttamor, 1969; Fuchs and Tanner, 1966 [‡] .
Pasto (dosel) (mezcla spp)			0.25		0.97			Monteith, 1959; Idso <i>et al.</i> , 1966 [‡]
Tomate (hoja) (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill)			0.28		0.98			Davies and Buttamor, 1969; Idso <i>et al.</i> , 1969 [‡]
Tomate (dosel)			0.22					Nkemdrim, 1973
Trigo (dosel) (<i>triticum aestivum</i>)			0.22		0.98			Monteith, 1959; Huband and Monteith 1986
Otras Superficies								
Agua (Cuerpos Grandes)			0.02-0.06		0.99	0.01		Gates, 1980; Buettner and Kern, 1965
Nieve (vieja)		0.25	0.75		0.95	0.05		Tanner, 1974
Hoja de aluminio (brillante)		0.20	0.80		0.06	0.94		Tanner, 1974; Campbell & Norman 1998

¹ α = absorbanca; ρ = reflectancia; τ = Trasmittancia; ϵ =emisividad; sw = onda corta; LW= onda larga.

*valor para el plástico en suelo.

† propiedad sola para onda corta

‡propiedad sola para onda larga

^a valor medio de frijol, tabaco, espinaca y swiss chard.

S= seco

H=Húmedo

F= Franco

A= Arcilloso

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$) y T_s es la temperatura de la superficie en estudio en (K). Usando esta fórmula se puede calcular la radiación que emitirá una hoja con una temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y una emisividad de $\epsilon=0.96$ emitirá $\cong 400 \text{ Wm}^{-2}$ y un acolchado plástico negro con una temperatura de 55°C y una emisividad de $\epsilon=0.92$ emitirá $\cong 600 \text{ Wm}^{-2}$.

En una superficie uniforme, incluyendo doseles muy cerrados R_n puede ser medida con un radiómetro neto que cuantifica la radiación de onda corta y larga. El radiómetro neto se basa en realizar el balance de radiaciones reportando la diferencia entre los flujos hacia abajo y hacia arriba de R_{sw} y R_{lw} de la superficie en estudio. El uso, calibración y su diseño básico de los radiómetros netos no ha cambiado en los últimos años (Idso, 1974).

Flujo de Calor Latente

La evaporación traducida al lenguaje de transferencia de energía es el calor latente de evaporización (λ) la cantidad de energía absorbida por el agua cuando ésta cambia de fase líquida a fase

gaseosa ($\lambda = 2450 \text{ Jg}^{-1}$). Se usara LE para denotar el flujo de calor latente, es la misma cantidad de energía que se libera cuando el agua se condensa, de este modo la condensación es un proceso de calentamiento y la evaporación un proceso de enfriamiento de la superficie. La evaporación transfiere energía de la superficie al vapor de agua, el cual entonces se difunde o es transportado a la atmósfera. El flujo de calor latente enfría la superficie de la hoja así que la temperatura del follaje de una planta bien regada y transpirando será similar o menor que la temperatura del aire que la rodea. La temperatura del follaje se relaciona con la tasa de transpiración, una situación paralela ocurre para la superficie húmeda del suelo la evaporación reduce las diferencias en temperaturas entre la superficie y el aire. (Tarara, 2000)

En décadas pasadas la ley de ohms ($V=IR$) ha sido aplicada para la evaporación como una herramienta conceptual (Jones, 1992). El flujo de corriente (I) de la ley de ohms es análogo a la LE, el potencial de voltaje de la ley de ohms (V) representa la diferencia de humedad de vapor de agua entre la superficie evaporativa y el aire y la resistencia eléctrica de la ley de ohms (R) es una analogía conceptual para el factor limitante LE.

$$LE = -\lambda \left[\frac{e_{sat}(T_s) - e_a}{r_{av} + r_{sv}} \right] \quad (2.2.)$$

Donde e_{sat} es la presión de vapor a saturación a la temperatura de la superficie T_s de la cual el agua se está evaporando y e_a es la presión de vapor de agua actual del aire circundante de este modo la diferencia de presión de vapor de agua $e_{sat}(T_s) - e_a$ determina la cantidad de evapotranspiración tal como la diferencia de temperaturas determina la cantidad de calor mostrado en la convección, los términos r_{av} y r_{sv} representan la resistencia aerodinámica y de la superficie al transporte de vapor de agua respectivamente.

Ellas son relacionadas a la velocidad del viento y a las propiedades de la superficie (por ejemplo la rugosidad de la superficie), con frecuencia se agregaría la resistencia estomatal cuando se discute la transpiración de una hoja sola (Van den Honert, 1948) o en términos de resistencia del dosel (r_{cr}) para determinar LE de un agregado vegetativo de un cultivo (Monteith, 1965).

Flujo de Calor Sensible

Convección es la transferencia de energía a o desde una superficie por el movimiento de un fluido, denotándose con H al flujo de calor sensible, se denomina así porque se puede sentir. En un cultivo el fluido es el aire, como la conducción, la convección es producida por un diferencial de temperaturas, en un sistema heterogéneo de cultivo como lo es el acolchado, la convección es gobernada por la diferencia de temperaturas acolchado-aire y dosel del cultivo.

$$H = g_h \rho C_p (T_s - T_a) \quad (2.3)$$

Donde T_s es la temperatura de la superficie, T_a es la temperatura del aire; ρC_p es la capacidad calorífica del aire y g_s es el coeficiente de transferencia de calor sensible, constante de proporcionalidad entre el flujo de energía y su fuerza productora ($T_s - T_a$). Generalmente g_h es conceptualizada como una conductancia a la transferencia de calor, es cuantificada por las características aerodinámicas de la superficie y el movimiento del fluido. Varía con el viento y la rugosidad de la superficie y matemáticamente es simplemente la inversa de la resistencia. En la literatura, es tan común encontrar ecuaciones de (H) en una forma de resistencia como en forma de conductancia la elección depende grandemente

en la técnica de medición usada y la preferencia conceptual del autor.

Convección denota generalmente a la transferencia vertical de energía; cuando H, es transferido horizontalmente entre dos superficies desiguales es llamado advección.

La advección se ha identificado en numerosos estudios de cultivos extensivos (Hanks *et al.*, 1971; Chin Coi and Kanemasu, 1974; Zermeño, 1997). En cultivos de algodón y alfalfa, la advección de una superficie seca (por ejemplo H negativo) incrementa LE (Ham *et al.*, 1990; Ham *et al.*, 1991, Zermeño, 1997; Zermeño, 1998).

En un viñedo al Oeste de Texas la advección desde un suelo seco indujo de un 17 a 36 por ciento de la evapotranspiración de la vid (Heilman *et al.*, 1994). Estos ejemplos se mencionan porque la diferencia entre temperaturas de suelo desnudo y el follaje del cultivo típicamente son menores que las diferencias entre el follaje y la mayoría del suelo acolchado (Ham y Kluitenberg, 1994).

El flujo de calor sensible del acolchado plástico y el suelo desnudo se puede calcular, si uno registra mediciones representativas y espacialmente de T_s , T_a y g_h . Mediciones de la superficie del suelo y la temperatura del acolchado plástico son

fácilmente obtenibles (Ham y Senock, 1992; Tarara y Ham, 1999) Las mediciones del dosel de los cultivos es altamente variable debido a los marcos de plantación, que en algunos casos se dejan grandes porciones de suelo sin cubrir, la técnica de la termometría infrarroja esta bien establecida para cultivos de cobertura completa (Fuchs y Tañer, 1966) pero en cultivos recién transplantados en acolchado, el termómetro infrarrojo verá parte de suelo, plástico y follaje. El uso de termómetros infrarrojos para hacer mediciones del dosel de cultivos con marcos de plantación grande es posible siempre y cuando se realicen las correcciones adecuadas (Heilman *et al.*, 1981; Lhomme *et al.*, 1994; Stewart *et al.*, 1994) Estas correcciones no son triviales y son complicadas por la presencia del acolchado plástico.

Flujo de Calor en el Suelo

La transferencia de calor en el suelo ocurre por conducción (G_0), el movimiento de energía por vibración de las moléculas en un sólido o entre un sólido y un fluido inmóvil. Si el calor se mueve hacia arriba a la superficie, será flujo positivo, o hacia abajo al interior del perfil del suelo (será flujo negativo) de capas mas calientes a capas mas frías de acuerdo a la ley de Fourier.

$$G = -D_H \left[\frac{(T_2 - T_1)}{(Z_2 - Z_1)} \right] \quad (2.4)$$

Donde D_H es la difusividad térmica de suelo, es la habilidad de transmitir calor en $Wm^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$ y $(T_2 - T_1)/(Z_2 - Z_1)$ es el cambio en temperatura (T) con la profundidad del suelo (Z). La conducción entre el acolchado plástico negro y la superficie superior del suelo determina el efecto del acolchado en la temperatura del suelo (Ham y Kluitenberg, 1994). El plástico negro o de otro color (excepto aluminizado y acolchado reflectivo) absorben casi toda la radiación solar, incrementando la temperatura de la superficie del plástico. Si el acolchado ha sido instalado correctamente bien estirado y está en contacto directo con la superficie del suelo se obtiene una mínima capa de aire entre el plástico y la superficie del suelo, por lo cual el calor será transferido fácilmente por conducción, presentándose un incremento en temperatura del suelo. Alternativamente si un acolchado plástico es mal colocado y queda flojo sobre la superficie del suelo, queda un espacio con aire entre el plástico y el suelo, entonces el calor primero será conducido del plástico a la capa de aire atrapada y después por difusión a través de la bolsa de aire será transferido al suelo. Debido a que el aire tiene una difusividad térmica más baja que el suelo el calor transferido desde el acolchado en este caso es muy lento y la mayoría de la energía

almacenada en la superficie caliente del acolchado será transferida por convección a la atmósfera (Tarara, 2000).

Para estimar el flujo de calor en el suelo (G_o) un método combinado ha sido establecido como técnica estándar (Kimball y Jackson, 1979). Este método es una aplicación práctica de la ley de Fourier, involucra mediciones de la conducción a alguna profundidad en el suelo (G_z) comúnmente a 5 – 10 cm, con platos de flujo de calor (Fuchs, 1986) estimando la capacidad calorífica volumétrica (ρC_p) del suelo entre la superficie y los platos de flujo de calor $\Delta z = 5$ cm ú 8 cm y midiendo la tasa de cambio de temperatura $(T_2 - T_1)/(t_2 - t_1)$ en esa capa del suelo.

$$G_o = G_z + \rho C_p \left[\frac{(T_2 - T_1)}{(t_2 - t_1)} \right] \Delta z \quad (2.5)$$

Históricamente, estimaciones de ρC_p es la última parte de fiar del método combinado porque se requiere de muestreos gravimétricos del contenido de humedad en el suelo de la capa comprendida entre la superficie del suelo y los platos de flujo de calor. Una limitación la constituye la frecuencia de los muestreos del método gravimétrico (ejemplo diario, semana). Recientemente el desarrollo de sensores para medir ρC_p directamente cerca de la superficie del suelo en un pequeño volumen de suelo (Campbell *et*

al., 1991; Tarara y Ham, 1997) han mejorado y de hecho más confiable el método combinado para realizar mediciones frecuentes sobre los platos del flujo de calor (por ejemplo cada hora).

Métodos Micrometeorológicos para Medir los Componentes del Balance de Energía

La biometeorología se encarga de estudiar lo concerniente a los procesos físicos que gobiernan los cambios entre las superficies biológicas y la baja atmósfera, tales cambios pueden ser de momento, de calor sensible, de vapor de agua, además de varios gases y partículas de materias. En individuos como en comunidades, estos procesos son fundamentales para entender cómo los cultivos agrícolas utilizan el agua y como las comunidades vegetales intercambian el dióxido de carbono con la atmósfera (Dugas *et al.*, 1991).

La mayoría de los conceptos básicos para determinar la tasa de flujo de calor han sido realizados con objetos inanimados, objetos tales como metal y plásticos en varias formas tales como platos y cilindros. La mayoría de los seres vivos, disipan energía por

medio de la transpiración. El cambio de la fase líquida a vapor de agua es el proceso que consume mas energía.

El método de la relación Bowen se basa en la asunción de que el mecanismo de transporte del flujo de calor latente y calor sensible son idénticos. Mediciones simultáneas de gradientes de temperatura y densidad de vapor de agua cercanas a la superficie, junto con radiación neta y flujo de calor en el suelo son necesarias para calcular la relación de Bowen y el flujo de calor latente (evaporación).

Mediciones directas de flujos turbulentos de la atmósfera para determinar el flujo de la superficie siempre han sido atractivas porque de la flexibilidad y simplicidad que ofrece el principio del método. Mediciones superficiales o por encima de superficies donde el tamaño de rugosidades no está caracterizadas es una ventaja por encima del método de perfiles (Malek *et al.*, 1990).

Bowen (1926) introdujo el concepto de la relación de Bowen (β) de calor sensible (H) y calor latente (LE) como $\beta = H/LE$ sobre la superficie del Océano. Esta relación puede ser expresada como $\beta = \gamma(d\theta/de)$, donde γ es la constante psicrométrica, $d\theta$ y de son la diferencia en temperatura potencial de aire y contenido de humedad específica a un intervalo de altura.

Usando el balance de energía y calculando (β), Bowen mostró que la cantidad de evapotranspiración o calor latente (LE) y calor sensible (H), pueden ser establecidos como:

$$LE = \frac{Rn + Go}{1 + \beta} \quad (2.6)$$

$$H = \beta \left(\frac{Rn + Go}{1 + \beta} \right) \quad (2.7)$$

Donde, Rn es la radiación neta y Go es la tasa de almacenamiento de energía termal debajo de la superficie del suelo.

Métodos para cuantificar evapotranspiración (ET) de grandes extensiones de terreno a partir de mediciones atmosféricas requieren de datos climatológicos de gradientes o flujos atmosféricos.

Mediciones de gradientes para el balance de energía de la relación Bowen o mediciones directas de los flujos con correlación eddy (EC) demandan más instrumentación pero no hay que confiar en factores empíricos de sitios. El valor de estos métodos es su capacidad para dar estimaciones específicas de ET de un sitio y

resolución espacial y temporal de menos de 200 m y 1 hora respectivamente.

El uso de tales sistemas requiere del conocimiento de los fundamentos y asunciones meteorológicas. Por esta razón los conceptos del EBBR y EC son desarrollados brevemente entonces las condiciones bajo las cuales su uso es apropiado son discutidas.

El Diseño de los Sistemas EBBR y EC

Formulación del balance de energía de la relación Bowen (EBBR). La relación flujo-gradiente es usada para describir el transporte vertical en una dirección de un escalar dentro del aire libre sobre una superficie. Para los flujos de calor sensible H y vapor de agua E se expresan como:

$$H = \rho C_p K_H (dT/dz) \quad (2.8)$$

$$E = K_V (dq/dz) \quad (2.9)$$

Donde ρ es la densidad del aire, C_p es el calor específico del aire a presión constante, T es la temperatura, q es la densidad de vapor, z es la altura y K_V y K_H son los coeficientes de difusividad del vapor de agua y calor. El perfil será promediado sobre tiempo y espacio pero la barra representa solo el promedio de tiempo.

En general los coeficientes de difusividad turbulenta no son conocidos, para algunas condiciones se asumen como iguales y la relación Bowen se forma de la relación de estas dos ecuaciones:

$$\beta = H/LE = \gamma (T_1 - T_2)/(e_1 - e_2). \quad (2.10)$$

Donde LE es el flujo de calor latente, L es el calor latente de evaporización, γ es la constante psicrométrica y e es la presión de vapor.

En ausencia de advección el balance de energía de una superficie es descrito por:

$$R_n - G - H - LE = 0 \quad (2.11)$$

Donde R_n es la radiación neta y G es el flujo de calor en el suelo. El signo de R_n es positivo al interior de la superficie y G , H , y LE son negativos hacia a fuera de la superficie. Todos los términos están dados en Wm^{-2}

Sustituyendo $LE\beta$ por H y H/β por LE en la ecuación general de balance.

$$H = \beta(R_n - G)/(1 + \beta) \quad (2.12)$$

$$H = \beta * LE. \quad (2.13)$$

$$LE = (R_n - G) / (1 + \beta) \quad (2.14)$$

De este modo estimaciones de LE y H se pueden obtener por medición de T y e a dos alturas y mediciones de R_n y G.

Errores en las mediciones de los gradientes afectan la exactitud de β , pero errores en β no afectan la estimación de los flujos. Cuando $\beta < 1$ las ecuaciones anteriores (2.13 y 2.14), son insensibles a errores en β . Cuando R_n - G se aproxima a cero por la noche y H es bajo, además LE y H son de similar magnitud pero de signo opuesto, bajo estas condiciones, β es igual a -1 y las ecuaciones (2.13 y 2.14) son indefinidas. Usualmente no se calcula la relación Bowen cuando $-1.2 < \beta < -0.75$, para evitar la inexactitud de un pequeño denominador. La relación de Bowen requiere similitud del perfil de temperaturas y vapor, por ejemplo la fuente y demanda de calor y vapor a la superficie que sean iguales.

Los flujos turbulentos pueden ser medidos directamente correlacionando las fluctuaciones de la velocidad vertical del viento w con las fluctuaciones del escalar transportado. La factibilidad de este método fue demostrada por primera vez por Swinbank (1951) seguido por numerosas contribuciones recientes (Dyer, 1961;

Hicks, 1970; Miyake y McBean, 1979). La demanda de instrumentación ha sido la limitante para que este método se difunda ampliamente entre toda la comunidad científica.

En general el transporte de fluido involucra los componentes del valor promedio y las fluctuaciones con respecto a la media. Para la superficie de estudio el promedio de velocidades del viento (w) es cero debido a la conservación de la materia y H y LE son expresados en términos del componente turbulento

$$H = DC_p (\overline{wT} - \overline{w}T) = dC_p \overline{w' T'} \quad (2.15)$$

$$LE = L (\overline{wq} - \overline{w}q) = L \overline{w' q'} \quad (2.16)$$

Los promedios serán en tiempo y espacio pero aquí la barra refleja solo el tiempo promedio. Las comillas representan las fluctuaciones sobre la media. La distribución de importantes frecuencias atmosféricas para el transporte escalar es una función de la velocidad media horizontal U , medida a la altura z , y la estabilidad atmosférica.

Basado en varios estudios (Kaimal *et al.*, 1972; McBean, 1972) el rango de interés es

$$10^{-3} \leq fz/U \leq 10. \quad (2.17)$$

Donde f_z es la frecuencia (Hz). La frecuencia superior dictada por la respuesta del sensor y la frecuencia mas baja, por el promedio del tiempo requerido para incluir periodos largos. Cuando se trabaja dentro de una superficie de pocos metros, una repuesta de 10 Hz y promedios de periodos de 10 a 20 minutos son razonables.

Errores en la alineación del sensor de velocidad del viento o desplazamiento sobre la vertical, y la pendiente del terreno causan fluctuaciones en U ocasionado que aparezcan más grandes que las fluctuaciones normales w . Este efecto puede ser corregido con un sensor tridimensional de velocidad del viento, determinando donde la velocidad w promedio es igual cero y calculando los flujos en esa dirección.

Las mediciones atmosféricas realizadas a la altura z sobre una superficie efectiva z_0 representa la fuente de los flujos de vientos arriba. La técnica *EC* requiere que los flujos a la altura z y z_0 sean iguales. La técnica *EBBR* requiere que la relación de flujos a , x y z_0 sean iguales. En ambos métodos el transporte unidimensional se debe mantener constante con los flujos verticales sobre la distancia horizontal. En ausencia de grandes obstáculos vientos a bajo o cambios bruscos en la rugosidad de la superficie

(por ejemplo de forestal a pasto) estas condiciones son asumidas cuando el sitio es de 100 a 300 veces más grande que la altura de las mediciones vientos debajo de superficie discontinua.

En la figura 2.2 el aire seco y cálido de una región plana y árida es llevado horizontalmente a través de un cultivo frío e irrigado, encontrando dos problemas si las mediciones son llevadas a cabo en el punto 1, primero es demasiado cerca del límite de vientos arriba, entrando el flujo de calor sensible por advección al punto 0, evaporando el agua de las hojas del punto 2. El EBBR ni el sistema EC percibirán este cambio advectivo a la altura de las mediciones

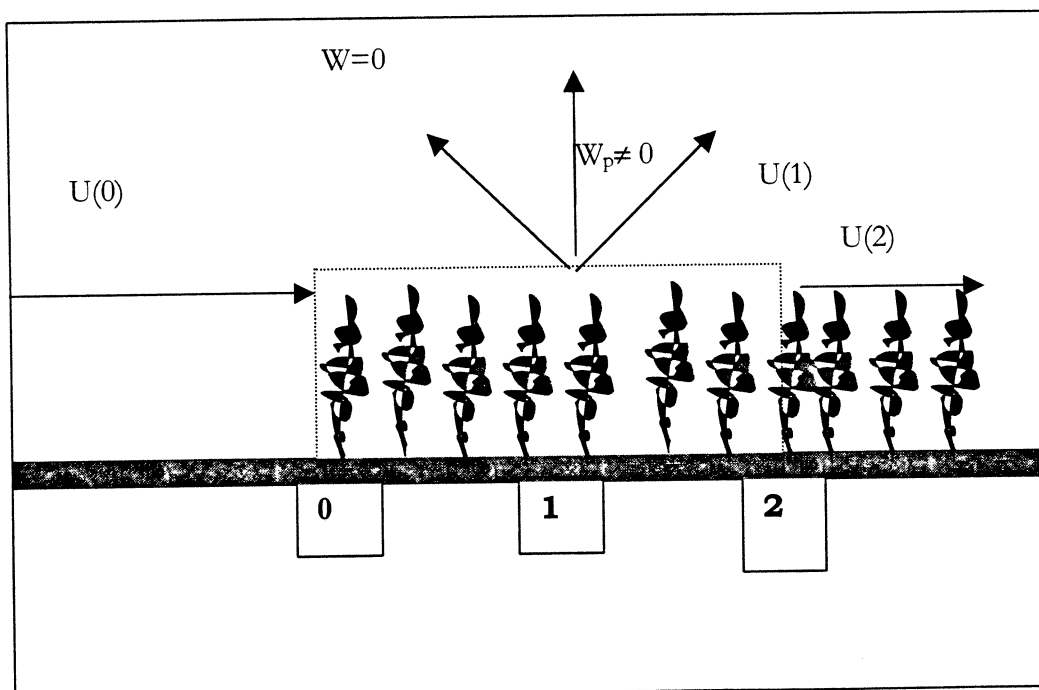


Figura 2.2 Cambios en la rugosidad de la superficie vientos arriba y advección horizontal.

Segundo el cambio en la rugosidad de superficie suave a una superficie vegetal reduce la velocidad horizontal U , forzando a que la capa del aire se expanda, de esa manera U tiene un componente promedio vertical w_p en alguna distancia vientos abajo del punto 0. La técnica del EBBR y EC no cuantifican el transporte medio de w_p correctamente.

La velocidad vertical del viento es medida unidimensionalmente con un anemómetro sónico modelo CA27 de CS, una versión modificada de éste es reportada por Campbell y Unsworth (1979). La respuesta electrónica es de 40 Hz pero la limitación efectiva es la pérdida de respuesta a los remolinos dimensionalmente pequeños que a la longitud de recorrido del anemómetro sónico. En este sentido el tamaño de remolino varió directamente con z , su uso bajo ciertas alturas es problemático. La longitud de recorrido del anemómetro sónico usualmente permite mediciones a 1 m de altura, reduciendo los requerimientos de fetch.

Cambios en Zero offset en la señal de w causado por cambios en la temperatura en el transducer sónico excluyen el uso del CA27 para mediciones absolutas de w . Por esta razón, largos promedios de flujo (por ejemplo 1 hora) serán evitados. Mediciones

de w' sobre el promedio de promedio normal se comparan favorablemente con los de otros anemómetros sónicos (Biltoft y Gaynot, 1987).

La temperatura es medida con un termopar de alambre fino de 0.013mm de diámetro, un termopar tipo E con una respuesta aproximada de 30 Hz. Temperaturas absolutas no son medidas. En cambio la medición es referida a la temperatura dentro de la base del CA27. Pruebas originales indican un tiempo termal constantes de 20 minutos para la unión de referencia.

Esto es adecuado para la mayoría de los periodos promediando los flujos pero Biltoft y Gaynor (1987) reportan tiempos constantes mas cortos.

Cambios en la temperatura de referencia durante un periodo promedio de evaluación de los flujos, afecta las mediciones de H similarmente para cambios en w mencionados anterior mente.

Sensores económicos y de respuesta rápida para medir vapor de agua actualmente permanecen como un desafio y han evitado que se conozca mas ampliamente a la técnica de la correlación eddy, el higrómetro modelo KH₂O ultravioleta (Campbell y Tanner, 1985) es el que se usa actualmente, similar en principio al

higrómetro Lyman-alpha (Buck, 1976) excepto que la fuente contiene una lámpara de kriptón. La primera alternativa de aproximación de higrómetros de respuesta rápida usa absorción infrarroja (Ohtaki y Matsui, 1982) pero estos sensores son mas caros y difíciles de obtener comercialmente.

La principal desventaja del KH_2O es la escala de la fuente de la ventana de la lámpara debido a la disociación de constituyentes atmosféricos por los fotones UV y la tasa de la escala.

El método tiene uso potencial en tierras secas donde el método de gradientes tales como la relación Bowen llegan a ser susceptibles de grandes errores. En general la utilidad de un sistema portátil del sistema Eddy para periodos cortos es confiable.

Muchas contribuciones individuales a la técnica de la correlación Eddy se han dado, Swinebank (1951) dio la primera demostración de la factibilidad del método (Dyer, 1961; Miyake y McBean, 1970; Hicks, 1987), recientemente lo caro y complejidad logística ha impedido la popularidad del uso de este método como una herramienta de investigación. El desarrollo y la baja de los costos en la construcción de un anemómetro sónico (Campbell y Unsworth, 1979; Shuttleworth *et al.*, 1982) ha dado un renovado interés en esta técnica. Adicionalmente la disponibilidad de

microprocesadores para campo Dataloggers, los cuales calculan los flujos en línea, logrando disminuir la complejidad de las operaciones. La aplicación rutinaria de la correlación eddy para trabajos de Evapotranspiración ha sufrido la falta de un sensor barato, confiable y de respuesta rápida para el vapor de agua. Progresos continuos se han hecho en el campo de la higrometría (Campbell y Tanner, 1985), como mejoras en la instrumentación, permaneciendo una pregunta ¿ Trabaja eficientemente un sistema en una dimensión, con tiempo promedio de una simple representación de transporte de flujos de la superficie por proceso totalmente turbulento?.

Durante Julio 8 al 13 se realizaron mediciones del flujo de calor sensible y latente con seis estaciones eddy correlación (EC) en la estación agrícola experimental de Temple, Texas. Un girómetro nuevo de absorción ultravioleta fue usado para medir la fluctuación de la densidad del vapor de agua, la radiación neta y el flujo de calor en el suelo fueron medidos y usados para evaluar los flujos turbulentos para el balance de energía.

Al mismo tiempo se registraron mediciones de ET con un lisímetro, variaciones de velocidad vertical del viento w , temperatura

del aire T , y densidad de vapor de agua q , para comparar los diferentes sensores.

Cuando ciertas asunciones son válidas, predicciones teóricas de los flujos de la superficie pueden ser medidos por la correlación de las fluctuaciones de la velocidad vertical del viento con las fluctuaciones en la concentración de mezclas tales como calor, vapor de agua, CO_2 , etc. Para calor sensible H y calor latente LE la covarianza de la velocidad vertical del viento (ms^{-1}), temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) y densidad de vapor (gm^{-3}) están formulados por:

$$H = C_p \rho_a \overline{w'T'} \quad (2.18)$$

$$LE = L \overline{w'q'} \quad (2.19)$$

Donde C_p y ρ_a son el calor específico y la densidad del aire y L es el calor latente de evaporización. Las unidades de H y LE son Wm^{-2} , la barra son promedios de tiempo y la prima son las desviaciones instantáneas sobre el promedio de tiempo.

La ecuación (2.18) y (2.19) describen los componentes del flujo turbulento y representan los flujos de una superficie solo cuando la media de los componentes es cero por ejemplo $w = 0$, esta asunción no es válida si existen obstáculos, vientos abajo o grandes cambios en la rugosidad de la superficie evaluada. Si un sensor

unidimensional es usado para las mediciones de la velocidad del viento, la alineación vertical es un punto crítico porque las fluctuaciones en vientos horizontales se presentarán como fluctuaciones de la velocidad vertical medida w .

Se requiere de un fetch representativo en este sentido las mediciones son efectuadas a la altura sobre la superficie y representan los flujos de la superficie vientos arriba. En ausencia de grandes obstáculos vientos arriba relaciones de altura fetch de 100 m son usualmente adecuadas para la representación de la superficie pero fetchs mayores son deseables. El efecto en la turbulencia de grandes objetos vientos arriba es una función de su altura pero puede ocurrir a gran distancia vientos abajo.

La distribución del tamaño de los eddy que contribuyen al transporte vertical crea un rango de frecuencias importantes de las mediciones de las estaciones eddy. El sensor deberá de tener suficiente respuesta para medir a la frecuencia en la parte final alta del rango, mientras las covarianzas de tiempos promediados serán lo suficientemente grandes para incluir frecuencias en la parte final baja. Un trabajo de ancho de banda combina el resultado de muchos investigadores (McBean, 1972) y está dado por:

$$10^{-3} \leq f_z/u \leq 10 \quad (2.20)$$

Donde z es la altura de la medición en metros, f es la frecuencia en hz, y u es la media de la velocidad horizontal. Como muestra la ecuación 2.20 el requerimiento de la respuesta del sensor decrece y el tiempo promedio se incrementa conforme la altura de las mediciones se incrementa.

Idealmente, para medir la mezcla de vapor y calor el sensor ocuparía el mismo punto en el espacio como el sensor de la velocidad del viento. En la práctica, el sensor será separado suficientemente para evitar la distorsión de campo del viento o en el caso del anemómetro sónico, evitar la distorsión de la señal debida a la refracción acústica. Dyer (1982) calculó la reducción del 10 por ciento en H y LE, para una separación de 20 cm a 4m de altura. El error se incrementa para alturas menores.

Medición de Flujos de Calor y Vapor de Agua en Superficies Vegetales

La mayoría de las investigaciones realizadas donde se demuestran los beneficios del acolchado de suelo se han realizado en parcelas pequeñas y únicamente se ha medido la temperatura

del suelo, o se han realizado mediciones puntuales del contenido de humedad en el suelo, para determinar el consumo de agua de los cultivos bajo acolchado.

Sin embargo la presencia del acolchado plástico en la superficie del suelo de cultivo tiene efecto en todos los componentes de la ecuación del balance de energía. La medición de cada uno de los componentes del balance de energía en un cultivo de maíz con residuos de cosechas anteriores, encontraron que los residuos de cultivos en la superficie del suelo tienen efectos potenciales diferentes en los componentes del balance de energía Sowers y Welterlen (1995). En previas investigaciones se ha encontrado que residuos de cosecha afectan las etapas tempranas de desarrollo del cultivo, el régimen de humedad y temperatura del perfil superficial del suelo. Las mediciones de flujos de energía se realizaron utilizando un sistema Bowen dentro de un cultivo de maíz (*Zea mays* L) con labranza de conservación en Ames, IA, USA, durante el Otoño se registraron periodos de luz solar cortos, lo que resultó en valores de energía disponible ($R_n - G$) menores de $5.1 \text{ MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$. En días nublados con una superficie del suelo seca, se obtuvieron promedios de la relación de Bowen menores a 1.5 y de 42 a 75 por ciento de la energía disponible fue consumida por la evaporación. En condiciones de varios días soleados la relación de Bowen fue

mayor a 2.3 y menos del 21 por ciento de la energía disponible fue consumida por evaporación. Cuando la superficie del suelo estuvo húmeda se encontraron diferencias muy pequeñas en el promedio de la relación de Bowen (1.0 y 1.5 en días soleados contra 0.87 y 1.84 en días nublados). En la estación de primavera la energía disponible fue mayor (mas de $12.9 \text{ MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$) con un promedio de la relación de Bowen de 1.7 y 0.8 en días soleados y nublados respectivamente. Los resultados de este estudio tienen implicaciones directas en el entendimiento de cómo los residuos de cultivos afectan el intercambio de energía, en el microclima y en el balance de humedad, aun cuando el suelo se encuentre seco y el residuo de cosechas húmedo. Además se observó que lluvias pequeñas por varios días no afectan al contenido de humedad en el suelo. Una vez que el residuo está seco, cualquiera que sea el estado del rastrojo este limita la evaporación y promueve fuertes gradientes de temperatura y presión de vapor entre el suelo por debajo del esquilmo y sobre este con la atmósfera. De este modo una capa de residuos húmedos tiene un pronunciado efecto en la partición de energía en la superficie del suelo por lo cual más estudios sobre la dinámica de humedad de los residuos son necesarios para mejorar el manejo de los residuos de cosechas en sistemas de producción con labranza de conservación.

Existen varias técnicas para estimar la evaporación de la superficie de la tierra (o flujo de calor latente LE) pueden ser mediciones directas en la superficie terrestre, en la atmósfera del flujo de calor latente o inferirse de la magnitud y dirección de flujos verticales de agua en el subsuelo.

Se han desarrollado muchas aproximaciones para propósitos agronómicos, donde las condiciones ambientales no son extremas y los flujos de vapor de agua son grandes. Mediciones directas se pueden realizar con Lisímetros o mediciones directas de flujo de calor latente en la atmósfera mediante Bowen ratio (Malek *et al.*, 1990) o Eddy Covariance (Parlange *et al.*, 1995) en cada una de estas técnicas la escala de tiempo de las mediciones es muy corta, de horas, días o meses. La resolución espacial tiene rangos de menos de 1m^2 (lisímetros) a 10^4m^2 (métodos micrometeorológicos).

Diversas técnicas para medir la evaporación en el lago Owens al Este de California, fueron evaluadas y el método de la correlación Eddy fue el método más confiable para mediciones de flujos de evaporación pequeños. Los microlisímetros presentaron una buena correlación con el método de la correlación Eddy, sin embargo presentaron dificultades cuando se presentaron condiciones de erosión y transporte eólico (Allison y Barnes, 1985).

La técnica de la relación Bowen y el evaporímetro fueron insensibles a los pequeños flujos de evaporación. El método del perfil de cloro desarrollado por Ullman (1985) y Allison and Barnes (1985) subestimó la evaporación actual cuando se comparó con los métodos de la correlación Eddy y el microlisímetro. La fuente de error probablemente es debida a la adición de flujos osmóticos y termales en el perfil superior del suelo de 0.5 a 1 m, los cuales producen más difusión en el perfil que el predecible por simple difusión molecular. Sin embargo el método es simple.

Se determinó la partición del balance de energía en los cultivos de avena, centeno y suelo desnudo, evaluado durante un periodo largo, los cultivos fueron establecidos en otoño de 1994, y las mediciones se realizaron desde el establecimiento hasta el año de 1997 con la finalidad de evaluar la evapotranspiración de estos cultivos en la estación de dormancia e identificar diferencias en la magnitud de la evapotranspiración. En la parte central de Iowa, USA, se seleccionaron tres campos representativos de cobertura de cultivos de avena y centeno y un suelo desnudo, los cuales fueron instrumentados para medir la radiación neta, los flujos de calor latente, sensible y al suelo, usando la técnica de la relación Bowen. Se monitoreó continuamente desde Octubre de 1994 a Marzo de 1997. Los resultados muestran que la partición del balance de

energía sobre avena, centeno y suelo desnudo durante el otoño-invierno es determinado por el clima, nieve, cobertura de residuos y la energía disponible. La evaporación estacional total de la mitad de Octubre hasta finales de febrero estuvo en el rango de 118 a 204 mm para el 3 año de estudio (Pruger *et al.*, 1998).

La evapotranspiración es el principal proceso de disipación de la energía radiante en regiones de pastizales en climas fríos y templados. Las tasas diarias de evapotranspiración de pastos altos pueden ser significativamente más altas que las de regiones forestales de coníferas con un índice de área foliar alto (L). A pesar del importante papel de las regiones de pastos con respecto al ciclo hidrológico, relativamente son pocos los registros continuos del balance de energía que están actualmente disponibles (Killiher *et al.*, 1993).

La evapotranspiración puede ser influenciada por parámetros meteorológicos, incluyendo, radiación velocidad del viento, temperatura y déficit de presión de vapor del aire (D) y por factores biofísicos del sistema suelo planta, tales como a la humedad del suelo disponible, la composición de las especies, la estructura del follaje, los atributos fenológicos y fisiológicos de las plantas. En una superficie de pastizal sin limitaciones de humedad en el suelo, ni

nutrimentos, la evapotranspiración es controlada por la energía disponible mas que por el déficit de presión de vapor (D) del aire. La relativa uniformidad y suavidad aerodinámica de la superficie causa pequeños mezclas turbulentas. Consecuentemente el grado de acoplamiento entre el aire dentro del dosel del pasto y la atmósfera es bajo.

La partición de energía disponible en flujo de calor latente (LE) y flujo de calor sensible son características de la superficie vegetal, tal como el comportamiento del estoma y del dosel en términos de la resistencia de la superficie (r_s). Este último depende en (L) y es influenciado por la fisiología de la planta y parámetros ambientales, tales como la humedad del suelo y nutrimentos disponibles (Kelliher *et al.*, 1993; Schulze *et al.*, 1994).

En Suiza se evaluó el balance de energía de pastos a tres diferentes altitudes sobre el nivel del mar (548 m, 915m, y 1367 m) con la finalidad de relacionar los cambios estacionales en los flujos de energía con los cambios en la estructura del dosel y la humedad del suelo a diferentes altitudes. Se utilizó un sistema Bowen el cual estuvo trabajando los años 1993 y 1994.

Independientemente de la altitud el máximo albedo ocurrió con un (L) de 3 - 4. Las máximas tasas de evapotranspiración

fueron de 0.74mmh^{-1} y 5mmd^{-1} , y la evaporación fue fuertemente correlacionada con la energía disponible ($R_n - G$). Variaciones en la partición de energía fue asociada con diferentes valores de resistencia de la superficie (r_s). La altitud no afectó el valor de la radiación y el balance de energía a pesar de que en la superficie del suelo quedaban residuos de materia seca. Además la eficiencia en el uso del agua, calculada como la relación entre rendimiento y evapotranspiración total, declinó con la altitud. Esta declinación fue acompañada de un incremento en la masa radical.

Los valores de albedo fueron de alrededor de 14 por ciento después de cosecha cuando α fue fuertemente influenciado por la baja reflectividad del suelo, los valores se incrementaron considerablemente en un 22 por ciento en el verano y 24 por ciento en el otoño para los sitios más bajos y de un 20 a 22 por ciento para los sitios más altos. Durante la primavera y el otoño el ángulo de elevación del sol fue bajo lo cual causó un alto valor de albedo del dosel completamente desarrollado comparado con el verano (Monteith y Unsworth, 1990).

El balance de energía no presenta diferencias entre los sitios evaluados. El promedio de flujo de calor en el suelo (G) fue de 50 a 100Wm^{-2} para plantas bien desarrolladas y alcanzó 200Wm^{-2} con

cielos claros y después de cosecha. El valor mas alto de LE fue de 400 a 500 Wm^{-2} (correspondiente a 0.67 a 0.83 Rn). Típicamente valores de LE para cultivos agrícolas están en el rango de 0.7 a 0.96 Rn y para un pasto alto de la pampa se tienen valores similares entre 0.58 Rn y 0.83Rn. Valores bajos alrededor de 0.5 Rn fueron reportados para un pasto bajo en la pampa Argentina (Rosset *et al.*, 1997).

Un modelo numérico se desarrolló para analizar la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones de acolchado con polietileno transparente, el modelo establece cuatro capas para el sistema: Atmósfera, dosel, acolchado y suelo, para cada una de las capas se derivó el balance de energía, el calor en el suelo y el flujo de agua fue descrito por una ecuación unidimensional en la cual la interacción entre el calor y el agua fue considerada a través de coeficientes. El método de Newton-Raphson y diferenciales finitas fue usado para resolver las ecuaciones. El modelo fue verificado con la comparación de datos estimados y medidos. Se seleccionó un periodo de 210 días para analizar la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones de acolchado y no acolchado. Se encontró que la transpiración de los cultivos fue más grande en el acolchado que en el cultivo no acolchado, sin embargo la evaporación de la superficie

de suelo es eliminada y el total de evapotranspiración es menor que en el campo que no tiene acolchado (Huang y Shen, 1999).

La evapotranspiración del cultivo con acolchado fue menor que la de un campo sin acolchado porque la evaporación es eliminada por el acolchado. El agua conservada por el acolchado fue 6.4 por ciento en este estudio. La transpiración del cultivo acolchado se incrementa 16.5 por ciento en comparación con el no acolchado.

En la evaluación los componentes del balance de energía para condiciones de acolchado y no acolchado se reporta que el día 248 del año la diferencia entre el acolchado y no acolchado, considerándose como un día de un periodo seco, el cual se definió cuando la superficie del suelo fuera visiblemente seca. La evaporación fue muy baja y consistente estable durante todo el día. El flujo de calor latente fue probablemente limitado por la resistencia de la capa de suelo seco a la difusión del vapor de agua mas que por la radiación solar sobre la superficie. A medio día R_n fue ligeramente mayor en la superficie acolchada ($\approx 525 \text{ Wm}^{-2}$) que en la superficie de suelo desnudo ($\approx 490 \text{ Wm}^{-2}$). Mientras que el flujo de calor en el suelo para el acolchado G_a y para el suelo desnudo G_d fue casi idéntico. La superficie acolchada y de suelo

desnudo fue una fuente de calor sensible H , pero el calor sensible en el acolchado H_a excedió al flujo de calor sensible en el suelo desnudo H_d durante todo el día y por más de 150 Wm^{-2} cerca del medio día, bajo esas condiciones de periodo seco. Una gran cantidad de flujo de calor sensible podría converger sobre las plántulas recién transplantadas del acolchado (más de 400 Wm^{-2}) y para el suelo desnudo (más de 225 Wm^{-2}) que puede inducir altas tasas de transpiración (Tarara y Ham, 1999).

El balance de energía para el día 272 característico de un periodo húmedo, que se identificó visiblemente por la superficie del suelo húmeda. La energía disponible para la superficie acolchada y suelo desnudo (R_n+G) fue similar. Durante la tarde el suelo desnudo cambia de una fuente a una a una ligera demanda de H .

Como H_a es grande debido a R_{n_a} el balance de energía de acolchado fue similar si la superficie del suelo fue húmeda o seca. La irradiación global fue consistente mente muy alta excediendo los 800 Wm^{-2} alrededor del medio día en días de cielos claros.

Las franjas de plástico negro del acolchado son una considerable fuente de calor sensible, sin tomar en cuenta el balance de energía de la parte del suelo desnudo. El suelo desnudo entre las camas puede ser una fuente de H cuando esta superficie

está seca. Consecuentemente substanciales aportes de H pueden converger sobre las plántulas, mas que en una superficie sin plástico, sin embargo debido a que el plástico es virtualmente impermeable al agua y vapor de agua, H_a depende directamente del valor de Rn_a logrando valores diarios máximos de 550 Wm^{-2} durante el experimento, para disminuir el valor de H_a uno puede reducir Rn_a que se lograría alterando las propiedades ópticas del plástico.

El modelo de balance de energía fue usado para simular en una hoja suspendida sobre cada acolchado plástico. Se ejecutó la simulación para cada periodo de tiempo en el día 219 y 270 del año, en los cuales la temperatura de la superficie del acolchado y los datos ambientales estuvieron disponibles, hojas estresadas y no estresadas se simularon por medio de su resistencia estomática que presentaran de 100 a 1500 sm^{-1} respectivamente. Entre todas las simulaciones la temperatura mas alta fue experimentada sobre el acolchado blanco con negro y plateado embozado. La temperatura más baja de la hoja fue consistente se mostró sobre el acolchado plateado reflectivo, En el día 219 la temperatura de la hoja en el acolchado reflectivo fue de 2 a $3 \text{ }^\circ\text{C}$ más baja que la del acolchado blanco con negro. Adicionalmente altas temperaturas de la hoja sobre acolchado blanco con negro, resultan en un 20 por ciento de

incremento diario en el uso del agua comparado con las hojas que estaban sobre el acolchado reflectivo plateado. En el día 270 diferencias entre temperatura de la hoja simulada fueron más pequeñas, debido a la baja radiación y la alta velocidad del viento. Los resultados de 219 y 270 muestran que a la influencia del acolchado en la temperatura de la hoja fue mayor bajo condiciones de estrés.

Este estudio muestra que un rango muy amplio de propiedades fotométricas asociadas con los plásticos agrícolas potencialmente puede influenciar en las condiciones ambientales sobre el suelo de radiación y temperatura. Los resultados muestran que la cantidad de radiación emitida y reflejada de los acolchados. Podría afectar la temperatura de la hoja y el uso de agua en plántulas al momento del transplante. Simultáneamente se sugiere que en general la refracción de radiación de onda corta del acolchado tiene un gran impacto en el microclima de la hoja así como en la temperatura de la superficie. Sin embargo estos resultados no consideran el efecto de escalamiento de hojas debido al contacto físico entre las hojas y la superficie caliente del acolchado o el potencial impacto del aire caliente originado en el agujero de inserción cerca del tallo de la planta.

En un estudio con películas negra, transparente y metalizadas para relacionar las propiedades ópticas con los cambios en la radiación neta sobre y por debajo del acolchado. Las propiedades ópticas de las películas de polietileno transparente, negro están bien documentadas, pero esta misma información no está disponible para otras películas de uso actual como las metalizadas fabricadas con otros polímeros como EVA y polyester (AL) (Ham y Senock, 1992).

La radiación neta para el 25 de Junio, seleccionado como un día representativo de un día despejado. El pico de la radiación fue aproximadamente los 750 Wm^{-2} . La partición de energía y de temperatura del suelo de cada parcela acolchada es más notable que en el suelo desnudo.

Durante el día la energía disponible para radiación neta expuesta en la superficie del suelo fue aproximadamente el 65 por ciento de la radiación solar. El balance de energía de la superficie del suelo desnudo cambia conforme la superficie del suelo se seca. Inicialmente la conducción al interior del suelo fue $R_n/4$. Esta fracción decreció durante la mañana y el valor más alto de flujo de calor (G_0), se alcanzó después de medio día. En la noche la diferencia entre el flujo de calor a la superficie del suelo y la pérdida

de radiación calorífica puede ser atribuida a la evaporación de la superficie.

La radiación neta sobre el acolchado negro fue casi la misma que en el suelo desnudo. Sin embargo durante el día el flujo de radiación neta recibida por el suelo fue aproximadamente la mitad del flujo incidente sobre el acolchado porque de la absorción de la radiación solar por la película ($\tau = 0$). El resultado del flujo de calor durante el día al interior del suelo fue similar al que el suelo desnudo, pero durante la noche, la pérdida fue reducida por el aislamiento que da el acolchado. El efecto neto del acolchado fue el aumento de la temperatura media diaria del suelo alrededor de 3 °C.

El flujo de radiación neta fue similar sobre el acolchado transparente y sobre el suelo desnudo. El flujo neto bajo películas transparentes fue solo una pérdida pequeña que sobre la superficie. Efectivamente valores de R_n alcanzaron el 60 por ciento de la radiación total antes del medio día. Consecuentemente el calor ganado por el suelo durante el día fue sustancialmente más grande que en el suelo desnudo, mediciones de flujo fueron alrededor del 70 al 30 por ciento mas altas durante la mañana y tarde respectivamente.

Para el acolchado de aluminio la reflectividad a medio día medida in situ fue del 55 por ciento. En consecuencia los valores de radiación neta medidos sobre el acolchado fueron del 70 por ciento del correspondiente flujo sobre el suelo desnudo. La radiación neta abajo del acolchado aluminio (R_n) fue la mitad que sobre éste.

Se asume que una superficie de plástico blanco es alrededor de 15 °C mas fría que un plástico de acolchado negro (Ham *et al.*, 1993) la emisión de longitud de onda larga será muy baja (400 Wm^{-2} a 25 °C) y (485 Wm^{-2} a 40 °C).

El acolchado negro refleja una pequeña cantidad de radiación solar dentro del dosel menos de 25 Wm^{-2} al medio día en un día soleado. (Por ejemplo 3 por ciento de 800 Wm^{-2}) en contraste con un acolchado blanco que refleja el 48 por ciento de la R_s hacia el dosel de la planta (por ejemplo 385 Wm^{-2} de una radiación incidente de 800 Wm^{-2}). Además la radiación total directa hacia el dosel es mas alta sobre un acolchado blanco (785 a 870 Wm^{-2}) que sobre un plástico negro (500 a 600 Wm^{-2}), (Tarara, 2000).

La convección es el principal mecanismo de transferencia de energía en el acolchado plástico y del suelo desnudo. Un perfil de temperaturas a medio día de dos metros de altura de la superficie

acolchada ilustra la fuerza de conducción H. El plástico negro fue alrededor de 20 °C mas caliente que la temperatura del aire medida a 2.5 cm. Un suelo desnudo seco entre las camas acolchadas fue alrededor de 7°C mas caliente que la capa de aire inmediatamente superior. En otro trabajo la temperatura media diaria del aire sobre suelo desnudo, plástico transparente y plástico blanco fue 1°C y 5°C mas alta que la temperatura del aire en el suelo desnudo y los acolchados respectivamente (Wien *et al.*, 1993).

Usando una colección de datos en Kansas, USA se simuló G bajo acolchado transparente y acolchado negro (Ham y Kluitenberg, 1994). Ningún plástico induce gran flujo de calor durante la mitad del verano porque una vez que la energía fue transmitida del plástico al suelo se propaga por conducción dependiendo de las propiedades térmicas del suelo. Una película coextruida blanco/negro con el blanco hacia arriba el cual refleja el 48 por ciento de la Rs y presenta el valor mas bajo G simulado. En la mitad del verano la temperatura de la superficie del suelo fue al mucho 17 °C mas baja en acolchado blanco que en el acolchado negro (Ham *et al.*, 1993).

La geometría del sistema de acolchado también influye en G. Camas elevadas tienen una gran superficie de conducción que

recibe el sol en los dos lados de la cama. Bajo un acolchado transparente la temperatura del suelo es $> 35^{\circ}\text{C}$ y ocurre más frecuentemente en camas elevadas que a nivel del suelo (Cavero *et al.*, 1996). Un incremento en la temperatura promedio de 2 a 4°C se ha reportado en camas elevadas (Chellami *et al.*, 1997). El ancho del acolchado de suelo puede ser manipulado para minimizar el efecto de orilla, donde el incremento de la temperatura del suelo abajo del acolchado declinó del centro a las orillas del plástico (Mahrer y Katan, 1981). Camas mayores de 60 cm de ancho aparentemente minimizan el efecto de orilla. Sin embargo en un estudio de solarización con camas de 2.5 se encontró un gradiente decreciente de temperatura de la mitad del acolchado a la orilla, correlacionado directamente con un correspondiente gradiente de control de nemátodos y altura de plantas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Trabajo de Campo

El trabajo experimental se realizó en una superficie de 10 ha, en el Rancho los Arrepentidos en Paila, municipio de Parras de la Fuente, Coahuila, a 136 Km al poniente de la ciudad de Saltillo, Coah. y a una altitud de 1110 msnm. El clima de la región de Paila de acuerdo a la clasificación de Köeppen y la modificación por García (1973) para la República Mexicana se define como un seco estepario con días calurosos a finales de la primavera y en el verano, con una temperatura media anual de 18 a 36 °C. La precipitación es escasa y se presenta en los meses de Junio a Septiembre, con un rango de 250 a 400 mm anuales.

Características Edáficas y Vegetativas de la Región

Los suelos de Paila, presentan extensos afloramientos rocosos que se alternan con áreas de suelos muy someros y pobres en

materia orgánica. Las llanuras y fondo de los valles de relieve plano o con pendientes muy leves, suelen presentar suelos más profundos de materiales aluviales, en donde el grupo de los Xerosoles y Yermosoles son los más predominantes. Estos son de textura más fina y en ocasiones son salinos y sódicos. Son muy abundantes los suelos Xerosoles cálcicos que presentan evidencias claras de migración de carbonatos dentro de su perfil, proceso formador de suelos calichosos típicos de estas regiones de tipo seco.

La vegetación de Paila es predominante de matorrales desérticos micrófilos, de acuerdo a su clima seco y sus suelos relativamente pobres. Por otra parte, la gran mayoría de los matorrales están constituidos de especies forestales No Maderables como lechuguilla, palma y candelilla entre otras. El tipo de relieve predominante es de topografía con poca pendiente de uno a dos por ciento.

De acuerdo al análisis físico-químico del suelo (Cuadro 3.1) éste se considera neutro de acuerdo al valor de pH, el contenido de materia orgánica se considera medianamente pobre, el contenido de nitrógeno es extremadamente pobre y el alto valor de carbonatos totales indica un suelo característico de regiones áridas y semiáridas.

Cuadro 3.1 Análisis físico-químico del suelo en el sitio experimental en Paila, Coah., 1998.

Parámetro	Estrato		
	00-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
pH (Saturación)	6.88	6.9	6.89
Materia Orgánica %	0.748	0.408	0.272
Nitrógeno Total %	0.037	0.020	0.01.
Potasio KgHa ⁻¹	Mas de 900	Mas de 900	549
Fósforo KgHa ⁻¹	11.25	9.0	9.0
Carbonatos Totales %	50.6	48.2	45.8
Arcilla %	21.6	29.6	37.6
Limo %	38.0	34.0	30.0
Arena %	40.4	36.5	32.4
Textura	Migajón	Migajón Arcilloso	Migajón Arcilloso
C.E. dSm ⁻¹	4.67	4.69	4.88
Na ⁺ meql ⁻¹	2.8	2.7	2.5
Ca ⁺ meql ⁻¹	25.2	25.8	27
Mg ⁺⁺ meql ⁻¹	14.0	47.4	48
Cl ⁻ meql ⁻¹	54.32	14.7	19.6
SO ⁼ meql ⁻¹	1.0	42.41	29.13
CO ⁼ ₃ meql ⁻¹	5.0	0.66	0.66
HCO ⁼ ₃ meql ⁻¹		4.5	4.5

Como en la mayoría de los suelos de la República Mexicana se presentan altos valores de potasio, clasificándose como extremadamente rico, pero con respecto al fósforo se considera muy pobre. El valor de conductividad eléctrica determina que es un suelo salino.

Establecimiento del Trabajo de Campo

El área experimental se estableció en un lote de 10 ha de cultivo de melón con acolchado de suelo y riego por goteo a escala comercial. En esta superficie, una hectárea no se acolchó para dejarse como sección testigo (Figura 3.1). El plástico utilizado en el acolchado de suelo fue de polietileno negro de 37.5 micras de espesor y 1.20 m de ancho, el marco de plantación del cultivo fue de 1.83 m entre hileras de plantas y 30 cm entre plantas, se trazaron camas de siembra de 0.63 m de ancho y 20 cm de alto, dejando un pasillo entre las camas de 1.2 m. La siembra se realizó el 7 de abril de 1998 usando el híbrido Cruiser F1, Después de la siembra se regó hasta alcanzar capacidad de campo y posteriormente se regó diariamente 5 horas y al final del ciclo agrícola cada tercer día con un tiempo de riego de 5 horas, aplicando una lámina de riego de 6.5 mm Los tiempos de riego fueron los mismos en las dos secciones.

Manejo Agronómico del Cultivo

El manejo agronómico del experimento fue el mismo para las dos secciones de estudio, la fertilización, control de plagas y enfermedades se realizó conforme al paquete tecnológico empleado

por el productor.

Instalación de las Estaciones Eddy

Los componentes de la ecuación del balance de energía se midieron usando dos estaciones eddy covariance (Campbell Scientific, Inc. Logan UTAH). Una estación fue colocada en la sección de terreno con acolchado de 9 hectáreas y la otra se colocó en la sección no acolchada de una hectárea Figura 3.1a. Ambas estaciones fueron colocadas al lado Oeste de cada una de las secciones de estudio, con la finalidad de obtener el máximo fetch para las condiciones de los vientos dominantes del Este. Cada estación Eddy consistió de un anemómetro sónico (CA27), un higrómetro de kriptón (KH_2O), un termopar de alambre fino (127μ) y un datalogger (21x), además en cada estación se midió la radiación neta (Net Radiometer Q-7.1), el flujo de calor en el suelo se midió con un plato de flujo de calor (HFT-3) Figura (b) y el contenido de humedad en el suelo con un water content reflectometer (CS621). La velocidad y dirección del viento con un anemómetro de copa y una veleta (03001-5 y 03101-5 R.M. Young) se midió en una estación de la relación.

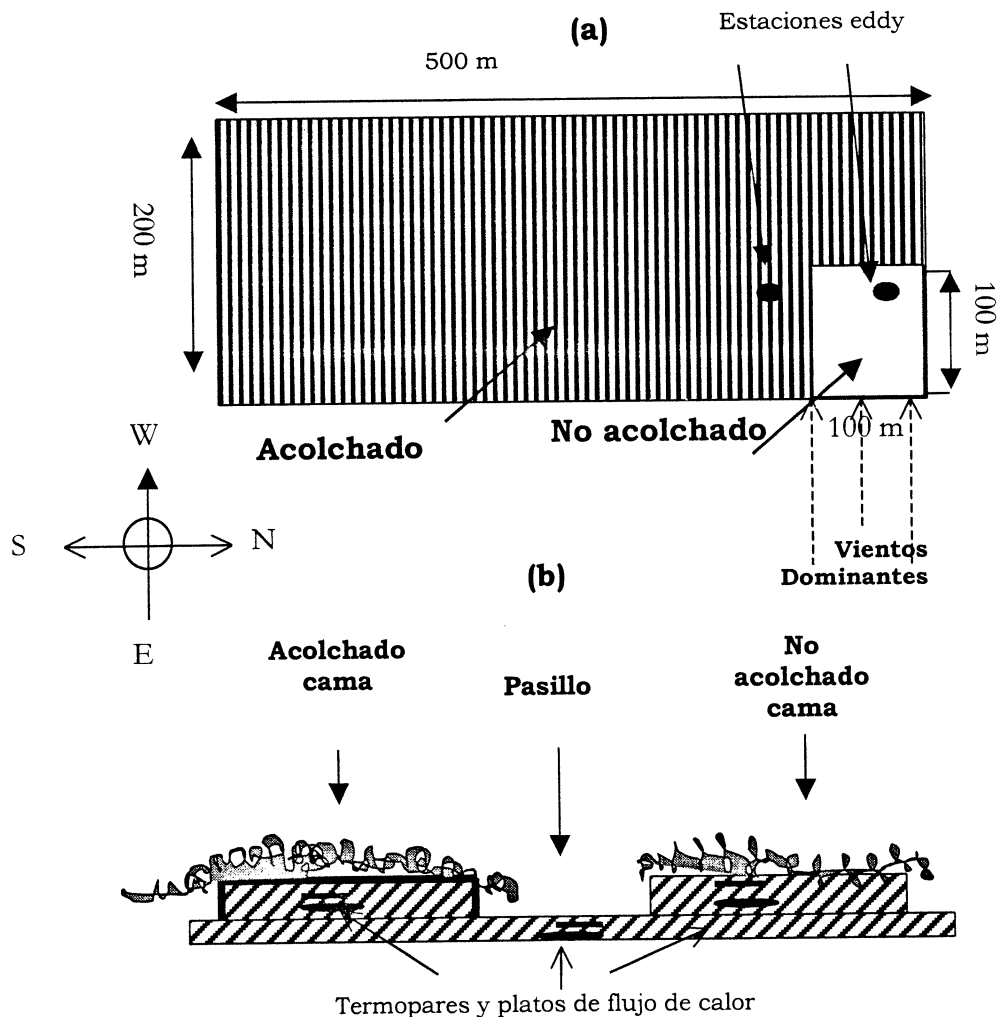


Figura 3.1 Croquis de campo con la ubicación de las estaciones eddy (a) y los termopares y platos de flujo de calor (b) en condiciones de acolchado y no acolchado en el cultivo de melón en Paila, Coah., 1998.

Medición de los Componentes del Balance de Energía

Las estaciones eddy se colocaron en la parcela acolchada y en la parcela no acolchada con la finalidad de realizar mediciones

simultáneas para comparar el efecto del acolchado de suelo en los componentes de la ecuación del balance de energía. Las estaciones registraron datos de temperatura del aire (t_a), humedad específica (q) y velocidad vertical del viento (w) a una frecuencia de 5 Hz, la radiación neta, el flujo de calor en el suelo, la velocidad y dirección del viento se registró cada 20 segundos y el contenido de humedad en el suelo (θ_w), se registró una vez cada 20 minutos, para hacer promedios cada 20 minutos de todas las observaciones puntuales, estas mediciones se tomaron continuamente desde el 15 de abril hasta el 7 de julio en las dos parcelas. Con estos datos se obtuvieron los promedios de 20 minutos de flujo de calor latente (LE), flujo de calor sensible (H), flujo de calor del suelo (G), además de la radiación neta (R_n), contenido de humedad en el suelo (θ_w), velocidad y dirección del viento.

La altura a la cual se midió la radiación neta fue 1.7 m con la finalidad de cuantificar la parte con plástico y la parte sin plástico en la sección acolchada, en la sección no acolchada la altura del sensor de radiación neta fue la misma. Los platos de flujo de calor se colocaron a 8 cm de profundidad en la parte de la cama con acolchado y sin acolchado, además se colocaron en el pasillo, Figura 3.1b (parte seca). Para obtener el promedio ponderado del

flujo de calor en cada superficie, en función del porcentaje de área cubierta por camas y por pasillos (parte seca)

Medición de la Temperatura de la Superficie

La temperatura aparente de la superficie del acolchado plástico, de la cama de cultivo y del pasillo entre camas se midió con un termómetro infrarrojo para tener un comparativo de las condiciones puntuales de cada una de las condiciones que guardaban las superficies involucradas en nuestro trabajo experimental.

Estas mediciones se realizaron cada 8 días midiendo únicamente la superficie de interés, por ejemplo cuando se midió la superficie del plástico se evitó estar midiendo el follaje o el suelo desnudo, las lecturas se tomaron a un metro de distancia de la superficie.

Recolección de Datos en Campo

Cada semana se recabó la información mediante una computadora portátil y se dio el mantenimiento de limpieza a las

ventanas del Higrómetro de Kriptón, se revisaron los termopares de alambre fino que no estuvieran dañados, así como los transducer del anemómetro sónico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la información recabada durante el ciclo de cultivo se seleccionaron cuatro fases de fenológicas del cultivo: establecimiento, inicio de floración, inicio de llenado de frutos e inicio de maduración de fruto, con la finalidad de analizar etapas representativas del avance del cubrimiento del plástico por el follaje del melón. De estas fases fenológicas se tomó un día representativo de las condiciones prevalecientes durante dicha etapa fenológica.

Los componentes del balance de energía cambiaron en su magnitud diaria y a través del ciclo de cultivo en los días seleccionados como se observa en las Figuras 4.1 a los 20 y 33 días después de siembra (dds), 4.2 a los 40 y 53 dds; y en 4.3 a los 53 y 60 dds.

Componentes del Balance de Energía

El balance de energía se puede expresar convencionalmente con la siguiente ecuación:

$$R_n + G + H + LE + S + P = 0 \quad (4.1)$$

Donde S es la energía almacenada dentro del volumen del cultivo y P es la energía consumida por la fotosíntesis, estos dos términos representan < del 1 por ciento de la radiación total, por lo que típicamente son ignorados en los cálculos del balance de energía. Por lo que la ecuación del balance de energía para una cubierta vegetal se expresa por la siguiente ecuación.

$$R_n + G + H + LE = 0 \quad (4.2)$$

Donde R_n es la radiación neta, G es el flujo de calor en el suelo, H es el flujo de calor sensible y LE es el flujo de calor latente. Cada uno de estos términos expresan un flujo de densidad o una tasa de transferencia de energía por unidad de superficie (Wm^{-2})

Con la finalidad de determinar la confiabilidad de los datos, se calculó el índice del balance de energía, (E.B.), el cual se define como, el resultado de la suma del flujo de calor latente (LE) más el flujo de calor sensible (H) entre la radiación neta menos el flujo de

calor en el suelo (G). Esto es la sumatoria de todos los elementos de la ecuación del balance de energía que representan un consumo entre la fuente de energía.

$$E.B. = \frac{H + LE}{Rn - G} \quad (4.3)$$

Este índice se basa en el principio de conservación de la energía, que corresponde a la primera ley de la termodinámica, de tal manera que su valor debe tender a la unidad. Valores del E.B. entre 0.8 y 1.2 se consideran aceptables y de buena confiabilidad. Los cuadros 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 muestran el valor del índice de balance de energía (EB), el flujo de calor latente (LE), el flujo de calor sensible (H), la radiación neta (Rn), el flujo de calor en el suelo (G), la velocidad (WS) y dirección del viento (WD), para las dos condiciones de trabajo evaluadas, de estos resultados se puede mencionar que las estaciones eddy covariance estuvieron trabajando satisfactoriamente, debido a que el valor de índice de energía se encontró dentro del rango aceptable de 0.8 a 1.2, para los días 20, 33, 40, 53 y 60 después de siembra seleccionados para analizar los componentes del balance de energía.

Radiación Neta

En una primera apreciación se esperaría que R_n de la sección acolchada exceda a R_n de la sección sin acolchado, debido a que el acolchado negro absorbe el 96 por ciento de la radiación solar (R_s), mientras que el suelo desnudo absorbe solo el 70 por ciento de R_s (Ham *et al* 1993 y Senock, 1992). Sin embargo la superficie acolchada esta generalmente más caliente que la superficie del suelo desnudo, así que emite mas radiación de onda larga (emisividad del plástico negro igual a 0.87 y la emisividad del suelo es 0.94). Esta primera apreciación se observó al analizar el comportamiento diario de los valores máximos, promedios diarios y totales de R_n (Cuadros 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7).

Se encontraron diferencias en los valores máximos de R_n , hasta de 35 Wm^{-2} mayores en la sección con acolchado, en las etapas iniciales del cultivo (inicio de guía, inicio de floración), presentándose estos valores máximos aproximadamente a las 14:00 horas del día, esta diferencia de los valores máximos de R_n disminuyó conforme avanzó el ciclo de cultivo hasta alcanzar una diferencia de 4 Wm^{-2} en la sección acolchado, a los 60 dds. Por lo que respecta al valor promedio de la radiación neta a los 20 dds (Cuadro 4.2). Se observó una diferencia de 9 Wm^{-2} a favor del

acolchado, permaneciendo esta proporción hasta los 60 dds (Cuadro 4.7) a favor del acolchado. Investigaciones realizadas por Tarara y Ham, 1999 reportan una diferencia de 35 Wm^{-2} entre el acolchado y el suelo sin acolchado además de mencionar que esta diferencia se reduce conforme el cultivo cubre el acolchado plástico. En otros trabajos en los cuales se ha comparado acolchado con diferentes propiedades ópticas como lo es el transparente, aluminizado y negro no se ha encontrado gran diferencia en radiación neta a favor del acolchado de suelos de color negro, pero si se han encontrado valores mas bajos en este caso para el transparente y aluminizado presentando alrededor de 200 Wm^{-2} menos que el testigo y el acolchado negro (Liakatas *et al.*, 1985).

El comportamiento de la radiación total neta diaria siempre fue mayor en la sección acolchada superando a la sección no acolchada con mas de 0.3 MJm^{-2} en las etapas iniciales del cultivo y 0.9 MJm^{-2} en las etapas finales. En investigaciones con acolchados orgánicos con avena y centeno se reporta que la radiación neta total es mayor en el suelo desnudo que en los acolchados con valores de 3 a 5 MJm^{-2} , esto es debido a que el albedo del suelo es significativamente menor que el de los residuos de avena y centeno (Prueger *et al.*, 1998).

Los valores de radiación neta (R_n) presentaron un comportamiento constante durante todo el ciclo de cultivo para la sección acolchada y la sección sin acolchado, como se puede observar en las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3. Esto debido a que en la superficie de cultivo predominó la presencia de suelo, esto es debido a que en una ha de melón acolchado solo el 33 % de la superficie tiene plástico

Parece ser que la radiación neta mayor en la sección con acolchado se debe al menor valor del albedo y la emisividad de la cubierta plástica con relación al suelo, dominando sobre el efecto de mayor temperatura de la cubierta plástica. La cubierta plástica utilizada tiene un índice de reflectividad de radiación solar (albedo) de 0.03 y un valor de emisividad de 0.87, mientras el albedo promedio para un suelo con vegetación es de 0.25 y la emisividad de 0.94. Investigaciones realizadas por Bremer *et al.*, 1996 reportan que al disminuir el albedo de una superficie se incrementa la radiación neta por ejemplo en una superficie que presenta un albedo de 0.09 se registra una radiación neta de 20.91 MJm^{-2} , comparado con una superficie que presenta un albedo de 0.23 se registra una radiación neta de 16.86 MJm^{-2}

Flujo de Calor Latente

El valor promedio de LE (Cuadro 4.2) al inicio del ciclo de cultivo (20dds) en el acolchado fue 30 Wm^{-2} y en el testigo fue 101 Wm^{-2} , debido a que la película de plástico utilizada para el acolchado de suelos es una barrera impermeable al paso de vapor de agua, con lo cual se evita la pérdida de agua por evaporación directa desde la superficie del suelo, en la sección de acolchado solo se pierde el agua por efecto de la transpiración del cultivo. Si resta el valor promedio de LE del testigo al LE del acolchado ($101 \text{ Wm}^{-2} - 30 \text{ Wm}^{-2} = 70 \text{ Wm}^{-2}$), se obtiene el valor de la evaporación directa de la superficie del suelo en la sección sin acolchado. Esto representa más del 200 por ciento de la transpiración del cultivo y explica el considerable ahorro de agua con el acolchado de suelo en las etapas iniciales de desarrollo del cultivo. En investigaciones realizadas comparando la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones de acolchado y sin acolchado mostró que el acolchado de suelos solo redujo un 6.4 por ciento la evapotranspiración comparado con el que no tenía acolchado, pero analizando la transpiración en las dos parcelas se encontró que el acolchado incrementó en un 16 por ciento la transpiración del cultivo, esto se explica por las mejores condiciones de humedad en el suelo bajo condiciones de acolchado de suelo (Hung y Shen, 1999).

El valor promedio de LE se incrementa conforme se desarrolla el ciclo de cultivo, a los 20 dds se presentan los valores mas bajos para las dos secciones en estudio, se puede observar que el incremento de LE se da mas rápido en la sección acolchada (30, 61, 117, 136 y 126 Wm^{-2}) que en la sección sin acolchado (101,94, 166, 148 y 105 Wm^{-2}). Esto es debido a que en la sección acolchada LE representa solo la transpiración que va en aumento conforme se incrementa el área foliar del cultivo y en la sección sin acolchado es la suma de la transpiración mas la evaporación desde la superficie del suelo. Al final la magnitud disminuye debido a que se redujo el contenido de humedad en el suelo (Figuras 4.4, 4.5), ocasionado por disminución de las horas de riego para incrementar los grados brix del fruto, pero se observó un valor mayor en la sección acolchada debido a que se tenía un mayor desarrollo del cultivo. El valor de LE a través del ciclo de cultivo se incrementa conforme aumenta el área foliar del cultivo y existe mayor área de transpiración, esto es debido a que el acolchado de suelo promueve un mayor crecimiento de los cultivos (Martínez, 1997).

Integrando los valores de LE de las 9:00 a las 19:00 horas se obtienen el total de energía consumida durante el día y dividido esa cantidad de energía por el calor latente de evaporización del agua ($\lambda =$

a $2.44 \times 10^6 \text{ JKg}^{-1}$) se obtiene la tasa de Evapotranspiración diaria en mm, esto se puede expresar de la siguiente manera.

$$\int_{-900}^{=1900} LE dt = \frac{J}{\text{sm}^2} s = \text{Jm}^{-2} \quad (4.8)$$

$$ET_{\text{disrs}} = \frac{LE_{\text{total}}}{\lambda} = \frac{\text{Jm}^{-2}}{2.44 \times 10^6 \text{ JKg}^{-1}} = \text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}} \text{m}^{-2} \text{dia}^{-1} = \text{mmdia}^{-1} \quad (4.9)$$

Analizando el comportamiento de ET_{diaria} a los 20 dds se tuvo una ET_{diaria} de 1.51 y 0.46 mmdia^{-1} en la sección sin acolchado y con acolchado respectivamente, se puede observar que se conserva la misma relación de ahorro de agua a favor del acolchado de suelo de un 69.7 por ciento

Cuadro 4.1. Valores de Evapotranspiración en mm dia^{-1} en el cultivo de melón.

	Días Después de Siembra				
	20	33	40	53	60
Acolchado	0.44	0.94	1.75	2.03	1.89
No Acolchado	1.51	1.40	2.49	2.2	1.59

Los valores de Evapotranspiración diaria (Cuadro 4.1) se incrementaron conforme se desarrolló el ciclo de cultivo, pero se puede observar que los valores mas altos se presentaron en la sección sin acolchado, desde los 20 dds hasta los 53 dds, pero al final de ciclo de cultivo a los 60 dds se observa un mayor valor de ET_{diaria} en la sección acolchado esto debido a un mayor desarrollo de cultivo por efecto de acolchado de suelo y a un mayor contenido de humedad en el suelo, además se observa una caída en el valor de la ET_{diaria} típica de final del ciclo de cultivo y al manejo del riego por el agricultor, como se puede observar en las Figuras 4.4, 4.5.

Flujo de Calor Sensible

El Valor del Flujo de calor sensible de la superficie hacia el aire fue mayor en la sección acolchada al inicio del ciclo de cultivo como se observa en las Figuras 4.1,4.2,4.3 debido a la presencia del acolchado plástico ya que la temperatura del plástico para acolchado es mucho mayor que la temperatura del suelo desnudo, además en la sección acolchada no existe consumo de energía para la evaporación y esta energía se disipa vía flujo de calor sensible.

Como se observa en la Figura 4.1 y Cuadro 4.2, a los 20 días después de siembra, en la sección acolchada, el componente que consumió mayor energía es el flujo de calor sensible, con un 56 por ciento de la radiación neta ($R_n = 486 \text{ Wm}^{-2}$, $H = 276 \text{ Wm}^{-2}$ a la 1400 Hrs). El valor promedio de H (179 Wm^{-2}) es mayor que la sección sin acolchado (103 Wm^{-2}), se puede observar que el acolchado de suelo afectó la magnitud de los componentes LE y H al inicio del ciclo de cultivo, debido a que LE es pequeño mientras que H es grande, y al final del ciclo de cultivo H es pequeño y LE es grande, debido a que el follaje del cultivo al final del ciclo vegetativo ya cubrió totalmente la superficie del plástico y la mayor disipación de energía es vía evapotranspiración (LE) y la fuente de calor sensible originada por la superficie caliente del acolchado de suelo esta cubierta por follaje por lo que su temperatura es baja y el flujo de calor sensible se minimiza, de esta manera se tiene un sistema de producción más eficiente al evitar la pérdida del vapor de agua de la evaporación directa de la superficie del suelo en las etapas iniciales

El incremento del flujo de calor sensible y las condiciones óptimas de humedad del suelo promueven un mayor desarrollo vegetativo en el cultivo de melón y al final del ciclo de cultivo, una mayor tasa de transpiración promueve un mejor llenado el fruto.

Convección o flujo de calor sensible (H) es la transferencia de energía a o desde la superficie de cultivo. El comportamiento de valor promedio de H a través del ciclo de cultivo presento una tendencia a disminuir, presentándose valores mas altos al inicio del ciclo de cultivo (103 y 71 Wm^{-2}) y disminuyendo al final del ciclo de cultivo como se observa en las Figuras 4.1,4.2,4.3. cabe hacer mención que a los 60 dds, se observo un incremento de H, esto debido a que el cultivo sufrió estres, por una menor frecuencia de riegos, en las etapas iniciales se riego todos los días 5 horas y al final del ciclo de cultivo se riego cada tercer día 5 horas (Figuras 4.4, 4.5), práctica común entre los agricultores para incrementar los grados brix en el fruto de melón. En la Figura 4.5 se observa un incremento en el contenido de humedad en la sección sin acolchado a los 50 dds esto debido a la presencia de una fuga en la cinta de riego por goteo cerca del sensor de humedad, lo cual ocasionó que el contenido de humedad en la sección sin acolchado rebasará a la sección con acolchado. Al inicio los valores promedios de LE son menores que los de H pero conforme avanza el ciclo de cultivo el valor de LE se incrementa hasta lograr valores similares a H para los 60 días después de siembra.

Se considera que el acolchado de suelo con plástico negro es la mayor fuente de calor sensible (H) en el campo de cultivo agrícola, este es una función en primer lugar de la radiación neta recibida sobre el acolchado plástico utilizado y su tendencia se comporta inversamente proporcional al desarrollo de vegetativo del cultivo (Tarara y Ham, 1999).

Flujo de Calor en el Suelo

Por lo que respecta al flujo de calor en el suelo no se encontró diferencia significativa como se observa en las Figuras 4.1,4.2,4.3. Es importante aclarar que la metodología de la técnica de las estaciones eddy, considera toda la superficie de cultivo como si fuera una cubierta vegetal uniforme y debido a que el sistema de producción de melón bajo condiciones de acolchado el marco de plantación es de 1.8 m entre hileras de plantas y se formaron camas de 63 cm de ancho, que es donde se coloca el plástico o se cubre con plástico, el resto del terreno queda sin plástico (aproximadamente un 66 por ciento de la superficie de terreno), por tal razón se hicieron mediciones de flujo de calor en la parte con plástico y en la parte sin plástico para la sección acolchada; promediando las dos mediciones, en la sección testigo también se

obtuvo el promedio de la parte de la cama donde se colocó la cinta de riego y entre las camas que siempre permaneció seca, esta sección se encontraba al centro de las hileras de plantas.

El flujo de calor presenta una tendencia ascendente conforme avanzó el ciclo vegetativo del cultivo y a decaer al final del ciclo, esto nuevamente afectado por la disminución del contenido de humedad en el suelo y los valores más altos se presentaron los 40 días después de siembra.

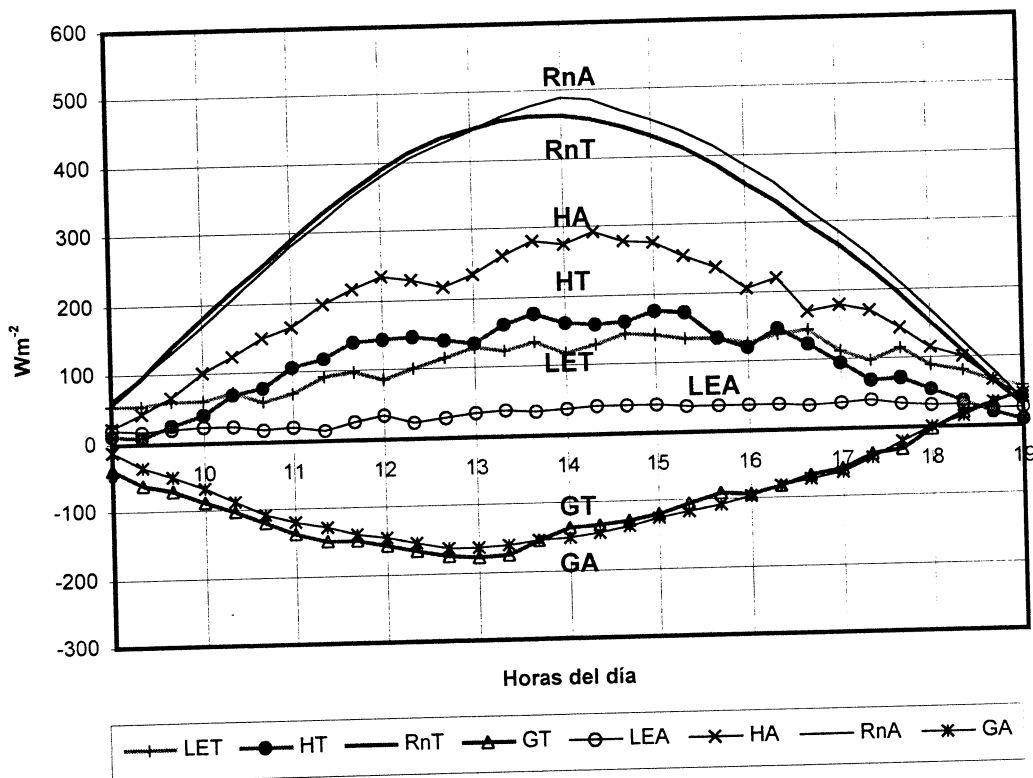


Figura 4.1 Valores medidos de radiación neta (Rn), flujo de calor sensible (H), flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), a los 20 días después de siembra, en el cultivo de melón con (A) y sin (T) acolchado de suelo.

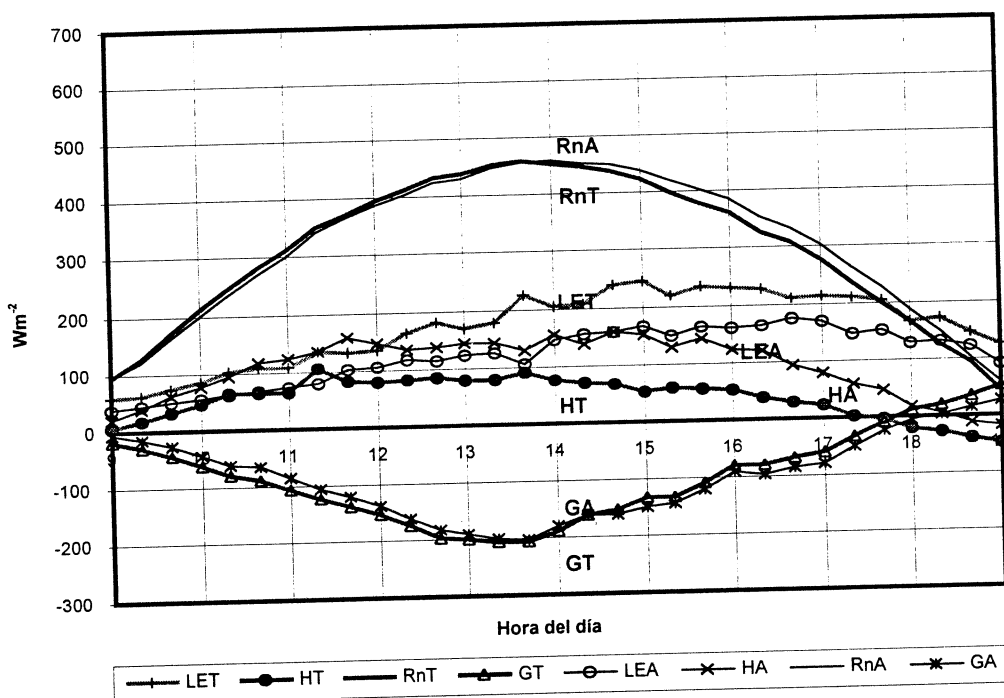
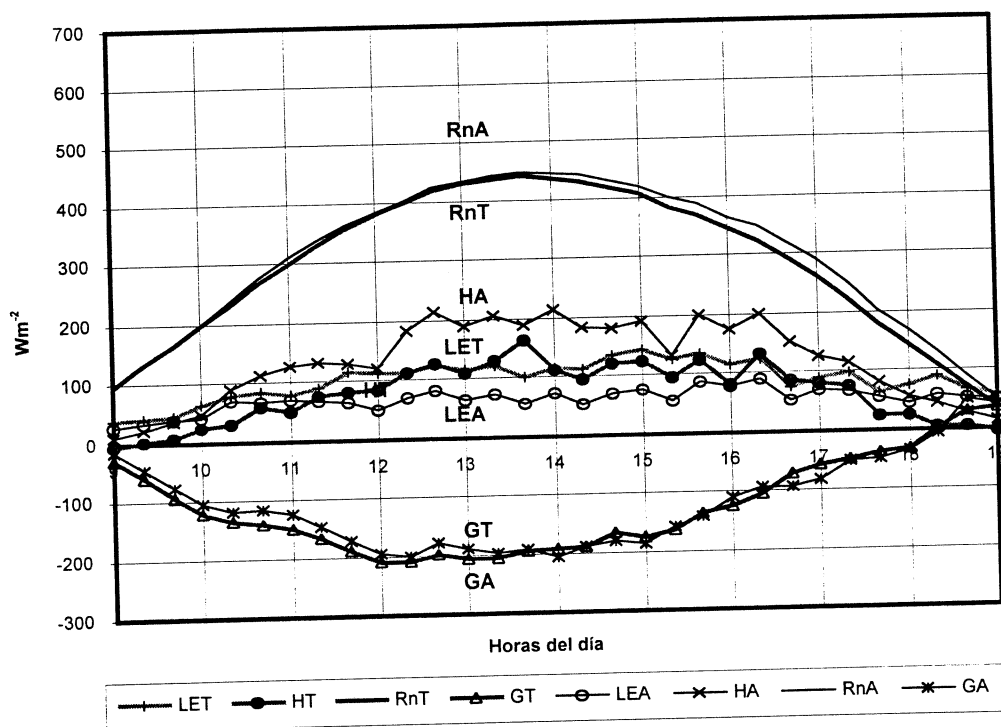


Figura 4.2 Valores medidos de radiación neta (Rn), flujo de calor sensible(H), flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), a los 33 días después de siembra (superior) y a los 40 días después de siembra (inferior), en el cultivo de melón con (A) y sin (T) acolchado de suelo.

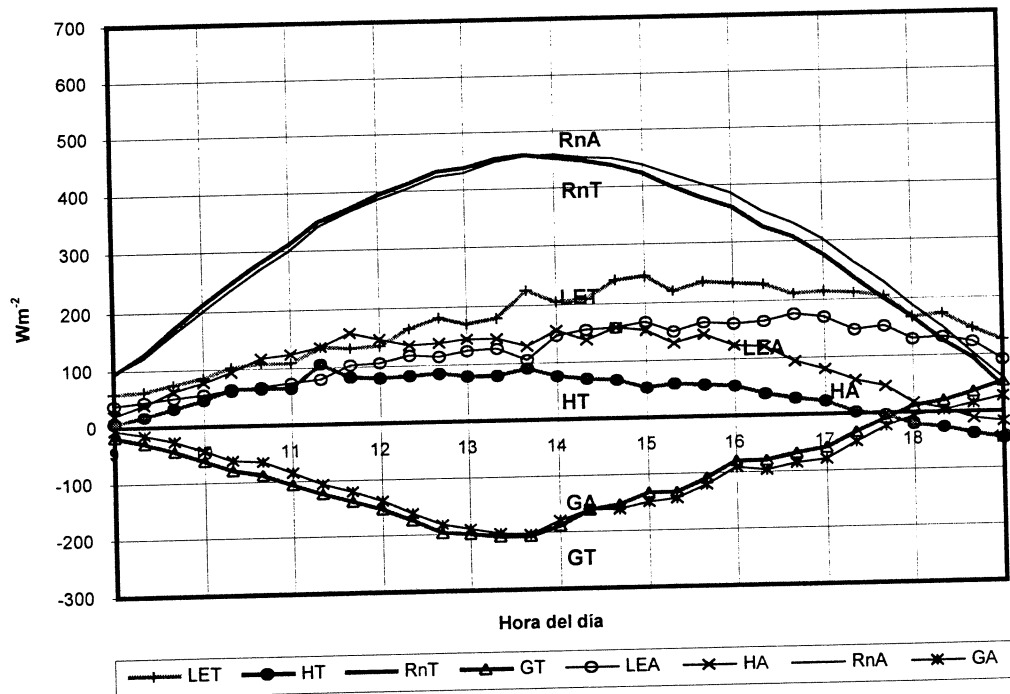
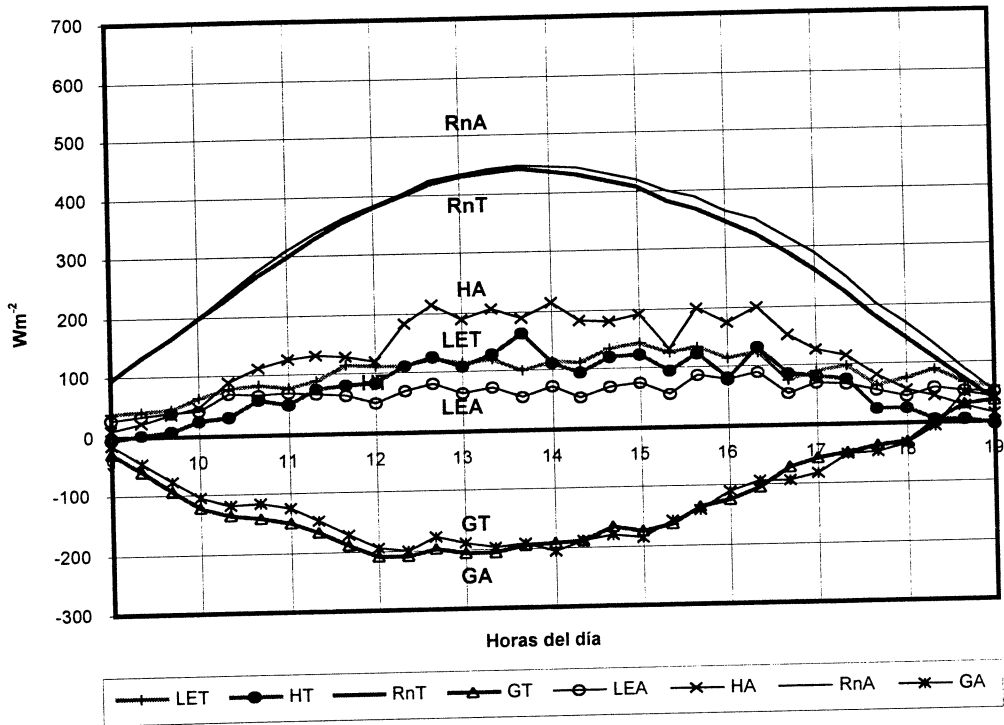


Figura 4.2 Valores medidos de radiación neta (Rn), flujo de calor sensible(H), flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), a los 33 días después de siembra (superior) y a los 40 días después de siembra (inferior), en el cultivo de melón con (A) y sin (T) acolchado de suelo.

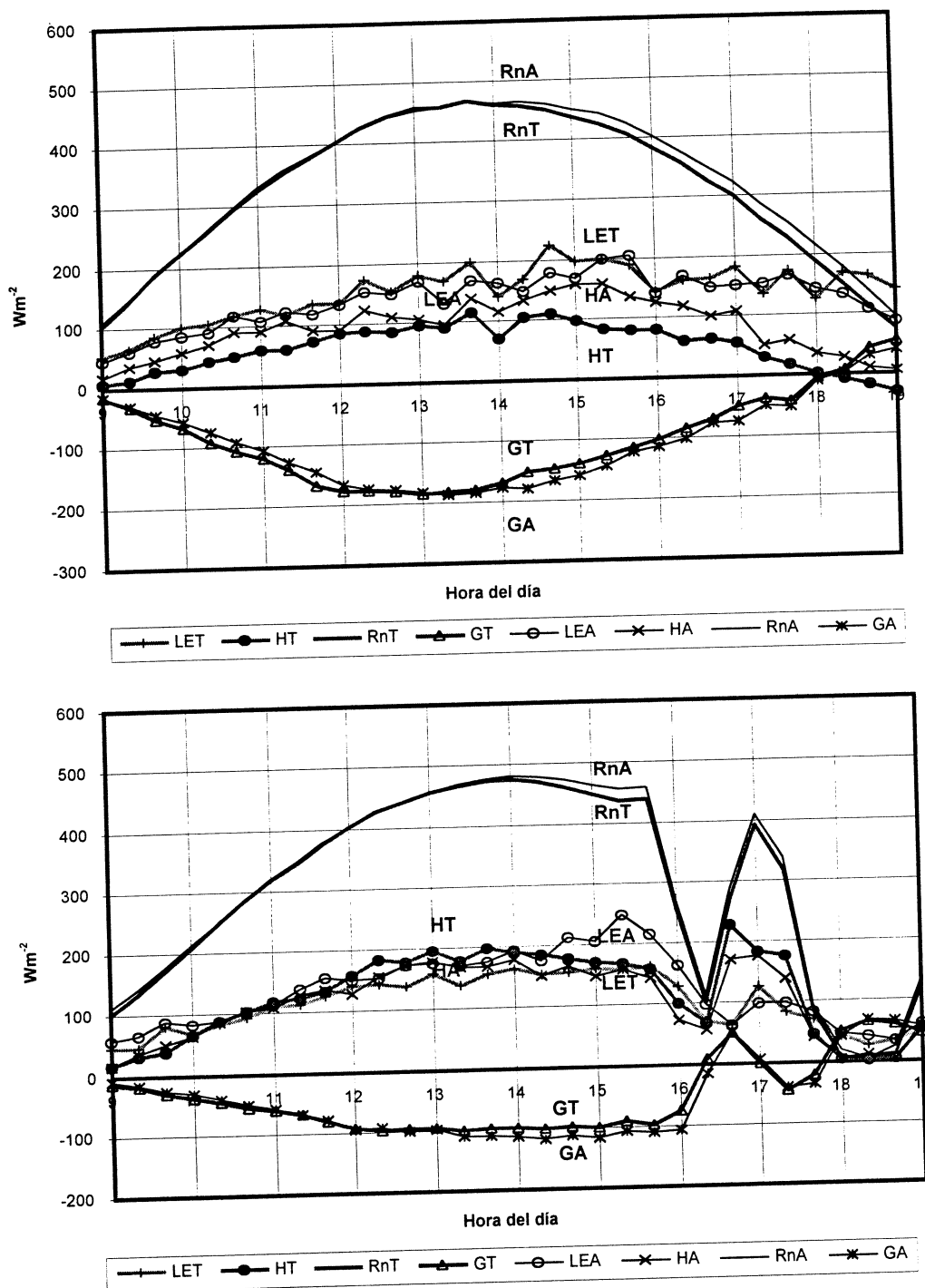


Figura 4.3 Valores medidos de radiación neta (Rn), flujo de calor sensible (H), flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), a los 53 días después de siembra (superior) y a los 60 días después de siembra (inferior), en el cultivo de melón con (A) y sin (T) acolchado de suelos.

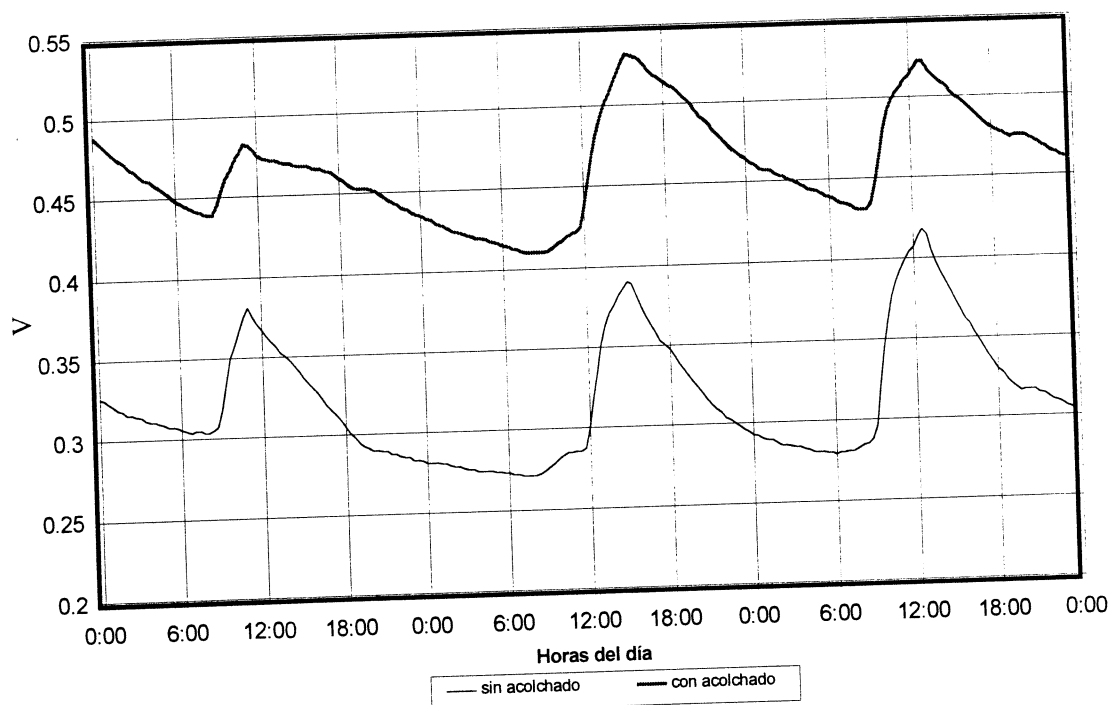
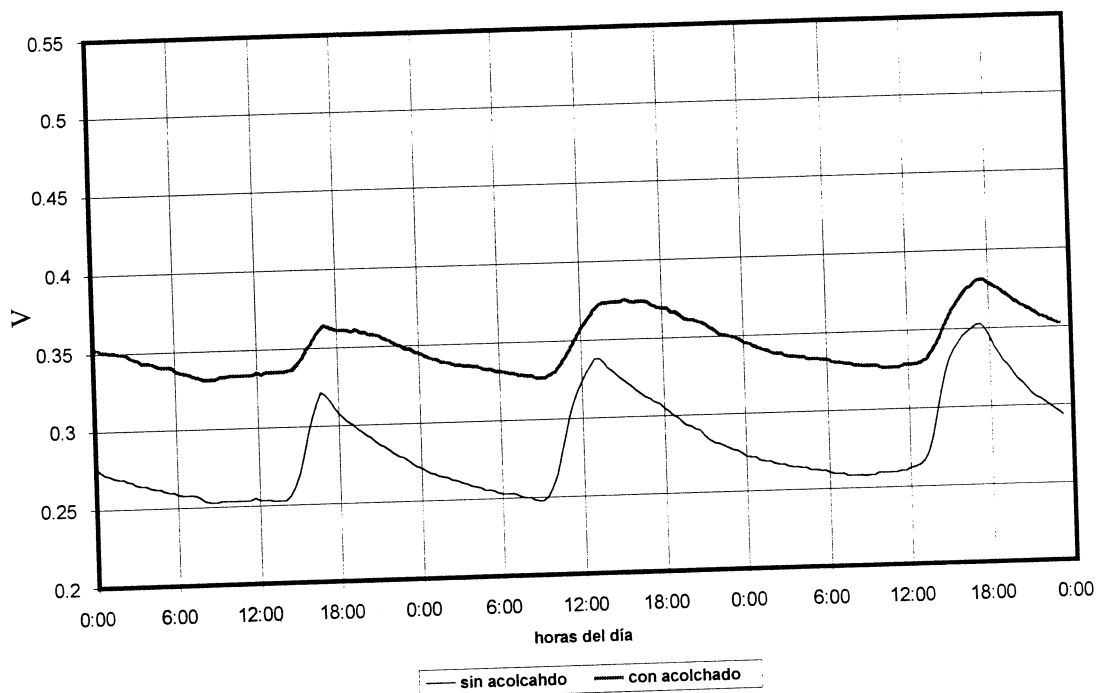


Figura 4.4 Valores del contenido volumétrico de humedad en el suelo ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) a los 19,20,21 días después de siembra (superior) y a los 32,33 y 34 días después de siembra (inferior) en el cultivo de melón con y sin acolchado de suelo.

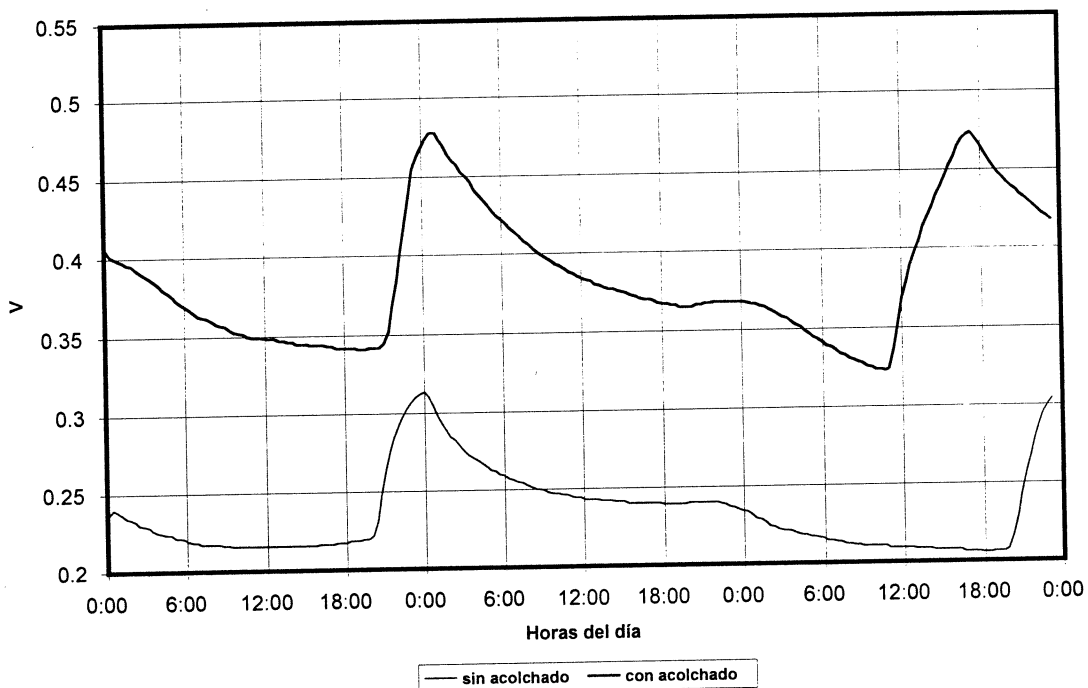
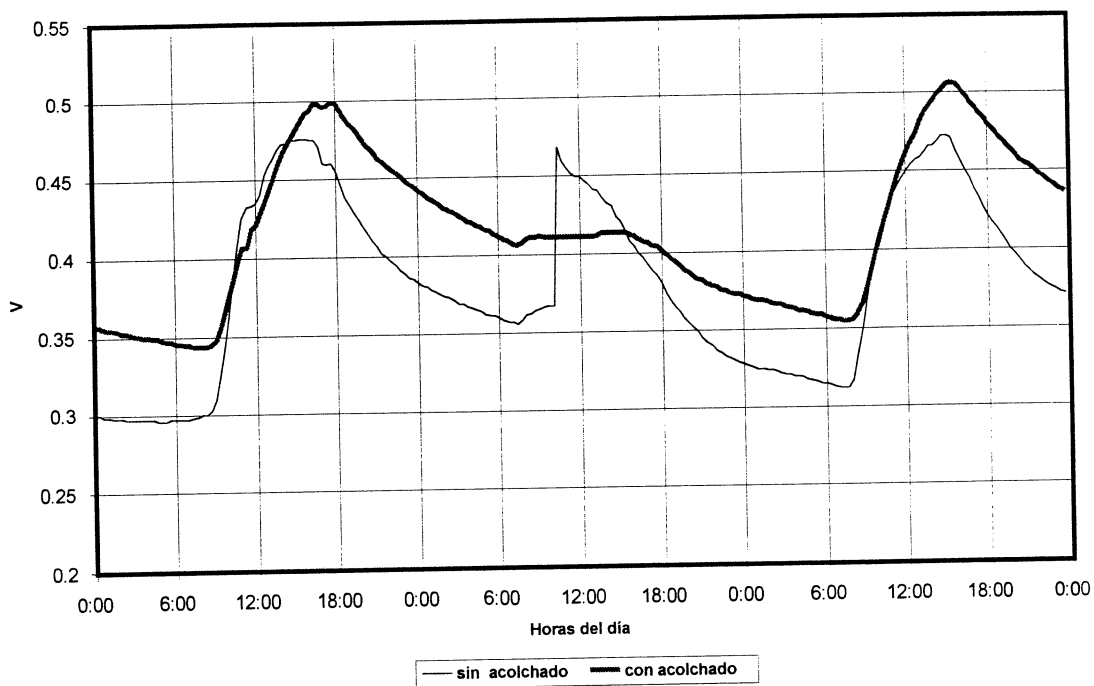


Figura 4.5 Valores del contenido volumétrico de humedad en el suelo ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) a los 49,50 y 51 días después de siembra (superior) y a los 59, 60 y 61 días después de siembra (inferior) en el cultivo de melón con y sin acolchado de suelo.

Cuadro 4.2. Componentes de la ecuación del balance de energía (Wm^{-2}), velocidad (ms^{-1}) y dirección de viento a los 20 días después de siembra en el cultivo de melón.

Sección no acolchada						Sección acolchada						
HrMin	LE	H	Rn	G	E.B.	LE	H	Rn	G	E.B.	WS	WD
900	53	10	58	-38	0.70	18	21	63	-13	0.78	6.30	244
920	53	8	96	-63	1.87	17	43	95	-35	1.01	6.32	247
940	61	26	137	-71	1.32	18	65	167	-49	1.03	6.04	245
1000	59	41	179	-87	1.09	22	102	205	-68	1.25	6.09	257
1020	71	69	216	-103	1.23	23	124	243	-87	1.24	5.88	255
1040	56	78	253	-120	1.00	17	150	280	-107	1.22	5.27	260
1100	70	106	290	-137	1.14	19	165	316	-120	1.15	5.07	266
1120	92	119	326	-149	1.19	15	197	350	-129	1.13	5.26	261
1140	99	142	359	-148	1.14	25	216	380	-139	1.14	5.01	262
1200	86	145	388	-158	1.00	35	234	405	-145	1.14	4.78	265
1220	100	148	413	-167	1.00	23	227	425	-155	1.00	3.90	270
1240	116	140	434	-175	0.99	28	216	444	-164	0.93	3.34	290
1300	131	136	447	-179	0.99	34	235	464	-163	0.96	3.38	299
1320	125	162	457	-176	1.02	38	259	477	-160	0.98	3.62	288
1340	135	175	465	-155	0.99	34	282	490	-155	0.98	4.36	259
1400	119	162	465	-138	0.85	38	276	486	-152	0.93	4.08	264
1420	131	159	459	-134	0.89	39	291	468	-146	0.97	4.26	280
1440	144	162	447	-130	0.96	41	279	455	-138	0.97	3.56	250
1500	141	177	432	-120	1.02	41	276	438	-126	0.96	4.17	263
1520	136	174	413	-105	1.00	36	254	415	-117	0.90	4.06	263
1540	136	136	388	-91	0.92	38	236	386	-107	0.89	3.89	286
1600	127	122	359	-95	0.94	36	205	358	-97	0.83	3.16	277
1620	137	146	332	-83	1.13	37	221	321	-82	0.93	4.20	270
1640	145	123	297	-67	1.16	35	169	285	-73	0.82	3.00	281
1700	111	95	265	-60	1.00	37	178	251	-66	0.98	3.18	274
1720	97	68	230	-39	0.86	39	169	211	-45	1.01	3.98	305
1740	114	71	193	-33	1.08	33	145	171	-21	0.93	3.59	299
1800	88	54	154	-5	0.96	31	116	124	-2	0.87	4.16	277
1820	81	36	110	19	0.80	30	102	79	15	0.94	5.18	286
1840	66	20	67	35	0.80	26	65	36	33	0.81	3.74	3001
1900	57	8	29	48	0.80	25	39	15	45	0.78	2.95	287
Prom.	101	103	295	-94	1.03	30	179	304	-89	0.98	4.39	272
Total (MJm ⁻²)	3.7	3.8	10.9	3.5		1.1	6.6	11.2	3.3			
ET (mm)	1.51					0.44						

Cuadro 4.3. Componentes de la ecuación del balance de energía (Wm^{-2}), velocidad del viento (ms^{-1}) y dirección del viento a los 33 días después de siembra en el cultivo de melón.

Sección no acolchada						Sección acolchada						
HrMin	LE	H	Rn	G	E.B.	LE	H	Rn	G	E.B.	WS	WD
900	37	-8	94	-30	0.45	28	11	96	-16	0.49	2.36	63
920	40	1	130	-61	0.60	33	21	130	-47	0.65	2.13	59
940	44	8	163	-93	0.74	39	35	162	-78	0.88	1.44	58
1000	64	23	196	-123	1.18	42	47	196	-107	1.00	1.50	61
1020	78	30	230	-137	1.15	68	90	235	-119	1.37	3.56	73
1040	82	58	265	-142	1.14	65	111	274	-116	1.11	4.40	58
1100	77	48	298	-152	0.85	70	125	308	-124	1.06	4.34	67
1120	89	76	328	-168	1.02	65	131	337	-147	1.03	3.74	58
1140	113	79	356	-189	1.15	62	129	362	-174	1.01	2.51	60
1200	110	82	378	-211	1.14	50	119	380	-196	0.92	2.99	42
1220	110	110	399	-209	1.15	70	181	402	-201	1.24	3.02	354
1240	123	125	418	-199	1.13	79	213	423	-179	1.19	3.54	1
1300	113	109	430	-208	1.00	63	188	431	-190	1.04	3.32	340
1320	120	129	436	-208	1.09	73	205	439	-198	1.15	3.09	3
1340	100	162	441	-196	1.07	56	188	447	-192	0.96	3.38	306
1400	114	112	435	-194	0.93	72	212	444	-207	1.20	2.80	332
1420	112	93	430	-191	0.86	52	181	440	-190	0.93	3.13	287
1440	134	119	418	-167	1.01	70	179	429	-183	1.01	1.87	326
1500	142	122	407	-177	1.14	76	190	417	-188	1.16	2.05	343
1520	125	94	383	-164	1.01	54	132	398	-158	0.78	2.21	198
1540	135	123	369	-136	1.10	85	199	388	-143	1.16	3.31	359
1600	115	81	344	-126	0.90	78	172	363	-112	0.99	2.04	342
1620	122	130	322	-105	1.16	89	199	347	-94	1.14	3.78	327
1640	74	86	291	-71	0.73	52	152	316	-95	0.92	3.34	279
1700	89	80	260	-57	0.82	70	125	288	-84	0.96	3.53	313
1720	97	76	220	-50	1.02	66	115	249	-52	0.92	3.30	312
1740	64	25	178	-38	0.63	54	79	203	-48	0.86	1.48	315
1800	76	25	142	-32	0.91	43	56	167	-36	0.76	1.96	315
1820	88	3	108	1	0.84	57	44	130	-7	0.82	2.93	9
1840	65	4	71	29	0.69	51	26	89	48	0.56	2.16	8
1900	57	-5	36	36	0.73	48	12	48	40	0.68	2.18	2
Prom.	94	71	290	-122	0.95	61	125	301	-116	0.97	2.73	183
Total (MJm ⁻²)	3.4	2.7	10.7	4.5		2.2	4.6	11.1	4.3			
ET (mm)	1.40					0.94						

Cuadro 4.4. Componentes de la ecuación del balance de energía (Wm^{-2}), velocidad del viento (ms^{-1}) y dirección de viento a los 40 días después de siembra en el cultivo de melón.

Sección no acolchada						Sección acolchada						
HrMin	LE	H	Rn	G	E.B.	LE	H	Rn	G	E.B.	WS	WD
900	58	4	92	-19	0.85	37	20	94	-8	0.66	8.84	109
920	60	18	126	-31	0.81	42	38	120	-17	0.77	9.01	108
940	72	31	169	-45	0.83	50	61	162	-28	0.83	8.70	107
1000	85	45	209	-63	0.89	55	76	199	-45	0.85	7.93	98
1020	101	63	246	-79	0.98	61	92	234	-61	0.88	8.29	94
1040	109	64	280	-88	0.90	66	116	268	-65	0.89	7.30	101
1100	107	65	312	-107	0.84	73	123	302	-86	0.91	6.19	99
1120	135	104	350	-123	1.04	78	134	341	-106	0.90	6.54	97
1140	130	81	372	-139	0.91	103	157	364	-120	1.06	5.87	94
1200	133	78	395	-154	0.88	105	147	385	-138	1.02	4.82	92
1220	163	80	413	-175	1.02	117	133	404	-162	1.03	3.42	89
1240	181	83	433	-196	1.16	114	136	425	-184	1.04	3.04	103
1300	170	79	440	-201	1.04	123	144	429	-192	1.12	2.36	98
1320	179	77	455	-206	1.03	124	144	448	-201	1.08	2.40	83
1340	224	90	459	-205	1.23	106	127	456	-202	0.92	3.14	74
1400	204	74	455	-188	1.04	145	156	458	-181	1.09	2.60	30
1420	207	69	447	-161	0.97	154	138	459	-163	1.00	3.59	47
1440	240	68	438	-152	1.07	158	157	455	-161	1.09	3.55	60
1500	244	53	423	-134	1.02	167	153	450	-151	1.11	3.48	49
1520	218	57	400	-133	1.03	150	129	438	-145	1.01	3.40	49
1540	233	56	380	-110	1.07	164	144	421	-121	1.09	4.59	39
1600	232	52	362	-81	1.00	161	123	404	-93	0.97	3.86	49
1620	228	36	328	-81	1.07	164	118	386	-97	1.10	4.30	63
1640	209	27	309	-68	0.98	174	94	354	-87	1.08	4.02	66
1700	214	24	279	-60	1.08	169	79	334	-79	1.10	3.83	80
1720	209	2	238	-33	1.03	145	57	303	-52	0.96	4.57	59
1740	203	-5	199	-9	1.04	153	46	263	-23	0.97	5.11	52
1800	165	-22	166	11	0.81	128	17	227	-6	0.80	4.62	69
1820	173	-28	125	19	1.00	130	5	188	1	0.91	4.70	59
1840	147	-40	93	34	0.92	121	-13	148	13	0.95	3.78	63
1900	124	-48	44	52	0.79	90	-19	101	26	0.97	3.57	57
Prom.	166	43	304	-94	0.98	117	98	311	-95	0.97	4.91	75
Total (Wm^{-2})	6.1	1.6	11.2	3.5		4.3	3.6	11.4	3.5			
ET (mm)	2.49					1.75						

Cuadro 4.5. Componentes de la ecuación del balance de energía (Wm^{-2}), velocidad del viento (ms^{-1}) y dirección del viento a los 53 días después de siembra en el cultivo de melón.

Sección no acolchada						Sección acolchada						
HrMin	LE	H	Rn	G	E.B.	LE	H	Rn	G	E.B.	WS	WD
900	54	9	104	-13	0.69	47	18	109	-13	0.68	3.24	93
920	65	14	144	-32	0.71	60	35	147	-29	0.81	3.56	77
940	87	29	186	-51	0.86	78	47	185	-44	0.89	4.03	66
1000	100	31	222	-68	0.85	85	58	221	-56	0.86	4.16	58
1020	107	43	257	-91	0.90	92	70	259	-74	0.88	4.07	55
1040	118	52	292	-108	0.92	118	91	294	-91	1.03	3.77	57
1100	129	62	324	-120	0.93	109	90	328	-106	0.90	3.57	63
1120	119	61	353	-140	0.84	124	108	356	-128	1.01	2.72	60
1140	135	73	378	-167	0.98	118	90	380	-144	0.88	1.98	41
1200	137	86	403	-178	0.99	133	91	403	-166	0.95	1.62	15
1220	175	89	428	-177	1.05	153	124	425	-175	1.11	2.15	41
1240	154	85	445	-180	0.90	148	112	443	-176	0.97	2.19	355
1300	179	97	456	-184	0.10	170	105	451	-183	1.03	1.69	345
1320	169	90	458	-182	0.93	132	97	456	-187	0.85	1.69	312
1340	199	116	466	-180	1.10	168	138	468	-185	1.08	2.46	0
1400	142	72	460	-169	0.73	165	117	462	-176	0.98	1.62	13
1420	170	107	458	-151	0.90	149	133	464	-179	0.99	1.82	137
1440	225	111	449	-148	1.10	180	149	460	-167	1.12	1.94	78
1500	196	98	437	-140	0.98	170	158	450	-160	1.13	2.18	119
1520	198	84	424	-128	0.95	199	159	441	-145	1.21	3.16	53
1540	188	80	406	-114	0.91	205	135	423	-123	1.13	2.96	36
1600	143	80	382	-102	0.79	142	127	401	-115	0.94	2.40	148
1620	161	62	357	-85	0.81	170	119	375	-101	1.06	3.19	41
1640	164	64	325	-69	0.89	149	101	348	-76	0.92	2.66	85
1700	182	55	299	-49	0.94	152	109	321	-74	1.06	3.92	95
1720	137	30	258	-37	0.75	155	50	284	-49	0.87	1.95	356
1740	174	19	228	-41	1.03	167	59	254	-51	1.11	4.13	57
1800	127	4	189	-5	0.71	144	35	215	-10	0.87	3.39	22
1820	170	-6	152	8	1.02	133	28	179	3	0.89	5.76	54
1840	164	-16	113	43	0.95	108	12	139	32	0.70	5.84	69
1900	141	-30	75	55	0.88	89	5	97	41	0.68	6.51	84
Prom.	148	56	320	-96	0.91	136	89	330	-100	0.94	3.11	100
Total (MJm ⁻²)	5.4	2.1	11.8	3.6		4.9	3.3	12.1	3.8			
ET (mm)	2.20					2.03						

Cuadro 4.6. Componentes de la ecuación del balance de energía en (Wm^{-2}), velocidad del viento (ms^{-1}), a los 60 días después de siembra en el cultivo de melón.

Sección no acolchada						Sección acolchada							
HrMim	LE	H	Rn	G	E.B.	LE	H	Rn	G	E.B.	WS	WD	
900	46	17	101	-13	0.71	58	16	110	-9	0.74	8.43	104	
920	47	30	134	-18	0.67	66	36	140	-16	0.82	8.83	103	
940	80	39	171	-30	0.85	89	50	175	-25	0.93	9.27	100	
1000	68	65	208	-38	0.78	83	64	211	-32	0.82	9.51	93	
1020	84	87	246	-47	0.86	89	86	248	-41	0.85	9.50	98	
1040	94	104	284	-55	0.87	103	104	285	-50	0.88	9.30	93	
1100	110	118	316	-62	0.89	112	107	318	-59	0.84	9.37	87	
1120	114	122	345	-68	0.85	137	128	346	-68	0.95	8.90	86	
1140	125	133	374	-80	0.88	156	135	375	-79	0.98	8.79	85	
1200	141	157	400	-93	0.97	150	129	401	-95	0.91	8.46	93	
1220	142	182	425	-98	0.99	152	155	424	-94	0.93	8.41	94	
1240	139	177	442	-95	0.91	172	172	440	-101	1.01	8.64	99	
1300	157	196	455	-96	0.98	174	178	455	-98	0.99	8.70	97	
1320	138	177	466	-100	0.86	169	167	468	-111	0.94	8.56	90	
1340	155	197	474	-99	0.94	175	167	477	-111	0.93	8.60	91	
1400	162	189	476	-99	0.93	193	177	480	-114	1.01	8.21	90	
1420	153	184	470	-100	0.91	174	151	478	-117	0.90	7.22	90	
1440	156	178	461	-99	0.92	213	164	474	-114	1.05	6.86	83	
1500	160	171	448	-101	0.95	205	147	464	-118	1.02	6.36	85	
1520	157	168	437	-91	0.94	248	157	457	-108	1.16	6.52	81	
1540	162	158	438	-98	0.94	216	142	458	-111	1.03	6.58	88	
1600	127	101	254	-76	1.27	162	73	267	-107	1.47	7.35	97	
1620	72	68	100	9	1.27	97	56	114	-15	1.55	8.95	128	
1640	63	227	267	50	0.91	63	170	285	51	0.69	10.7	159	
1700	126	183	391	-2	0.76	99	176	408	5	0.67	10.1	126	
1720	83	174	318	-45	0.94	99	137	337	-42	0.80	6.58	149	
1740	70	46	83	-21	1.11	83	41	93.6	-36	0.95	9.72	98	
1800	44	3	7	52	0.78	46	3	18	41	0.82	9.78	99	
1820	25	1	6	67	0.46	42	10	4	68	0.72	9.03	108	
1840	33	3	12	62	0.49	34	4	22.4	66	0.43	8.95	109	
1900	52	55	121	47	0.63	60	50	132	55	0.59	9.74	106	
Prom.	105	199	294	-46	0.88	126	107	302	-51	0.95	8.57	100	
Total (MJm ⁻²)	3.9	4.4	10.8	1.7		4.6	3.9	11.9	1.9				
ET Mm	1.59					1.89							

Temperatura Aparente de la Superficie

Se pudo observar grandes diferencias en las temperaturas aparentes de la superficie del plástico, de la cama y de la sección entre camas Cuadro 4.7, con promedios de 64.3, 43.94 y 58.54°C respectivamente, este incremento de temperatura en el acolchado plástico se disipara vía flujo de calor sensible H por convección o en flujo de calor al suelo por conducción.

Existió una diferencia de hasta 20°C entre la temperatura superficial del plástico y la temperatura de la cama, esto afecta tanto al flujo de calor en el suelo como al flujo de calor sensible.

Cuadro 4.7 Temperatura aparente de la superficie del plástico, de las camas de cultivo y entre las camas en el cultivo de melón.

Días después de siembra	Plastico °c	Cama sin Acolchado °c	Pasillo °c
52	66.5	48	61
59	54	39.3	48.8
66	65.9	46.47	60.13
73	68.87	49.57	62.5
81	66.63	36.43	60.1
Promedio	64.38	43.94	58.54

Partición de Energía Disponible.

Se integró el área bajo la curva del flujo de calor latente, flujo de calor sensible y radiación neta para obtener los valores totales

del día, con estos valores se calcularon los índices de partición de energía en las dos secciones en estudio, en el Cuadro 4.8, se puede observar que a los 20 días después de siembra los valores mas altos lo representa la relación H/Rn, y se puede notar que el valor mas alto corresponde al acolchado de suelo esto debido como ya se comento anteriormente a la presencia del plástico de color negro, pero también en un sistema de riego por goteo la mayor parte de la superficie del suelo no se moja, para nuestro caso el porcentaje de mojado correspondió a un 33 por ciento del terreno, y la mayor parte del terreno permanece seco siendo una fuente considerable de flujo de calor sensible.

Cuadro 4.8 Valores integrados desde las 8:00 hrs hasta las 20:00 hrs de LE/Rn y H/Rn en los días 20,40 y 60 días después de siembra con acolchado y sin acolchado en el cultivo de melón.

Días Después de Siembra	Sin Acolchado			Con Acolchado		
	LE/Rn	H/Rn	G/Rn	LE/Rn	H/Rn	G/Rn
20	0.34	0.35	0.32	0.09	0.58	0.29
33	0.32	0.25	0.42	0.20	0.41	0.38
40	0.54	0.15	0.31	0.38	0.31	0.30
53	0.46	0.18	0.31	0.40	0.27	0.31
60	0.36	0.41	0.16	0.38	0.32	0.16

Por otro lado el valor de LE es muy pequeño, que es la evapotranspiración del cultivo, proceso que involucra aspectos del suelo y cultivo que afectan su magnitud, pero se puede identificar que la sección sin acolchado consume más energía disponible que la sección con acolchado de suelo.

A través del ciclo de cultivo se observó que la relación LE/R_n va en aumento en la sección con y sin acolchado, esto es un reflejo del desarrollo del cultivo, en el acolchado LE es únicamente la transpiración del cultivo, además se puede comentar que el estrés originado al final del ciclo de cultivo no afectó esta relación.

Por lo que respecta a la sección sin acolchado de suelo se observó una tendencia a incrementarse la relación LE/R_n en las etapas iniciales del cultivo pero al final disminuyó como consecuencia de la reducción de horas de riego en el cultivo.

El comportamiento de la relación H/R_n presentó una tendencia a disminuir conforme se desarrolla el cultivo, esto debido a que el follaje del cultivo va cubriendo la superficie del terreno y al final del ciclo de cultivo el mayor desarrollo en la sección acolchada se reflejó en un valor menor de la relación H/R_n .

CONCLUSIONES.

En base a los resultados obtenidos en el estudio se concluye que: El Acolchado de suelo con películas de polietileno afecta los componentes de la ecuación del balance de energía. Los resultados sugieren que las características espectrales de la película de polietileno utilizada en el acolchado afectaron el balance de radiación de onda corta y larga, incrementándose ligeramente la radiación neta sobre el cultivo de melón con acolchado de suelo.

El flujo de calor sensible fue mayor en la sección acolchada al inicio del ciclo de cultivo. Sin embargo este fue aproximadamente igual con y sin acolchado después de que se alcanzó cobertura efectiva

El flujo de calor latente (LE) fue apreciablemente mayor en la sección testigo en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, sin embargo se observó que LE es mayor en el acolchado después de cobertura máxima debido a que al inicio del ciclo de cultivo en la sección acolchada la pérdida de agua se da únicamente por transpiración y en el testigo la pérdida del agua se da por la transpiración y la evaporación directa de la superficie del suelo.

El acolchado de suelo modifica el régimen termal de la superficie del suelo afectando el microclima del cultivo

Por lo que respecta a la sección sin acolchado de suelo se observo una tendencia a incrementarse la relación LE/R_n en las etapas iniciales del cultivo pero al final disminuyo como consecuencia de la disminución de horas de riego en el cultivo.

El comportamiento de la relación H/R_n presentó una tendencia a disminuir conforme se desarrolló el cultivo, debido a que el follaje del cultivo va cubriendo la superficie del terreno, al final del ciclo de cultivo el mayor desarrollo en la sección acolchada se reflejo en un valor menor de la relación H/R_n , y un valor mayor de la relación LE/R_n .

LITERATURA CITADA.

- Abdul-Baki, A., C. Spence and R. Hoover. 1992: Black polyethylene mulch doubled yield of fresh-market field tomatoes. *HortScience*. 27: 787-789.
- Al-Assir, I.A., I. G. Rubeiz and R.Y. Khoury. 1992: Yield response of greenhouse cantaloupe to clear and black plastic mulches. *Biol. Agric. and Hort.* 8: 205-209.
- Albertson, J., S. W. Tyler, S. Kranz, M. B. Parlange, G.G: Katul, G.F. Cochran, B.A. Lyles, G. Holder. 1997. Estimation of groundwater evaporation and salt flux from Owen Lake, California, USA. *J. of Hydrology* 200: 110-135.
- Allison, G.B., Barnes, C.J. 1985. Estimation of evaporation from the normally "dry" Lake Frome in South Australia. *J. Hydrol.*, 78:229-242.
- Andino, J. R., and C. E. Montsenbocker. 1997. Effects of colored mulches on soil temperature and watermelon yield. Department of Horticulture, Louisiana State University.
- Avissar, R.,Y. Mahrer, L. Margulies, and J. Katan. 1986. Field aging of transparent polyethylene mulches: I. Photometric properties. *Soil Sci. Soc. Amer J.* 50: 202-205.
- Battikhi, A. M. and Ghawi. 1987. Muskmelon production under mulch and trickle irrigation in the Jordan Valley. *HortScience* 22(4): 578-580. Jordan, Amman Jordan.
- Bhella, H.S. 1998. Tomato response to trickle irrigation and black polyethylene mulch. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:543-546.
- Biltonft, C. A. and Gaynor, J.E. 1987. Comparison of two types of sonic anemometers and fast response thermometers " Sixth Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation, AMS, Boston, MA, 173-176.

- Boast, C. W. , T. M. Robinson. 1982. A Micro-Lysimeter method for determining evaporation from bare soil: description and laboratory evaluation. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 46:689-696.
- Bowen I. S. 1926. The ration of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Phys. Rev.* 27, 779-787.
- Bonanno, A. R. and W. J. Lamont. 1987. Effect of polyethylene mulches, irrigation method, and row cover on soil and air temperature and yield of muskmelon. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112: 735-738.
- Bremer, D.J., J.M. Ham, and C.E. Owensby. 1996 Effect of elevated atmospheric carbon dioxide and open-top chambers on transpiration in a tallgrass prairie. *J. Environ. Qual.* 25:691-701.
- Brown, J. E., William, D. G. Hogue, W., West, M. S., Stevens, C., Khan, V.A., Early, B.C. and Brashner. L.S. 1991. Effect of plastic mulch color on yield and earlier of tomato. *Proc. Natl. Agric. Plastic. Congress* 23:21-25 Overland Park, Kansas.
- Brown, K. W. and W. Covey.1996. the energy-budget evaluation of the micrometeorological transfer processes within a cornfield. *Agric. Meteorol.* 3.73-96.
- Buck, A. L.1976. The variable-path Lyman-alpha hygrometer and its operating characteristics" *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 57, 1113-1118.
- Buttner, K. J. K. and C. D. Kerm 1965. The determination of infrared emissivities of terrestrial surface. *J Geophys. Res.* 70:1329-1337.
- ✕ Campbell, G. S., C. Calissindorff and J.H. Williams. 1991. Probe for measuring soil specific heat using a heat-pulse method. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 55:291-293.
- Campbell, G. S., and Tanner B.D. 1985. " A krypton hygrometer for measurement of atmospheric water vapor concentration " *Moisture and Humidity, ISA, Research Triangle Park, NC.* 609-612
- Campbell,G. S. and J. M. Norman. 1998. An introduction to environmental biophysics. Springer, New York.
- Campbell, G. S. and Unsworth M. H. 1979. An inexpensive sonic anemometer for eddy correlation, *J Appl Meteorol* 18: 1072-1077.

- ✓ Cano, R. P. 1990. Publicación especial número 33, correspondiente al día del melonero. C.I.A.N. Region Laguna, pp.4-5.
- Cavero, J., R. G. Ortega and C. Zaragoza. 1996. Clear plastic mulch improved seedling emergence of direct-seeded pepper. *HortScience*. 31:70-73.
- Cebula, S. 1995. Black and transparent plastic mulches in greenhouse production of sweet pepper. II. Light condition and the generative development of plants. *Folia Hort*. 7:59-67
- Contreras, M. C. 1967. Instructivo para la toma de datos del melón (H-12). Departamento de hortalizas. I.N.I.A.-S.A.G. México.
- Chellami, D. O., S. M. Olson, D. J. Mitchell, I. Secker, and R. McSorley. 1997. Adaptations of soil solarization to the integrated management of soil borne pests tomatoes under humid conditions. *Phytopathology*. 87:250-258.
- Chin Choy E. W. and E. T. Kanemasu. 1974. Energy balance comparisons of wide and narrow row spacings in sorghum. *Agrom. J.* 66: 98-100.
- Davis, J. A. and P. H. Buttiner. 1969. Reflection coefficients, heating coefficients, and net radiation at Simcoe, Southern Ontario. *Agric. Meteorol.* 6:373-386.
- Decoteau, D. R., M. J. Kasperbauer, D. D. Daniels, and P. G. Hunt. 1988. Plastic mulch color effects on reflected light and tomato plant growth. *Scientia Hort*. 43:169-175.
- Decoteau, D. R., M. J. Kasperbauer, and Hunt 1989. Mulch surface color affects yield of fresh-market tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 216-219.
- ✱ Dugas, W. A. Fritschen, L. J. Gay., L. W. Held., A.A. Matthias., A.D. Reicosky., D.C. Steduto., P. Steiner. 1991 Bowen ratio, eddy correlation and portable chamber measurements of sensible and latent heat flux over irrigation spring wheat. *Agric. For. Meteorol.* 56: 1-20.
- Dubois, P. 1978. Plastic in agriculture. Applied sciences publ. Ltd. London. pp265. UK.

- Dyer, A. J. 1961. Measurements of evaporation and heat transfer in the lower atmosphere by an automatic eddy correlation technique. *Quart. J. Roy Meteorol. Soc.* 401-412.
- Dyer, A. J. 1982. an international turbulence comparison experiment (ITCE 1976). *Boundary Layer Meteorol.* 24:181-209.
- Fritshen, L. J. 1967. Net and solar radiation relations over irrigated field crops. *Agric. Meteorol.* 5: 55-62.
- Fuchs, M. 1986. Heat Flux, p. 957-968. In Klute, A. (ed.). *Methods of soil Analysis: Physical and mineralogical methods.* Agron. Monogr. No 9 (Part 1) Amer. Soc. Agron., Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wis.
- Fuchs, M. and C. B. Tanner. 1966. Infrared thermometry of vegetation. *Agron. J.* 58: 597-601.
- García de A. J 1996 *Manual de Acolchado, segunda parte. Productores de Hortalizas* p.24-25.
- García, R. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen para la Republica Mexicana.. México, pp251.
- García, V. M. A. 1994. Desarrollo y rendimiento del cultivo de melón (*Cucumis melo L*) híbrido " Laguna" con diferentes tratamientos de acolchado fotodegradables. Tesis de Ingeniero Agrónomo. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila. México. Pp. 7-8.
- Gates, D. M. 1980. *Biophysical Ecology.* Springer-Verlag. New York.
- Graham, H. A. H., D. R. Decoteau, and D. E. Linville. 1995. Development of a polyethylene mulch system that changes color in the field. *HortScience.* 30:265.269.
- Graser, E. A. and C .H. M. Van Bavel. 1982. The effects of soil moisture upon soil albedo. *Agric. Meterol.* 27: 17-26.
- Green, S. R. 1993. Radiation balance, Transpiration and photosynthesis of an isolated tree. *Agric. For Meterol.* 64: 210-221.
- Ham, J. M., Heiman, J. L. and Lascano, R.J. 1990. Determination of soil water evaporation and transpiration from energy balance and flow measurements. *Agric. For. Meteorol.* 52: 287-301.
- Ham, J. M. and G. J. Kluitenberg. 1994 Modeling the effect of mulch optical properties and mulch-soil contact resistance on soil

heating under plastic mulch culture. *Agric. For. Meteorol.* 71:403-424.

Ham, J. M., G. J. Kluitenberg and W.J Lamont. 1991. Potential impact of plastic mulches on the aboveground plant environment. 23 rd National Agricultural Plastics Congress (1991) Mobile, Alabama USDA.

✓ Ham, J. M. and G. J. Kluitenberg, and W.J Lamont. 1993. Optical properties of plastic mulches affect the field temperature regime. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118:188-193.

Ham, J. M. and R. S. Senock. 1992. On the measurement of soil surface temperature. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 56: 370-377.

Hanks, R. J., L. H. Allen, and H. R. Garder. 1971. Advection and evapotranspiration of wide row sorghum in the central Great Plains. *Agron. J.* 63:520-527.

Hanna, H. Y., E. P. Millhollon, J. K. Herrick, and C. L. Fletcher. 1997. Increased yield of heat-tolerant tomatoes with deep transplanting irrigation, and white mulch, *HortScience.* 32:224-226.

Heilman, J. L., W. E. Heilman, and D. G. Moore. 1981. Remote sensing of canopy temperature at incomplete cover. *Agron J.* 73:403-406.

Heilman, J. L., K. J. McInnes, M .J. Savage, R. W. Gesch, and R. J. Lascano. 1994. Soil and canopy energy balances in a west Texas vineyard. *Agric. For. Meteorolo.* 71:99-114.

Hicks, B. B., 1970. The measurement of atmospheric fluxes near the surface: a generalized approach. *J. Appl. Meteorol.*, 9,386-388.

Hochmuth, G. J. and J.C. Howell. 1983. Effect of black plastic mulch and raised beds on sweet potato growth and root yiel in a northern region. *HortScience.* 18:467-468.

Houle, G. and P. Babeux. 1994. Fertilizing and mulching influence on the performance of four native woood species suitable for revegetation in sub arctic Quebec. *Can. J.For Res.* 24: 2342-2349.

Huband, N. D. S. and J. L. Monteith. 1986. Radiative surface temperature and energy balance of a wheat canopy. I. Comparison of radiative and aerodynamic canopy temperature. *Boundary-Layer Meteorol.* 36:1-17.

- Huang, J. S., R. K. Shen. 1992. Analysis of crop evapotranspiration under transparent polyethylene mulch. In ICID, 17th congress on Irrigation and drainage, Granada, Spain.
- Idso, S. B., R. D. Jackson, W. L. Ehler, and S. T. Mitchell. 1969. A method for determination of infrared emittance of leaves. *Ecology*. 50:899-902.
- Idso S. B. 1974. The Calibration and use of net radiometer. Pp 261-275 In: N.C. Brady (ed) *Adv. Agron.* 26: 261-275 Academic Press New York.
- Idso, S. B., R. D. Jackson, R. J. Reginato, B.A. Kimball, and F.S. Nakayama. 1975. The dependence of bare soil albedo on soil water content. *J. Appl. Meteorol.* 14:109-113.
- Jacobs, A. F. G. and W. A. J. Van Pul. 1990. Seasonal changes in the albedo of a maize crop during two seasons. *Agric. For. Meteorol.* 49:351-360.
- Jones, F.E. 1992. *Evaporation of water*. Lewis Publisher, Chelsea, Mich, p11.
- Kaimal, J. C., Wyngaard, J. C., Izumi, Y., Cote, O. R. 1972. Spectral characteristics of surface layer turbulence. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 98, 563-589.
- Killher F. M., Leuning, R., Schulze E.D. 1993. Evaporation and canopy characteristic of coniferous forest and grassland. *Oecologia*, 95:153-163.
- Kimball, B. A. and R. D. Jackson. 1979. Soil heat flux, p 211-229. In B.J. Barfield and J.F. Gerger (eds). *Modifications of the Aerial Environment of Planted*. Monogr. No.2. Amer. Soc. Agric. Eng., St Joseph. Mich.
- Lhamme, J. P., B. Montey and M. Amadou. 1994. Estimating sensible heat flux from radiometric temperature over sparse millet. *Agr. For. Meteorol.*
- Liakatas, A., J. A. Clark, and J.L. Monteith. 1986. Measurements of the heat balance under plastic mulches *Agric. For. Meteorol.* 36 227-239.
- Loy, B and O. Wells. 1990. Effect of IRT mulches on soil temperature early vegetative development in muskmelon and weed growth.

Proc. Natl. Plastic. Congress. 22:19-27. Montreal. Quebec. Canada.

- Mahrer, Y. and J. Katan. 1981. Spatial soil temperature regime under transparent polyethylene mulch: numerical and experimental studies. *Soil Sci.* 131: 82-87.
- Maiero, M., F. D. Schales and T. J. Ng. 1987. Genotypes and plastic mulch effects on earliness, fruit, characteristics, and yield in muskmelon. *Hortscience*.
- Malek E. Bingham, G. E. McCury G. D. Hanks R.J. 1992 Determination of alfalfa evapotranspiration irrigation with saline waste water from electrical power plant. *Irrig. Sci.* 13: 73-80.
- Malek, E. 1993. Comparison of the Bowen ratio-energy balance and stability-corrected aerodynamic methods for measurement of evapotranspiration. *Theor. Appl. Climatol.* 48: 167-178.
- Malek, E. Bingham, G. E., McCurdy, G. D. 1990. Evapotranspiration from the margin and moist playa of a closed desert valley. *J. Hydrol.* 120: 15-34.
- Marco, M., H. 1969. El melón. Economía, producción y comercialización. Trad. Del Frances. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Maroto, B. J. V. 1989. Horticultura herbácea especial. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Martinez F. R. 1997 Efecto del acolchado en la temperatura superficial del suelo y su relación con el desarrollo y rendimiento del cultivo de melón (*Cucumis melo* L). Tesis de maestría. UAAAN. Saltillo, Coah.
- Mashingaidze, A. B., O. A. Chivine, and C, Zishire. 1996. The effects of clear and black plastic mulch on soil temperature, weed seed viability and seedling emergence, growth and yield of tomatoes. *J Appl. Sci South. Africa.* 2:6-14.
- McAneney, K. J., Brunet, Y. and Itier, B. 1994. Downwind evolution of the transpiration by two irrigated crops under conditions of local advection *J. Hdrology*, 161: 375- 388.
- McBean, G. A. 1972. Instrument requirements for eddy correlation measurements. *J. Appl. Meteorol.* 11,1078-1084.

- Miyake, M. and McBean, G. 1979. On the measurement of vertical humidity transport over land. *Boundary Layer Meteorol.* 1,88-101
- Monteith J. L. and M. H. Unsworth. 1990. *Principles of environmental physics.* 2nd ed Edward Arnold, London.
- Monteith, J .L. and J. F. Elston. 1971. Microclimatology and crop production. P.23-42. In P.F. Wareing and J.P- Cooper (eds). *Potential crop production: case study.* Heinemann. London.
- Monteith, J. L. 1959. The reflection of short-wave radiation by vegetation. *Quart. J. Royal Meteorol. Soc.* 85:386-392.
- Monteith, J. L. 1965. Evaporation and environment, P. 205-234- In G.E. Fogg (ed). *The state and movement of water in living organisms.* Symp. Soc, Exptl. Biol. Academic. Press, New York.
- Moss, R. A. and W. E. Loomis. 1952. Absorption spectra of leaves 1. The visible spectrum. *Plant Physiol.* 27:370-391.
- Nkemdirin, L. C. 1973. Radiative flux relations over crop. *Agric. Meteorol.* 11:229-242.
- Ohtaki, E. and Matsui, T. 1982. An infrared device for simultaneous measurement of fluctuations of atmospheric carbon dioxide and water vapor. *Boundary layer Meteorol.* 24: 109-119.
- Parlange, M. B., Eichenger, W. L. Alberson, J.D. 1995. Regional scale evaporation and the atmospheric boundary layer. *Rev. Geophys.,* 33(1): 99-124.
- Prueger J.H., J.L. Hatfiel y T.J. Sauer. 1998. Surface energy balance partitioning over rice and oats cover crop in central Iowa. *J. Soil and Water Cons.* 53(3):263-268.
- Reyes, C. J. L. y P. Cano R. 1992. La polinización del melón y otras cucurbitáceas por abejas melíferas. *Talleres gráficos INCA Rural,* A. C. 51 pp México.
- Richardson, A., P. Mooney, T. Dawson, P. Anderson. W. J. Killen and M. Astill. 1993. Satsuma mandarina quality is improved using a reflective mulch. *Orchaedist N. Z* 66: 36-38.
- Roberts, B. W. and J .A. Anderson. 1994. Canopy shade and soil mulch affect yield solar injury in pepper. *HortScience* 26:539-541.

- Schales, F. D. 1990. Agricultural plastic use in the United State Proc. 11th Intl. Congr. Plast. Agric. J. 54-56.
- Shuttleworth, W. J., D. D. McNeil and C. J. Moore. 1982. A switched continuous-wave sonic anemometer for measuring heat flux. *Boundary Layer Meteorol.* 23: 425-448.
- Stull, R. B. 1988. An introduction to boundary layer meteorology. Kluwer academic publishers, The Netherlands.
- Stein, L.T Longbrake, M. Braverman, M. Baker, R. Roberts, J. Parson and D. Cotner. 1990.
- Swinbank, W. C. 1951. The measurement of vertical transfer of heat and water vapor by eddies in the lower atmosphere. *J. Meteorol.* 8: 135- 145.
- Stewart, J. B., W. P. Kustas, K. S. Humes, W.D. Nichols, M.S. Moran, and H.A.R. de Bruin. 1994. Sensible heat flux- radiometric surface temperature relationship in eight semiarid areas. *J. Appl. Meteorol.* 33:1110-1115.
- Tamaro, D. 1974. Manual de horticultura. 7ª Edition. Ed. Gustavo-Gill. Barcelona, España.
- Tanner, C. B. 1960. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 24:1-9.
- Tanner. C. B. 1974. Microclimate modification: basic concepts. *HortScience.* 9:555-560.
- Tarara J. M. and J. M. Ham. 1997. Measuring soil water content in the laboratory and field with dual-probe heat-capacity sensors. *Agron. J.* 89:535-542.
- Tarara, J. M. And J. M. Ham. 1999. Measuring sensible heat transport in plastic mulch culture with aerodynamic conductance sensors. *Agric. For. Meteorol.* 95:1-13.
- Tarara, J.M. 2000. Microclimate modification with plastic mulch. *HortScience*, Vol 35(2) April 2000.
- Valadez L. A. 1994. Producción de hortalizas. Ed Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. Cuarta reimpresión. México.

- ✓ Valadez L. A. 1997. Producción de hortalizas. Ed Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. Sexta reimpresión. México
- Van den Hornet, T. H. 1948. Water transport in plants as a catenaries process. *Disc. Faraday Soc.* 3: 146-153.
- Ullman, W. J, 1985. Evaporation rate from a salt pan: estimates derived from chemical profile in near-surface groundwaters. *J.Hydrol.*, 79:365-373.
- ✓ Van Derwerken, J. E. and D. Wilcox-Lee. 1988 Influence of plastic mulch and type and frequency of irrigation on growth and yield of bell pepper. *HortScience.* 23:985.988.
- Waggoner, P. E., P. M. Miller and H. C. De Roo. 1960. Plastic mulching: principles and benefits. *Connecticut Agric. Exp. Stat. Bull.* 634.
- Whitaker, T.W. 1979. Cucurbits: Evolution of crop plants. Ed. N.W. Simmons. Edimburg Schools of Agriculture Scotland. Editorial Lon. Man. New York y Londres.
- Wihtaker, T. W. and Bemis, W. P. 1974. Cucurbits: Evolution fo crop plants Ed. N.W. Simmons. Edimburg Schools of Agricultural Scotland. Editors.
- 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.* 112:763.
- Wien, H. C., P .L. Minotti, and V. P. Grubinger. 1993. Polyethylene mulch stimulates early root growth and nutrient uptake of transplanted tomatoes. *J. Amer. Hort. Sci.* 118:207-211.
- ✓ Wu, Y., K. B. Perry and J.B. Ristaino. 1996. Estimating temperature of mulched and bare soil from meteorological data. *Agric. For. Meteorol.* 81:299-323.
- ✓ Zapata, M., P. Cabrera, S. Bañon y P. Roth. 1989. El melón. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Zermeño-Gonzalez, A. and L. E. Hipps. 1997. Downwind evolution of surface fluxes over vegetated surface during local advection of heat and saturation deficit. *Journal of Hydrology*, 1992: 189-210.
- ✓ Zermeño A. R. Martinez and J. Munguia 1998 The effect of four plastic mulches on the top soil temperature and its relation to the

growth and yield of Muskmelon. 27th National Agricultural
Plastics Congress. Tucson Az. Feb. 1998 pp. 112-117.