



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Efecto de la Labranza Vertical en el Flujo de Bióxido de Carbono y la Conservación de Humedad del Suelo.

POR:

ISMAEL VARGAS MARTÍNEZ

T E S I S

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Efecto de la Labranza Vertical en el Flujo de Bióxido de Carbono y la
Conservación de Humedad del Suelo

Por:

ISMAEL VARGAS MARTÍNEZ

TESIS

Que Somete a la Consideración del H. Jurado Examinador
como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobada por el Comité de Tesis

Asesor Principal

Asesor

Dr. Martín Cadena Zapata.

Dr. Alejandro Zermeño González.

Asesor Externo

Asesor Externo

M.C. Armando López Santos.

M.C. José Alexander Gil Marín.

Coordinador de la División de Ingeniería

Dr. Raúl Rodríguez García.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Mayo de 2007

DEDICATORIA

Con mucho amor y respeto para las personas que más amo en esta vida:

A mi mamá Sra. M. Graciela Martínez Arellano por darme la vida y brindarme el apoyo de madre en todos los buenos y malos momentos de la vida, por los sacrificios, el esfuerzo y el apoyo moral que siempre me ha brindado, gracias mama por ayudarme en todos los momentos que te necesite.

A mi papá Sr. Juan Cruz Vargas Vela por brindarme su apoyo y la confianza depositada en mi, para salir adelante, sobre todo por el esfuerzo moral y el sacrificio económico que siempre me ha brindado, gracias padre por ayudarme a que yo sea alguien en la vida.

A mis hermanos (a): Francisco Vargas, Juan Vargas, Juan Pablo Vargas, Raúl Vargas, Blanca Lucero Vargas, por la confianza depositada para con migo y el apoyo de familia que siempre me han brindado solo me resta decirles que si se puede gracias.

Mi triunfo es suyo.

A mi tío Sr. Juan Manuel Martínez por su gran apoyo brindado siendo el una persona que siempre me a inspirado confianza para contarle mis cosas y pedirle consejos además, de siempre brindarme un techo cuando e viajado a U.S.A gracias por todo tío.

A mi tío y su esposa Sr. Ezequiel Martínez y Sra. Marta Chávez por todos los detalles que han tenido para con migo en los momentos que me e encontrado de visita en U.S.A.

A la familia: Cisneros Rivera: Antonia Rivera, J. Luz Cisneros, Margarita Cisneros, Amada Cisneros, Rodolfo Cisneros, por el apoyo espiritual y moral que siempre me han brindado, gracias por ser unos vecinos excepcionales y por la confianza depositada para con migo.

A mi abuela: Gregaria Arrellano, que siempre estuvo apoyándome con sus bendiciones en el momento más necesitado.

A mis abuelos (finados): Sra. Cecilia Vela Granados, Sr. Hipólito Martínez García, en donde quiera que estén siempre estarán a mi lado y siempre los tendré presentes.

AGRADECIMIENTOS

A Dios nuestro señor todo poderoso por darme la oportunidad de la vida, y sobre todo por ser la guía que ilumina mi camino y el permitirme finalizar una etapa más en mi vida, gracias dios mió por todo lo lindo que me has dado.

A mi ALMA TERRA MATER por abrirme las puertas para la culminación de una etapa más en mi vida, siempre me sentiré orgulloso de ser Narro.

Al Dr. Martín Cadena Zapata por su asesoría profesional y apoyo para la realización de este proyecto de investigación por compartir experiencias y conocimientos.

Al Dr. Alejandro Zermeño González por la confianza que deposito para conmigo y su asesoría profesional en el desarrollo de la investigación además de que compartimos experiencias inolvidables y por transmitirme su conocimiento sin recibir nada a cambio.

Al M. C. Armando López Santos por su apoyo tanto moral como de su asesoría profesional el cual fue fuente básica para llevar a cabo la finalización de esta investigación.

Al M.C. Alexander Gil Marín por su amistad y el apoyo brindado en el desarrollo de la investigación.

A mis compañeros de la generación CII de la carrera de Ingeniero Mecánico Agrícola con los que compartí experiencias inolvidables durante mi trayectoria en la universidad, a quienes siempre llevare con migo como un grato recuerdo: Teodoro Hernández, Jorge Samuel López, Ismael Torres, Salvador Pérez, Elías Hernández, Carlos Hernández, Emanuel Moguel, Refugio Marín, Humberto Guerrero, dios guié su camino en donde quiera que estén.

A los maestros del departamento de Maquinaria agrícola: Dr. Martín Cadena Zapata, M.C. Héctor Uriel Serna Fernández, Ing. Juan Arredondo Valdez, Ing. Juan Antonio Guerrero Hernández, Ing. Blanca Elizabeth de la Peña Casas, M.C. Tomás Gaytán Muñiz, Ing. Ramiro Luna Montoya, Ing. Rosendo Garza García, M.C. Jesús Rodolfo Valenzuela García, Ing. Jorge Alberto Flores Berruelo, por los conocimientos transmitidos para con migo durante mi estancia en la universidad.

A mis amigos (a): Gabriela Méndez, Patricia Avelino, Rosa M. Aguilar, Mónica Narváez, Karla Carolina Melchor, José Nivardo Galván, Ricardo Martínez, José Sánchez, Anselmo Becerra, Jesús Román, Francisco Hernández, Raúl Barbosa, Ramón Rodríguez, Áscari Quijas, Hugo Rivera, José Flavio Alvarado, Francisco, por brindarme su amistad y apoyarme en el tiempo que estuve en la universidad.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
INDICE GENERAL	vii
INDICE DE FIGURA	ix
INDICE DE CUADROS	xiii
RESUMEN	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo.....	3
Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Cambio climático	4
2.2 Efecto invernadero	5
2.2.1 Contribución del CO ₂ en el calentamiento global del planeta	6
2.2.2 Contribución de las actividades agrícolas en la generación de gases de efecto invernadero.....	7
2.3 Ciclo del carbono en un agroecosistema	8
2.3.1 Fotosíntesis y respiración del suelo.....	9
2.3.1.1 Relación entre la materia orgánica y la producción de CO ₂	11
2.3.2 Sistemas de labranza y su relación en las emisiones de CO ₂	11
2.4 Humedad del suelo e importancia	12
2.4.1 Efecto de la labranza en la conservación de la humedad del suelo ..	13
2.5 Definición de las zonas áridas y semiáridas.....	14
2.5.1 Distribución en México.....	15
2.6 Componentes del balance de energía	15
2.7 Métodos para medir variables de flujo (CO ₂ y evapotranspiración).....	18
2.7.1 Métodos para estimar la evapotranspiración:.....	18
2.7.1.1. Métodos directos	18
2.1.2 Métodos indirectos	19

III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1 Localización geográfica general del sitio de estudio	24
3.2 Características generales del sitio de estudio	24
3.2.1 Clima	24
3.2.2 Vegetación.....	24
3.2.3 Suelo	25
3.3 Descripción de los tratamientos evaluados	27
3.4 Instrumentación y mediciones realizadas.....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
V. CONCLUSIONES	50
VI. LITERATURA CITADA	51

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
2.1 Representación esquemática de el como se queda atrapada la radiación solar por los gases de efecto invernadero, además de una representación esquemática de los flujos.....	6
2.2 Diagrama representativo del ciclo de carbono en un agrosistema.	9
2.3 Representación esquemática de los componentes de la ecuación del balance de energía, radiación neta (R_n), flujo de calor sensible (H), flujo de calor latente (LE), flujo de calor en la superficie del suelo (G), almacenamiento o liberación de energía por cambios de temperatura (S) y energía usada en la fotosíntesis (PH) sobre una superficie vegetal.....	17
3.1 Representación esquemática del sitio de estudio y ubicación de las parcelas experimentales.....	26
3.2 Arado de vertederas tipo (Cinzel), con un ancho de trabajo de aproximadamente 1.5 mts.....	27
3.3 Aplicación de la labranza Vertical (Cinzel) en la parcela de estudio, Rancho los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	28
3.4 Sistema eddy en la parcela de labranza testigo (sin movimiento de suelo) para medir los flujos de calor latente (λE) y flujo de CO ₂ entre la superficie y la atmósfera circundante.....	30
3.5 Sistema eddy en la parcela de labranza vertical para medir los flujos de calor latente (λE) y flujo de CO ₂ entre la superficie y la atmósfera circundante.....	31

4.1	Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observado el día 294 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	34
4.2	Flujo de radiación neta R_n) y calor latente (LE) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observados el día 294 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	34
4.3	Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observado del día 295 al 296 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	36
4.4	Flujo de radiación neta R_n) y calor latente (LE) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observados el día 295 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	36
4.5	Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observado del día 297 al 298 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	38
4.6	Flujo de radiación neta R_n) y calor latente (LE) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observados el día 298 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	38

4.7	Flujo de bióxido de carbono (1 día después de la labranza vertical), observado del día 315 al 316 (valores negativos representan asimilación y positivos liberación), Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	40
4.8	Flujo de bióxido de carbono (2 días después de la labranza vertical), observado el día 316 del año (valores negativos representan asimilación y positivos liberación), Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	41
4.9	Flujos de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) observados el día 315 del año en la superficie con labranza vertical, Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	41
4.10	Flujos de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) observados el día 316 del año en la superficie con labranza vertical, Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	42
4.11	Flujo de bióxido de carbono (5 días después de la labranza vertical), observado día 319 (valores negativos representan asimilación y positivos liberación), Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	44
4.12	Flujos de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) observados el día 319 del año en la superficie con labranza vertical, Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	44
4.13	Flujo de bióxido de carbono (11 días de la labranza vertical), observado el día 325 (valores negativos representan asimilación y positivos liberación), Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	45
4.14	Flujos de radiación neta (Rn) y calor latente(LE) observados el día 325 del año en la superficie con labranza vertical, Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	45

4.15	Flujos integrados de bióxido carbono (los valores negativos representan asimilación) observados en la superficie con vegetación en el Rancho los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	46
4.16	Flujos integrados de bióxido carbono (los valores positivos representan liberación) observados en la superficie con labranza vertical en el Rancho los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	46
4.17	Relación de LE/Rn (índices), de el tratamiento testigo para diferentes días del año, el cual se llevo a cabo en el Rancho los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	48
4.18	Relación de LE/Rn (índices), de el tratamiento la labranza vertical par diferentes días del año después de aplica la labranza, el cual se llevo a cabo en el Rancho los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	48
4.19	Lámina de agua evapotranspirada (ET;,mm) en la superficie sin labranza y con presencia de vegetación nativa, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	49
4.20	Lámina de agua evapotranspirada (ET; mm) en la superficie con labranza vertical, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	49

INDICE DE CUADROS

3.1	Propiedades físicas y químicas del suelo del sitio experimental....	26
-----	---------------------------------------------------------------------	----

RESUMEN

La presente investigación se llevo a cabo para evaluar el efecto de la labranza vertical en los flujos de bióxido de carbono (CO_2) y calor latente en comparación con un terreno sin disturbar (testigo), esto para condiciones de una zona Árida del estado de Coahuila. Con la finalidad de conocer en que proporciones se esta contribuyendo a la acumulación de GEI en la atmósfera, así como el efecto que provoca sobre la humedad del suelo.

Los flujos de bióxido de carbono y calor latente se midieron con el sistema de la covarianza Eddy el cual fue colocado en cada superficie en el extremo sur de los lotes experimentales este fue colocado a 1.6 m de altura desde la superficie. Las mediciones para la superficie sin labranza (testigo), se realizaron desde el día 293 al 314 del año y en la superficie donde se aplico la labranza vertical desde el día 314 al 332 del año.

Con los resultados obtenidos a través de las mediciones realizadas se observo que la labranza vertical promueve mayor liberación de bióxido de carbono en comparación con el testigo ya que este mostró que tiene una mayor asimilación que liberación de CO_2 , por lo que este se comporta como fuente de captura de CO_2 , por lo que se recomienda la no remoción del suelo en lo mas posible. En lo referente a la humedad del suelo se demostró que la labranza promueve la conservación de la humedad al ya no quedar demasiada cobertura vegetal y promueva la transpiración y la absorción de humedad de estratos mas profundos.

I. INTRODUCCIÓN

El clima siempre ha variado, el problema del cambio climático es que en el último siglo el ritmo de estas variaciones se ha acelerado de manera anómala, a tal grado que afecta ya la vida planetaria. Al buscar las causas de esta aceleración, algunos científicos encontraron que existe una relación directa entre el calentamiento global o cambio climático y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), provocado principalmente por las actividades industriales y agrícolas.

Tomando en consideración lo anterior, el 11 de diciembre de 1997 los países industrializados se comprometieron en la ciudad de Kyoto a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero. Los gobiernos signatarios pactaron (entre estos México) reducir en un 5.2 % las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. El acuerdo entro en vigor el 16 de febrero del 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004.

Las actividades agrícolas, incluyendo el cambio de uso, constituyen una fuente importante de GEI (Agriculture and Agri-Food Canadá, 1998). Sin embargo la adopción de nuevas prácticas de manejo del suelo por parte de los productores podría contribuir a menores emisiones de GEI en las tierras agrícolas del mundo (Eric y Wander, 1998).

Un informe reciente sobre el cambio climático en América Latina del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente revela que nuestro país es el principal emisor de CO₂ con emisiones netas de 444 millones de toneladas métricas lo que representa el 1% de las emisiones mundiales (Poy, 2006)

En México el INE (2001) ha señalado que la contribución de este sector agrícola a la emisión de CO₂ corresponde a 30.6% del total de las emisiones. Estas emisiones se atribuyen principalmente al cambio de uso del suelo y a la

deforestación. Por lo que el suelo, además de ser un almacén potencial de carbono, es una fuente potencial de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Uno de los principales problemas es de que se tiene muy poca información acerca del potencial para el secuestro de carbono bajo las prácticas y condiciones locales de producción agrícola en las zonas áridas y semiáridas de los países en desarrollo (FAO, 2004).

Al romper el suelo y preparar la cama de semilla se produce un repentino aumento de la presión parcial de oxígeno hasta la profundidad del arado, lo que genera una rápida oxidación de la materia orgánica que resulta en una pérdida de carbono del suelo de aproximadamente 2 ton ha⁻¹, equivalente a 8 ton de CO₂ ha⁻¹ para el caso de rotura con arado de vertedera (Reikosky y Lindstrom, 1993).

La respiración del suelo es el primer camino por el cual el CO₂ fijado por las plantas retorna a la atmósfera, (Schesingler y Andrews, 2000); para reducir dicho retorno ha habido una tendencia en algunos países a utilizar la labranza reducida (Curtin *et al*, 2000), sin embargo el impacto de estos cambios de manejo del suelo en el secuestro de carbono permanece incierto (Houghton *et al*, 1999; Smaglik, 2000; Johnson *et al*, 2005)

Existen relativamente pocos datos sobre la emisión de gases de las actividades que contribuyen al efecto invernadero en las diversas regiones agrícolas del mundo (Johnson *et al*, 2005). Haciendo una sugerencia donde mencionan que es necesario más investigación para entender mejor las interacciones entre la labranza, el sistema de cultivo y la fertilización en el secuestro de carbono orgánico y en las emisiones de gases.

En las regiones áridas y semiáridas de México, se requieren sistemas alternativos de acondicionamiento del suelo que capturen y conserven la poca precipitación pluvial (Pérez, 2003).

En relación al manejo de suelos en ambientes áridos y semiáridos, el balance anual negativo entre precipitación y evaporación define una estación de crecimiento bastante corta de menos de 120 días (FAO 1993, Zárate 2005) esto hace necesario el uso de nuevos sistemas de labranza para crear las condiciones de captación y conservación de humedad (Scopel *et al*, 2001, Ventura *et al*, 2003).

Las técnicas de labranza conservacionista con manejo de residuos tuvieron un efecto positivo en cuanto a la retención de humedad del suelo, tanto en períodos de sequía como en temporadas de precipitación normal. Este efecto se manifestó en las capas superficiales del suelo, hasta los 40 cm, donde se produce la mayor absorción de agua por la plantas. La técnica conservacionista que no mantuvo residuos sobre el campo no demostró ser mejor que la labranza convencional en cuanto a su capacidad de retener agua en el perfil de suelo (Hamil y Rouanet, 2002).

Objetivo

Evaluar el efecto de la labranza vertical en el flujo de bióxido de carbono y flujo de calor latente, desde la superficie del suelo, y su relación con los flujos bajo un terreno no disturbado.

Hipótesis

A pesar de que la labranza vertical ocasiona un menor movimiento de suelo, este promueve mayor liberación de bióxido de carbono y pérdida de humedad del suelo en comparación a un suelo no disturbado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cambio climático

Desde finales de la década de los años 90's varios autores (Villers y Trejo, 1997; Ordóñez, 1998; Gay, 2000; Milenio, 2001), han señalado que México se encuentra entre las regiones más vulnerables a los impactos asociados al cambio climático debido a sus condiciones bioclimáticas y socioeconómicas.

Maunder (1992) lo define como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y sumándose a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

En relación a esta problemática, se ha cuantificado que las actividades humanas ya tienen gran influencia en el balance de energía del planeta, de tal manera que muchos países firmaron en 1997 el Protocolo Kyoto y este se ha venido ratificando hasta la fecha (IPCC, 2007), mediante el cual se comprometen a cuantificar y reducir emisiones de gases (principalmente CO₂) que causan el efecto invernadero. El protocolo fue ratificado por 141 países en febrero del 2005 y a partir de entonces se hace obligatorio reducir (tomando como referencia los niveles de 1990), en 5.2% para el año 2012 la emisión de gases por actividades antropogénicas que de acuerdo al protocolo, son los causantes del efecto invernadero (UNFCCC, 2005).

2.2 Efecto invernadero

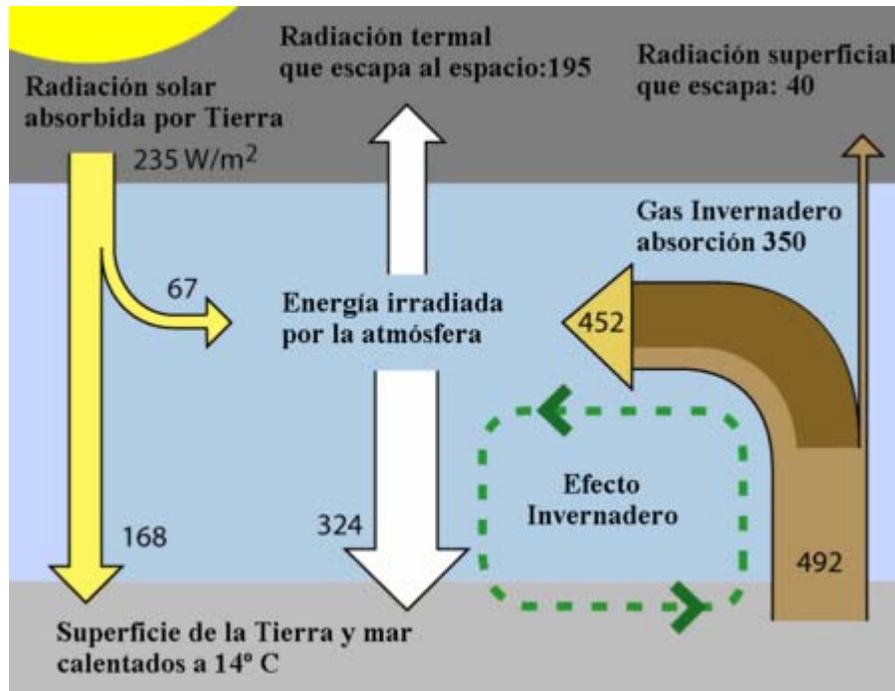
Determinados gases componentes de una atmósfera planetaria retienen parte de la energía que el suelo emite en virtud de su calentamiento por la radiación solar. Afecta a todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera. De acuerdo con el actual consenso científico, el efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión, debida a la actividad económica humana, de ciertos gases (Graedel y Crutzen, 1993).

Los gases de efecto invernadero que realmente preocupan son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), los óxidos de nitrógeno (N_2O) y los fluoroclorocarbono (FCC). El primero de ellos es el más abundante de los gases producidos por la actividad económica del hombre (agricultura, cambio de uso del suelo, industria, transporte, producción de energía, origen doméstico, incendios forestales, etc.). Del grupo de los gases de efecto invernadero (GEI) donde están los clorofluocarbonos (CFC) y los óxidos de nitrógeno (NO_2), destacan el vapor de agua (H_2O) y el dióxido de carbono (CO_2) por su estabilidad para retener la radiación de onda larga (R_{SW}), cuyos fenómenos produce un aumento sustancial de la temperatura (IPCC, 2001).

El dióxido de carbono atmosférico, es uno de los gases de mayor importancia por su concentración en la atmósfera, ha aumentado su concentración 31% entre el año 1750 y el presente, al pasar de 280 a 367 ppm de CO_2 . Dicha concentración es la mayor de los últimos 420 mil años y probablemente la mayor de los últimos 20 millones de años de la historia de la tierra (Ivaldi, 2004).

Las actividades humanas, tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y los procesos derivados del cambio en el uso del suelo y silvicultura, están generando grandes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), clorofluorocarbonados (CFC's), óxidos de nitrógeno (N_2O) y metano (CH_4),

principalmente, siendo el CO₂ uno de los GEI más importantes por las grandes cantidades en las que se emite (Benjamín y Masera, 2001).



Fuente: Lashof (1989). Balance radioactivo terrestre

Figura 2.1 Representación esquemática de el como se queda atrapada la radiación solar por los gases de efecto invernadero, además de una representación esquemática de los flujos.

2.2.1 Contribución del CO₂ en el calentamiento global del planeta

El dióxido de carbono es uno de los principales contribuidores en el calentamiento atmosférico, en conjunto con otros gases como CH₄, N₂O y CFC's, en el presente con una concentración de dos a seis veces menor que el CO₂, pueden rivalizar el efecto del CO₂, porque, estos por molécula absorben la radiación mucho más fuertemente, particularmente en la longitud de onda crítica de 8 a 10 μm (Jones, 1992; IPCC, 2001).

Las emisiones de CO₂ representan el 50% del efecto invernadero derivado de la actividad humana. El CO₂ proviene principalmente del consumo de energía fósil: petróleo, gas natural y carbón mineral. El aporte de carbono a la atmósfera en 1990, derivado del consumo de combustibles fósiles a nivel mundial, se estima en 6.000 millones de toneladas métricas anuales.

Houghton *et al.* (1995), reporta que la concentración de CO₂ ha venido aumentando de manera exponencial a razón de 1.5 µm mol año⁻¹ desde finales del siglo XVIII como resultado de la quema de combustibles fósiles y se predice una concentración similar al doble con la concentración pre-industrial (280 µm mol) para mediados del siglo XXI.

Una importante fuente adicional de CO₂ es la deforestación en el trópico. Durante la década de los 80 se estima que representó un aporte promedio de aproximadamente 1.500 millones de toneladas métricas de carbono al año. Fuentes adicionales de importancia son los factores bióticos naturales, cuya contribución se estima entre 500 y 1.000 millones de toneladas de carbono al año.

2.2.2 Contribución de las actividades agrícolas en la generación de gases de efecto invernadero.

Los distintos sistemas de labranzas o de rotaciones pueden afectar el contenido de materia orgánica (MO), incrementándolo o deprimiéndolo (Solberg *et al.*, 1997; Izaurrealde *et al.*, 2000). La conservación o mejoramiento del recurso suelo en el largo plazo es condición necesaria para la sostenibilidad de un agroecosistema, y en ese sentido es imperativo mantener (MO), la cual es factor determinante de la porosidad y por lo tanto de la capacidad de infiltración, retención de humedad, resistencia a la erosión hídrica y eólica, y es fuente básica de fertilidad química (Izaurrealde *et al.*, 2000). Además es el más importante reservorio de carbono a nivel de la superficie de la tierra, que puede contribuir a disminuir o aumentar el tenor de CO₂ atmosférico, y por lo tanto

afectar el cambio climático global (Rosell y Galantini, 1998; Izaurrealde *et al.*, 2000).

La evaluación del uso del suelo y de la vegetación en relación a la contribución de CO₂ son un punto crítico en el planteamiento de estrategias para mitigar la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera (Caspersen., *et al.* 2000).

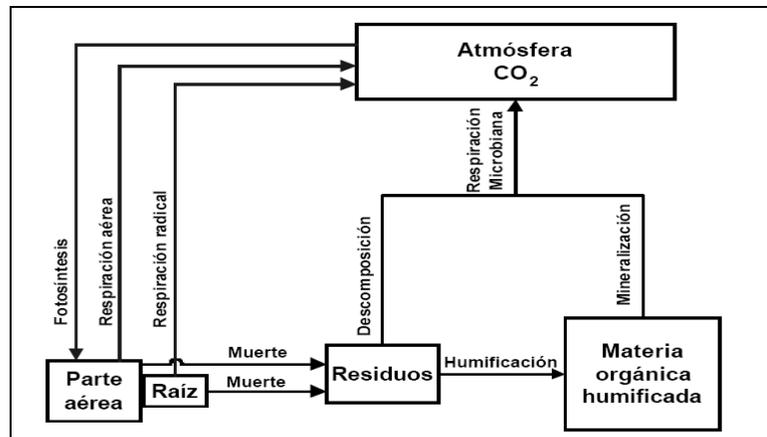
Li, (2005), menciona que la concentración actual de CO₂ en la atmósfera podrá incrementarse al doble en los próximos 50 años, además de los riesgos que trae ello, a no ser que de inmediato se sume la tarea de controlar la respiración de la capa arable del suelo.

Las labranzas conservacionistas incrementaron el nivel inicial de carbono (C) en los primeros 10 cm de suelo, mientras que la labranza convencional (LC), tuvo el efecto inverso. Con el sistema siembra directa (SD), se pudo almacenar 6,9 Mg ha⁻¹ más carbono orgánico total (COT) que con LC en la profundidad de 0-30 cm. Para las condiciones climáticas de la región, la SD se comportó como sumidero de CO₂ atmosférico, LC como fuente, y la labranza vertical (LV), prácticamente indiferente. Bajo SD el C estable obtenido por diferencia entre el COT y el C lábil, resultó significativamente mayor que bajo los otros sistemas de labranza. El sistema SD se presentó como sustentable para la región, porque permitió acumular mayor cantidad de C, de mejor calidad y estabilidad.

2.3 Ciclo del carbono en un agroecosistema

El carbono ingresa al agrosistema por la fotosíntesis y sale del mismo por la respiración radical y microbiana (Figura 1.2). La diferencia entre la cantidad de carbono que ingresa como residuos vegetales al suelo y la que se genera por respiración microbiana representa el balance de carbono del mismo. Cuando la biomasa vegetal muere pasa a ser residuos vegetales. Durante su

descomposición se liberan nutrientes y se emite CO_2 . Este también es generado en el proceso de mineralización de la materia orgánica humificada. La suma de la emisión de CO_2 por descomposición y mineralización constituye la respiración microbiana o heterotrófica del suelo. El carbono de los residuos, que no es emitido como CO_2 durante la descomposición pasa a formar parte de la biomasa microbiana en un primer momento. Luego se integra a sustancias orgánicas más estables y se denomina carbono humificado. El proceso de su incorporación a estos componentes se conoce como humificación (Álvarez, 2006).



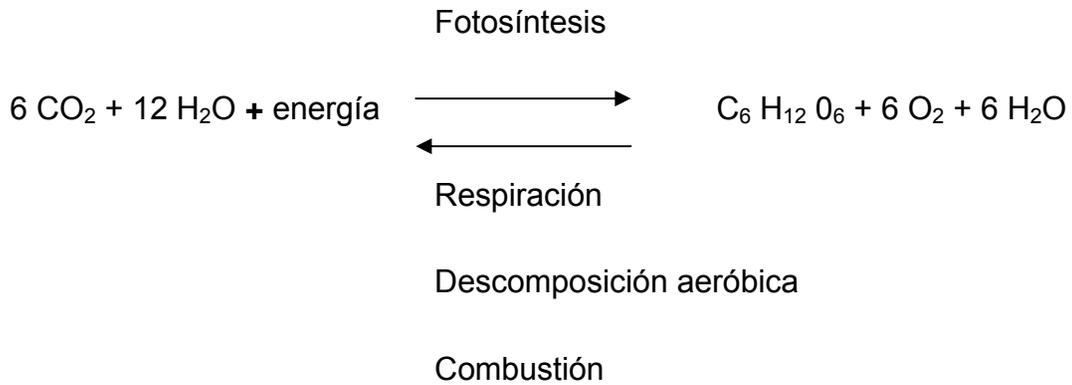
Fuente: Balance de carbono en los suelos (Álvarez, 2006)

Figura 2.2. Diagrama representativo del ciclo de carbono en un agrosistema.

2.3.1 Fotosíntesis y respiración del suelo

La fotosíntesis

Las plantas toman dióxido de carbono del aire, agua del suelo, y energía solar en forma de luz, y los convierten en carbohidratos, y en oxígeno que entregan a la atmósfera. Los carbohidratos forman la materia orgánica de la planta. Esta es la reacción de la fotosíntesis, por cada molécula de oxígeno que la planta entrega a la atmósfera debe quedar un átomo de carbono en la materia orgánica de la planta.



Para Moreira y Siqueira (2002), la respiración del suelo es uno de los parámetros más antiguos para cuantificar la actividad microbiana. Esta representa la oxidación de la materia orgánica hasta la formación del CO₂ por organismos aeróbicos del suelo, que por lo tanto utilizan O₂ como aceptor final de electrones, hasta el CO₂.

La respiración del suelo representa una transferencia importante de carbono de los ecosistemas terrestres a la atmósfera, los efectos de los factores ambientales y biológicos en las velocidades de la respiración del suelo no son comprendidos completamente. Esto, es debido principalmente a la variedad de mecanismos de producción de CO₂ dentro del suelo. La separación de los principales procesos de producción de CO₂ es necesario para mejorar nuestra comprensión del ciclo del carbono y su dinámica en el suelo. Raich y German (2005), describieron y probaron un modelo que estima las emisiones del CO₂ del suelo derivadas de procesos anabólicos y catabólicos, representando la descomposición de la materia orgánica y la respiración de la raíz a la rizosfera, respectivamente.

Es de interés para los ecologistas determinar un índice de la actividad de microorganismos de suelos. Además, desde el punto de vista ecológico, la determinación de la respiración del sistema es importante para estudios bioenergéticos (Odum, 1969).

2.3.1.1 Relación entre la materia orgánica y la producción de CO₂

La conservación o mejoramiento del recurso suelo en el largo plazo es condición necesaria para la sostenibilidad de un agroecosistema, y en ese sentido es imperativo mantener la materia orgánica del suelo (MO), la cual es factor determinante de la porosidad y por lo tanto de la capacidad de infiltración, retención de humedad, resistencia a la erosión hídrica y eólica, y es fuente básica de fertilidad química (Izaurrealde *et al.*, 2000). Además es el más importante reservorio de carbono (C), a nivel de la superficie de la tierra, que puede contribuir a disminuir o aumentar el tenor de CO₂ atmosférico, y por lo tanto afectar el cambio climático global (Rosell y Galantini, 1998).

2.3.2 Sistemas de labranza y su relación en las emisiones de CO₂

Los distintos sistemas de labranzas o de rotaciones pueden afectar el contenido de materia orgánica MO, incrementándolo o deprimiéndolo (Solberg *et al.*, 1997; Izaurrealde *et al.*, 2001).

En comparación con la labranza, se ha encontrado bajo siembra directa (SD) mayor cantidad de carbono orgánico del suelo (CO) y mayor concentración en los primeros 10 cm, debido a la no inversión del suelo (McCallister y Chien, 2000) y a un ambiente menos oxidativo para la actividad microbiana (Abril *et al.*, 1995; Watts *et al.*, 2000; Balesdent *et al.*, 2000). Además se ha informado que existe una protección física de la MO que se produce a nivel de macro y microagregados, los cuales son destruidos por la labranza (Balesdent *et al.*, 2000). A una escala regional, las condiciones climáticas de alta temperatura y humedad favorecen una rápida descomposición y menores tenores de MO (Trumbore *et al.*, 1996; Huggins *et al.*, 1998).

Varios autores (Tebrügge, 2001, Reicosky 2001, Houghton, Hackler y Lawrence, 1999, Davidson y Ackerman, 1993), mencionan que el suelo actúa

como sumidero de carbono además cumplen un papel fundamental en el ciclo global del carbono además señalan que la agricultura convencional es la causante de efectos negativos en el efecto invernadero, aparte de los ya conocidos como la erosión del suelo.

2.4 Humedad del suelo e importancia

El conocimiento del contenido de agua en el suelo o humedad edáfica es fundamental para explicar una serie de procesos de diversa índole: balances de agua, contenidos de humedad del suelo, tasas de infiltración, generación de escorrentía, riesgos hidrológicos, crecimiento y desarrollo de cultivos, estabilidad de formaciones forestales, modelización hidrológica, etc (Gómez, 2000; Ward y Robinson, 2000).

La importancia de conocer los efectos sobre la humedad del suelo radica en que existen pocas investigaciones sobre evaporación a equilibrio para las condiciones de las regiones agrícolas de las zonas áridas (Contreras *et al.*, 2001)

Una causa significativa de la baja producción y el fracaso del cultivo en la agricultura de secano es la falta de agua en el suelo. Esto se debe a la combinación de una lluvia escasa y errática con una mala utilización del agua disponible. El manejo de la humedad del suelo es, entonces, un factor clave cuando se trata de mejorar la producción agrícola (Benites y Castellanos, 2003).

El incremento de la cantidad de agua almacenada en el suelo puede dar por resultado:

- Rendimientos más altos (si también existen suficientes nutrientes).
- Reducción del riesgo de pérdidas debido a la sequía.

- Recarga del agua subterránea, asegurando el nivel del agua en los manantiales y la continuidad de los flujos de ríos y cursos de agua.

Para mejorar la eficiencia del agua en la agricultura, es necesario evaluar el consumo de agua diario por las superficies de cultivo (evapotranspiración), y así determinar el momento oportuno de riego y la lámina de agua por aplicar. Para evaluar la evapotranspiración de cultivos se han desarrollado numerosas ecuaciones empíricas y semi-empíricas que requieren información registrada en estaciones meteorológicas. Sin embargo, con los datos existentes en México, estas ecuaciones permiten calcular una evapotranspiración potencial o de referencia generalmente con base mensual, y tiene poca aplicación para las predicciones diarias (Rosenberg *et al.*, 1983).

La evapotranspiración real de cultivos se puede evaluar utilizando algún método micrometeorológico, como la relación Bowen o la Covarianza Eddy (Pal, 1988; Stull, 1991; Verma *et al.*, 1986; Baldocchi *et al.*, 1988).

2.4.1 Efecto de la labranza en la conservación de la humedad del suelo

En las regiones áridas y semiáridas de México, se requieren sistemas alternativos de acondicionamiento del suelo que capten y conserven la poca precipitación pluvial (Pérez, 2003). El principal problema es la escasa disponibilidad de agua, y su pérdida por evaporación debido a los altos niveles de labranza empleados en los sistemas tradicionales de producción agrícola (Domínguez, 2005).

Domínguez, (2005) observó que la labranza tradicional realizada con un implemento de discos y la labranza vertical realizada con implemento tipo cincel tienden a conservar más la humedad del suelo en el perfil de 0 a 15 cm., en comparación con la siembra directa y en un estrato de suelo de 15 a 25 cm., donde la humedad se comportó igual.

Cruse (2001), observo en un estudio para facilitar la adopción de la labranza en franjas para cultivos en hileras en el estado de Iowa, USA, que casi el 40% de la tierra que se cultiva se laboreo con prácticas que dejan menos del 30% de cobertura vegetal en el suelo, en comparación con los sistemas de labranza convencional, lo cual al quedar el suelo descubierto hay una mayor pérdida de agua por evaporación. En el resultado de este trabajo se obtuvo que bajo la labranza en franjas se disturbaba menos el suelo y se conservaba más la humedad del suelo.

2.5 Definición de las zonas áridas y semiáridas

La organización de las naciones unidas (ONU,1994), considera por zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, aquellas zonas en las que la proporción entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial esta comprendida entre 0.05 y 0.65, excluidas las regiones polares y subpolares.

Una zona árida es aquella cuya precipitación es menor de 500 mm anuales, que presentan una distribución de lluvias muy irregular durante el ciclo vegetativo, cuentan con una temperatura media anual que oscila entre los 15 y 25°C y con no menos de 7 meses de sequía y cuya cubierta vegetal es menor al 70%, predominando en ella los elementos xerófitos (Villa, 1981)

Las zonas semiáridas, se definen como aquellas áreas cuya precipitación pluvial varía de 500 – 1000mm anuales y cuya vegetación dominante esta constituida principalmente por diferentes tipos de matorrales y pastizales naturales (Villa, 1981).

2.5.1 Distribución en México

La extensión territorial de México, es de 1, 964,375 kilómetros cuadrados de los cuales 1, 959,248 kilómetros cuadrados son superficie continental y 5,127 kilómetros cuadrados corresponden a superficie insular (INEGI 2003).

En México, existen 1,097,178.88 kilómetros cuadrados cubiertos por zonas áridas y 599,529.89 kilómetros cuadrados de zonas semiáridas, que sumadas equivalen a aproximadamente el 86.6 % de la superficie total del país y están divididas en ocho áreas: Sonorense, Chihuahuense, Queretana, Poblana, Guerrerense, Oaxaqueña y Yucateca (CNA, 2003), determinando que el 56 por ciento de las áreas secas de México son áridas; cerca del 30.6 por ciento semiáridas y el 13.4 por ciento son áreas semihúmedas y húmedas.

Estas zonas áridas y semiáridas las caracterizan un sistema de suelo-vegetación que define la distribución de los componentes del balance energético sobre la superficie, esto a su vez tiene un efecto directo con las características del clima de estas regiones. Por lo tanto, es muy importante conocer la distribución del balance energético sobre estas superficies y el posible impacto en los cambios de la distribución energética ocasionada por la deforestación y cambios en el manejo de dichas áreas lo cual tiene un efecto directo en el microclima de estas regiones.

2.6 Componentes del balance de energía

Toda la energía recibida en la superficie de la tierra se origina del sol, excepto otra cantidad de calor que proviene del centro de la tierra. Cierta parte de la radiación es reflejada nuevamente al espacio. La tierra re-irradia parte de la energía recibida del sol. La cantidad de energía solar que llega a la superficie de la tierra conocida como radiación neta (R_n) es la energía disponible para llevar a cabo ciertos procesos muy importantes como la evapotranspiración (Bastiaanssen *et al.*, 1998; Elizondo y Contreras, 1996; Pereira *et al.*, 1996).

Como se menciono anteriormente, la ecuación que describe el balance de energía sobre una superficie vegetal es:

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

Donde: R_n es la Radiación neta (W/m^2); H es el flujo de calor sensible (W/m^2); LE es el flujo de calor latente (W/m^2); G es el flujo de calor en la superficie del suelo (W/m^2); S es el almacenamiento de energía por cambio de temperatura en el aire y el follaje del cultivo (W/m^2); PH es la energía captada en el proceso de fotosíntesis (W/m^2); cada uno de estos componente es afectado por diversos factores.

Como su nombre lo indica, la radiación neta es el balance resultante entre la radiación solar incidente y la radiación terrestre emitida, de acuerdo con la siguiente relación.

$$R_n = (1 - \alpha_s) R_{sw} + R_{lw} - \epsilon_s \sigma T_s^4 \quad (2)$$

Donde: α es el albedo o índice de reflectividad de la superficie a la radiación solar incidente, R_{sw} es la radiación solar incidente, R_{lw} es la radiación (de onda larga) emitida por la atmósfera e incidente sobre la superficie, ϵ_s es la emisividad de la superficie, σ es la constante de Stefan-Boltzman ($5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$) y T_s es la temperatura de la superficie (K). El flujo de calor sensible (H) es función de la diferencia de temperatura entre la superficie y la atmósfera circundante. El flujo de calor latente (LE) se refiere a la tasa de evapotranspiración y es función de la disponibilidad de agua en el suelo y del déficit de presión de vapor de agua de la atmósfera.

Todos los modelos de la energía superficial y del intercambio de masa se basan en los principios fundamentales de la conservación. Los componentes principales de la conservación de la ecuación de la energía, a que referimos a

menudo como “encierro del balance energético” (Twinw et al., 2000), se pueden representar como:

$$Rn = H + LE + G + S + PH \quad (3)$$

$$Rn - (H + LE + G + S + PH) = 0 \quad (4)$$

S y PH son términos misceláneos porque son muy pequeños.

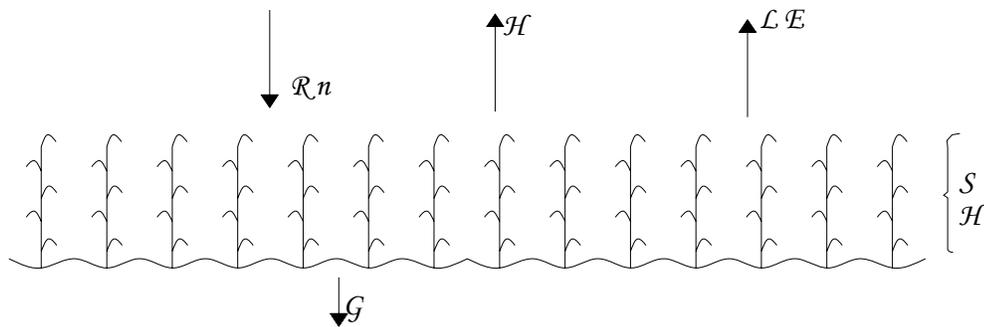


Figura 2.3. Representación esquemática de los componentes de la ecuación del balance de energía, radiación neta (Rn), flujo de calor sensible (H), flujo de calor latente (LE), flujo de calor en la superficie del suelo (G), almacenamiento o liberación de energía por cambios de temperatura (S) y energía usada en la fotosíntesis (PH) sobre una superficie vegetal.

Flujos de energía en la superficie.

$Rn - G =$ Energía disponible en la superficie.

$H + LE =$ Flujos de energía en la superficie.

La energía captada en el proceso de fotosíntesis (PH) depende de las características de la vegetación presente, grado de cobertura y tipo de plantas (C3, C4, CAM). El almacenamiento de energía depende de los cambios de temperatura del aire y la vegetación presente y es función de la capacidad calorífica del aire y de la vegetación presente.

2.7 Métodos para medir variables de flujo (CO₂ y evapotranspiración)

2.7.1 Métodos para estimar la evapotranspiración:

2.7.1.1. Métodos directos

a. Método gravimétrico

Este método se basa en la obtención del contenido de humedad a muestras de suelo tomadas a una profundidad semejante a la que tienen las raíces. Dichas muestras se obtienen a través del ciclo vegetativo; la cantidad de agua consumida por la planta en un determinado tiempo, se determina calculando las laminas de riego consumidas, a partir de los datos obtenidos de humedad del suelo.

Ventajas: es de fácil aplicación, requiere aparatos sencillos, se ajusta bastante a la realidad.

Desventajas: es un método laborioso requiere una gran cantidad de muestras, no es muy aplicable para zonas lluviosas debido a que hay muchos errores en el cálculo del suministro de agua.

b. Método Lisimétrico

Consiste en estimar la evapotranspiración potencial por procedimientos de medición de pérdida de agua, en recipientes que se llenan de suelo y se

siembran con un cultivo en cuestión. Trava (1972), define el lisímetro como una estructura que contiene una masa de suelo y esta diseñado de tal forma que permita la medida del agua que drena a través del perfil del suelo.

Ventajas del método: Las mediciones son directas por lo que con aparatos mas adecuados permiten un alto nivel de exactitud, permite hacer mediciones de evapotranspiración en intervalos cortos, permite comparar el grado de exactitud de otros métodos y estudiar la influencia de los fenómenos meteorológicos en el proceso.

Desventajas: dificultad de simular las condiciones naturales (suelo, cobertura, desarrollo radicular, etc.) dentro del tanque, el alto costo, dedicación de personal de un alto nivel técnico que requieren los mejores lisímetros.

7.2.1.2 Métodos indirectos

a. Método de la relación Bowen.

Es uno de los métodos más sencillos y prácticos para la estimación del flujo de vapor de la superficie a la atmósfera. Ha sido ampliamente utilizado para condiciones de rangos amplios de flujos de calor y vapor de agua y ha mostrado ser uno de los métodos más confiables en la estimación del flujo de calor latente (LE) (Ashktorab *et al.*, 1994; Jones, 1992; Zermeño, 2001). Ibáñez *et al.* (1999), indica que este método permite estimar el flujo de vapor de agua con un error del 10 por ciento en todos los cultivo a partir de superficies evaporantes basado con la ecuación de balance de energía en la superficie. Asumiendo que la energía consumida en fotosíntesis (PH) y la del flujo de calor en el suelo (G) es despreciable, el balance de energía queda como:

$$R_n = - (LE + H + G) \quad (5)$$

Donde R_n es la radiación neta (Wm^{-2}), H es el flujo de calor Sensible (Wm^{-2}), G es el flujo del calor en el suelo (Wm^{-2}) y LE es el flujo de calor latente (Wm^{-2}).

La densidad del flujo de energía asociado con el flujo latente de la superficie del suelo (LE) está dada por:

$$LE = -\frac{(Rn + G)}{1 + \beta} \quad (6)$$

Donde, β = Relación de Bowen, la relación entre el flujo de calor sensible (H) y el flujo de calor latente (LE). La relación de Bowen es derivada de:

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (7)$$

El valor de relación de Bowen se obtiene a partir de las relaciones de gradiente de flujo (Zermeño, 2001). Por lo tanto, todo lo que se necesita para estimar LE es: la radiación neta sobre la cubierta vegetal, el flujo de calor en la superficie del suelo, temperatura del aire y humedad específica a dos elevaciones sobre el dosel del cultivo (Jones, 1992; Itier y Brunet, 1996). Las mediciones de humedad relativa se realizan generalmente a una separación vertical de un metro.

Las ventajas de este método son: es muy resistente a las condiciones atmosféricas adversas; no requiere asistencia continua ya que puede operarse por periodos prolongados de tiempo (Zermeño, 2001); no requiere la información de las condiciones superficiales ni requiere el conocimiento de la conductancia fisiológica actual o de la capa frontera (Jones, 1992), es muy sencillo de operar (Itier y Brunet, 1996; Ashktorab *et al.*, 1994).

Las desventajas son: es muy sensible a los errores en las mediciones de radiación neta y flujo de calor en el suelo; los gradientes de temperatura y humedad específica deben ser suficientemente grandes para poder alcanzar precisiones aceptable, lo que prácticamente excluye usar este método en superficies rugosas y en ecosistemas muy secos donde los gradientes

verticales de humedad específica son muy pequeños y difíciles de medir. Otro problema de este método es cuando el valor de la relación de Bowen tiende a un valor de uno ($\beta \rightarrow 1$), por lo cual la ecuación (7) es indeterminada. Esta situación nada más ocurre por periodos cortos en las mañanas y en las tardes cuando LE es muy insignificante (Ashktorab *et al.*, 1994; Williams y Stout, 1981).

El proceso de este método consiste en medir el gradiente de humedad específica con un higrómetro de punto de rocío de respuesta rápida, y el gradiente de temperatura se mide con termopares de alambre fino de Chromel constantan. Se deben realizar estas mediciones a una frecuencia de 2 segundos y promedios de 20 y 30 minutos. La radiación neta se mide con un radiómetro neto. Y el flujo de calor en la superficie del suelo se obtiene midiendo el flujo de calor a una profundidad de 8 cm con un plato para flujo de calor y realizando la corrección por cambios de temperatura del suelo sobre el plato (Zermeño, 2001; Anhktorab *et al.*, 1994)

b. Método de la covarianza Eddy

El método de la correlación Eddy propuesto por Swinbank (1951), es el método mas directo para medir los flujos superficiales (Prueger *et al.*, 1998; Jones 1992; Kizer y Elliott, 1991; Itier y Brunet, 1996; Zermeño, 2001). Este método consiste en expresar el flujo vertical de una cantidad transportada en un determinado punto con una covarianza entre las fluctuaciones de la concentración de esta entidad con las fluctuaciones de la velocidad vertical del viento (Zermeño, 2001; Itier y Brunet, 1996; Ham y Heilman, 2003).

El principio del método de la correlación Eddy es detectar las contribuciones de todos los movimientos turbulentos responsables para el transporte vertical de los flujos (Itier y Brunet, 1996; Ham y Heilman, 2003). Esto requiere mediciones de flujos a una tasa suficientemente alta (típicamente 10 – 20 Hz) y promediando las covarianzas a un periodo suficiente (típicamente 10 –

30 minutos) (Itier y Brunet, 1996). En principio, el método de correlación Eddy puede ser utilizado para cualquier proceso de transporte (Jones, 1992), pero suele ser utilizado en las mediciones de calor latente (LE), calor sensible (H) y el dióxido de carbono (CO₂). Considerando nada más los flujos de LE , H y FCO₂ se puede expresar para una superficie horizontal homogénea de la siguiente manera (Zermeño, 2001; Prueger et al., 1998):

$$H = \rho C_p \overline{w'T'} \quad (8)$$

$$LE = \lambda \rho \overline{w'q'} \quad (9)$$

$$FCO_2 = \overline{w'\rho c o_2'} \quad (10)$$

Donde W' es la velocidad vertical instantánea del viento (m/s), T' es la temperatura instantánea del aire (°C), ρ_a es la densidad del aire (Kg/m³), C_p es la capacidad calorífica del aire (JKg⁻¹°C⁻¹). Las barras horizontales superiores indican un promedio en un intervalo de tiempo y las primas denominan desviaciones de la media.

La técnica de correlación Eddy requiere un fetch adecuado para una superficie homogénea para que la capa frontera interna de la vegetación este en equilibrio con la superficie de abajo, de esta manera se asegura una buena interpretación de los flujos. Una guía típicamente usada es la relación 100:1 para la distancia del fetch a la altura de los equipos o sensores (Prueger et al., 1998). La confiabilidad de mediciones por el método de la correlación de Eddy puede ser evaluada por la medición de todos los componentes significantes del balance de energía. Un término llamado la relación de clausura (CR) es usado para indicar la precisión de las mediciones de los flujos en la superficie. CR esta dado por:

$$CR = \left[\frac{LE + H}{Rn - G} \right] \quad (11)$$

Idealmente, CR debe tener el valor igual a uno (Kizer y Elliott, 1991).

Las ventajas de este método son: mide directamente los flujos, sin la necesidad de asumir coeficientes de difusividad, ni relaciones de similitud, ni condiciones de cobertura de la superficie; permite analizar la precisión del balance de energía; es considerado el método mas preciso para medir los flujos superficiales (Zermeño, 2001; Prueger *et al.*, 1998). Las ventajas son: el equipo utilizado es muy costoso, delicado y sensible (Zermeño, 2001; Kizer y Elliott, 1991).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica general del sitio de estudio

El trabajo experimental se realizó durante el ciclo de otoño de 2006 en el rancho Experimental “Los Ángeles” propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), localizado en el municipio de Saltillo, Coahuila, aproximadamente a 34 km. al sur de la capital del estado. Las coordenadas geográficas del sitio donde se realizó la investigación son: 25° 10' N, 101° 20' W, a una altitud de 2100 m

3.2 Características generales del sitio de estudio

3.2.1 Clima

El clima del lugar de acuerdo con García, (1973) es seco árido, semicálido, con invierno fresco, con temperatura media anual que fluctúa entre 18 y 22 °C, con lluvias en promedio anual de 450 a 550 mm distribuidas primordialmente en verano e invierno [BWhw(x')(e)]

3.2.2 Vegetación

Vásquez (1973) clasifica la vegetación del rancho Los Ángeles en función de la forma de vida, cobertura, tamaño, forma y textura de las hojas, encontrando siete tipos de vegetación como sigue:

Pastizal Mediano Abierto, localizado en los valles con suelos profundos de origen aluvial.

Pastizal amacollado, ubicado en las faldas de las sierras con suelos pocos profundos y pedregosos.

Matorral Rosetófilo, encontrándose en laderas con Exposición Sur y cimas de cerros.

Izotal, localizado en laderas con pendientes moderadas, suelos arenosos y pedregosos.

Matorral Esclerófilo, se encuentra en sierras altas con pendiente considerable y exposición norte.

Bosque Aciculifolio, se ubica en laderas y cimas de cerranías altas.

Matorral Dasytirion con pastos amacollados, localizados en la parte sur del rancho cubriendo la mayoría de los lomeríos y cerros de escasa altura.

3.2.3 Suelo

Se realizó un estudio de digitalización para en el rancho los Ángeles para identificar los suelos dominantes del área, y se encontró que de los grupos definidos por la FAO *et al* (1994), los Fluvisoles se localizan en las planicies y corresponden al 40% de la superficie total y se caracterizan por ser profundos, con un horizonte superficial de color oscuro y rico en materia orgánica y los Leptosoles en el 60% de la superficie restante, los cuales, se encuentran en las serranía compuesta por laderas y mesetas, con presencia de afloramiento rocoso y una capa delgada de suelo, siendo éstos los más susceptibles a la erosión; además, de la parte alta de la sierra, son suelos forestales de formación insitu ricos en materia orgánica y humus.

En uno de los potreros de 39 h, con características edafológicas homogéneas, se definieron 2 parcelas de 2.4 h (figura 3.1), donde se determinaron las características físicas y químicas del suelo de los estratos 0-30 y 30-60 cm, los resultados se muestran en el Cuadro 3.1, con los datos de este cuadro, el suelo se clasificó como Feozem lúvico (HI) (INEGI, 2001).

Cuadro 3.1 Propiedades físicas y químicas del suelo del sitio experimental.

Variable	Estrato		Método de evaluación
	0-30	30-60	
PH	8.28	8.31	Potenciómetro
CE (ds/m)	2.1	0.509	Puente de Wheatstone
Arcilla (%)	44	58	Hidrómetro de Bouyoucos
Limo (%)	24	28	“ “
Arena (%)	32	14	“ “
Clase textural	Arcilla	Arcilla	Triangulo de texturas
N (%)	0.21	0.14	
MO (%)	4.24	2.8	Walkley y Black
Color (en seco)	10YR 5/2	10YR 3/2	Uso de tabla de colores Munsell
Da (Kg m ⁻³)	930		Barrena de Núcleos
Carbonatos totales (%)	37.28	37.77	Volumetría de neutralización
Reacción al HCl (10% en H ₂ O)	Media	Media	Prueba cualitativa rápida (INIFAP-ORSTOM, 1997)

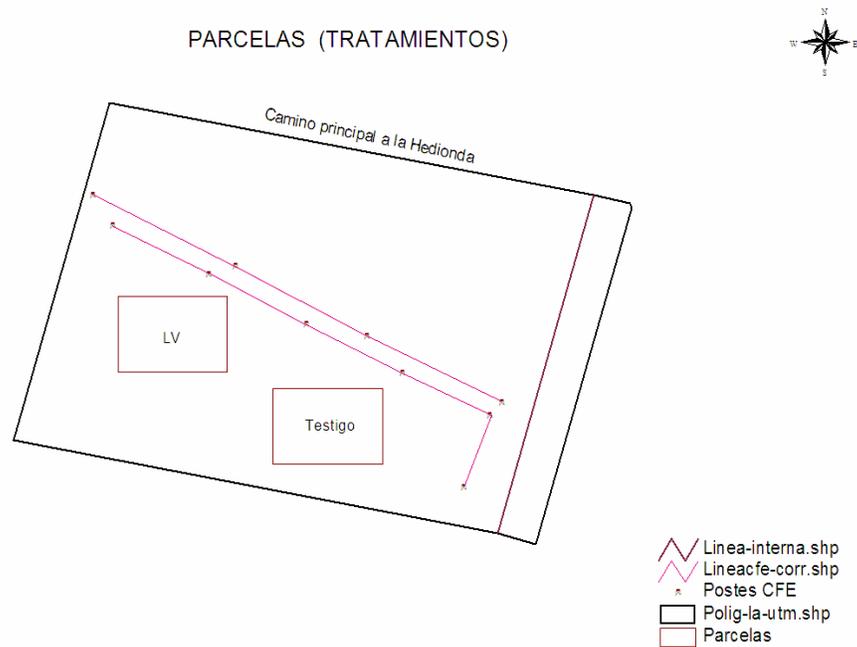


Figura 3.1. Representación esquemática del sitio de estudio y ubicación de las parcelas experimentales

3.3 Descripción de los tratamientos evaluados

Para evaluar el efecto de la labranza vertical en tasa de asimilación y liberación de bióxido de carbono y en la tasa de evapotranspiración de la superficie, se establecieron dos parcelas experimentales de 200 m en la dirección este-oeste y 120 m en la dirección norte-sur (Figura 3.1). Las dos parcelas tenían las mismas características edáficas y de vegetación. La parcela ubicada al sur del potrero se definió como la parcela testigo, donde no se realizó ningún movimiento de suelo. A la parcela ubicada al oeste del potrero, se le aplicó la labranza vertical, que consistió en labrar el suelo con arado de cinceles con aletas en delta a una profundidad promedio de 25 cm, utilizando un tractor NEWHOLLAND modelo 6810 de 95 HP y un arado de vertederas de 2 Cinceles (Figura 3.2). La labranza se realizó el 10 de Noviembre de 2006. (Día del año 314).



Figura 3.2 Arado de tipo Cincel con aletas en delta y de un ancho de trabajo de aproximadamente 1.5 mts.



Figura 3.3 Aplicación de la labranza Vertical (Cinzel) en la parcela de estudio, Rancho los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

3.4 Instrumentación y mediciones realizadas

En cada una de las parcelas que se definieron anteriormente, se instaló en un sistema eddy con todos sus componentes para determinar los flujos de calor sensible (H), calor latente (λE), calor en la superficie del suelo (G), radiación neta (R_n) y flujo de bióxido de carbono entre la superficie y la atmósfera circundante (FCO_2). Los componentes del sistema eddy fueron: un anemómetro sónico tridimensional (modelo CSAT3, Campbell, Sci., Inc.), un analizador de bióxido de carbono y vapor de agua en el aire de sendero abierto (modelo LI-7500, LI-COR), un censor para medir temperatura del aire y vapor de agua (modelo HMP45C, Vaisala, Inc.), un radiómetro neto (modelo NR-LITE, Keep and Zonen Inc.), dos platos para medir el flujo de calor en el suelo

(modelo HFT3, REBS Inc.), dos termopares para medir temperatura del suelo de cuatro puntas (modelo TCAV, Campbell, Sci., Inc), un sensor para medir velocidad y dirección del viento (modelo 03001-5, R.M Young Inc.) un pluviografo electrónico para medir los eventos de lluvia (modelo TE525, Texas Instruments, Inc.), dos registrador electrónico de datos (modelo 23X y CR7, Campbell, Sci., Inc). Dos paneles solares de 64 W y uno de 20 W suministraron la energía requerida para el funcionamiento del sistema.

Para medir H, LE, G, Rn y FCO₂, en cada una de las parcelas (testigo y labranza vertical), se instalo el sistema eddy con todos sus componentes (Figuras 3.4 y 3.5) en el extremo sur de las parcelas al punto medio de la dirección este-oeste. El anemómetro sónico tridimensional se oriento hacia el sur, de tal forma que únicamente los datos con una dirección del viento menor de 100° y mayor de 260° fueron considerados en el análisis

En ambas parcelas, el anemómetro sónico tridimensional (3-D sonic), el analizador de bióxido de carbono y vapor de agua (open path CO₂/H₂O) y el censor para medir temperatura del aire y humedad relativa (Vaisela) se colocaron a una altura de 1.4 m sobre la superficie del suelo. La Rn y la velocidad y dirección del viento se midieron a 2.0 m sobre la superficie

El sistema eddy se instalo en la parcela testigo el 20 de octubre de 2006 (día 293) y se mantuvo tomado datos hasta el 10 de noviembre de 2006 (día 314), que correspondió a un periodo de 21 días. Mientras que en la parcela de labranza vertical el sistema se instaló el 10 de noviembre de 2006 (día 314) y estuvo tomado datos hasta el 28 de noviembre de 2006 (día 332), abarcando un periodo de 18 días.

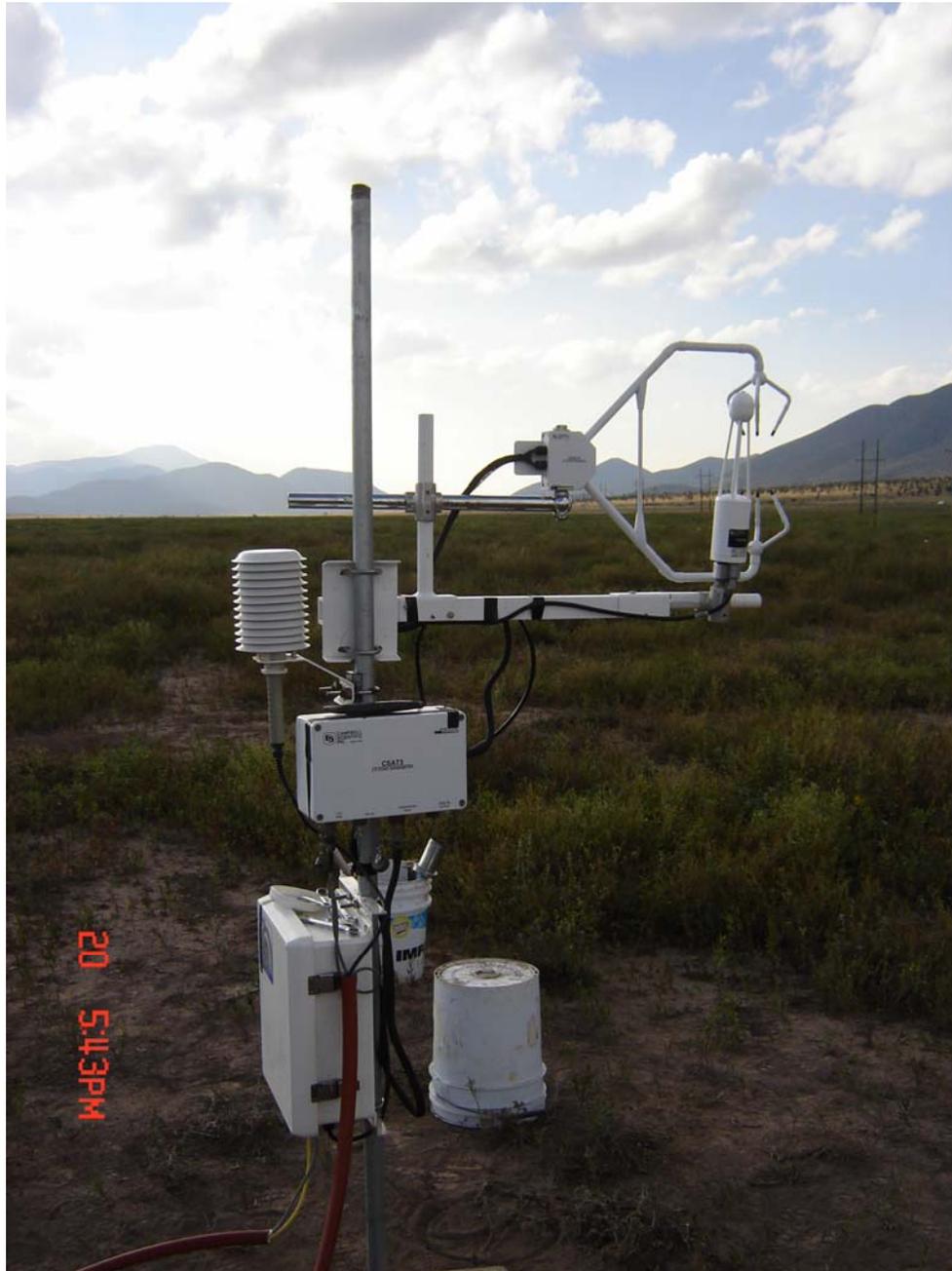


Figura 3.4 Sistema eddy en la parcela de labranza testigo (sin movimiento de suelo) para medir los flujos de calor latente (λE) y flujo de CO_2 entre la superficie y la atmósfera circundante.

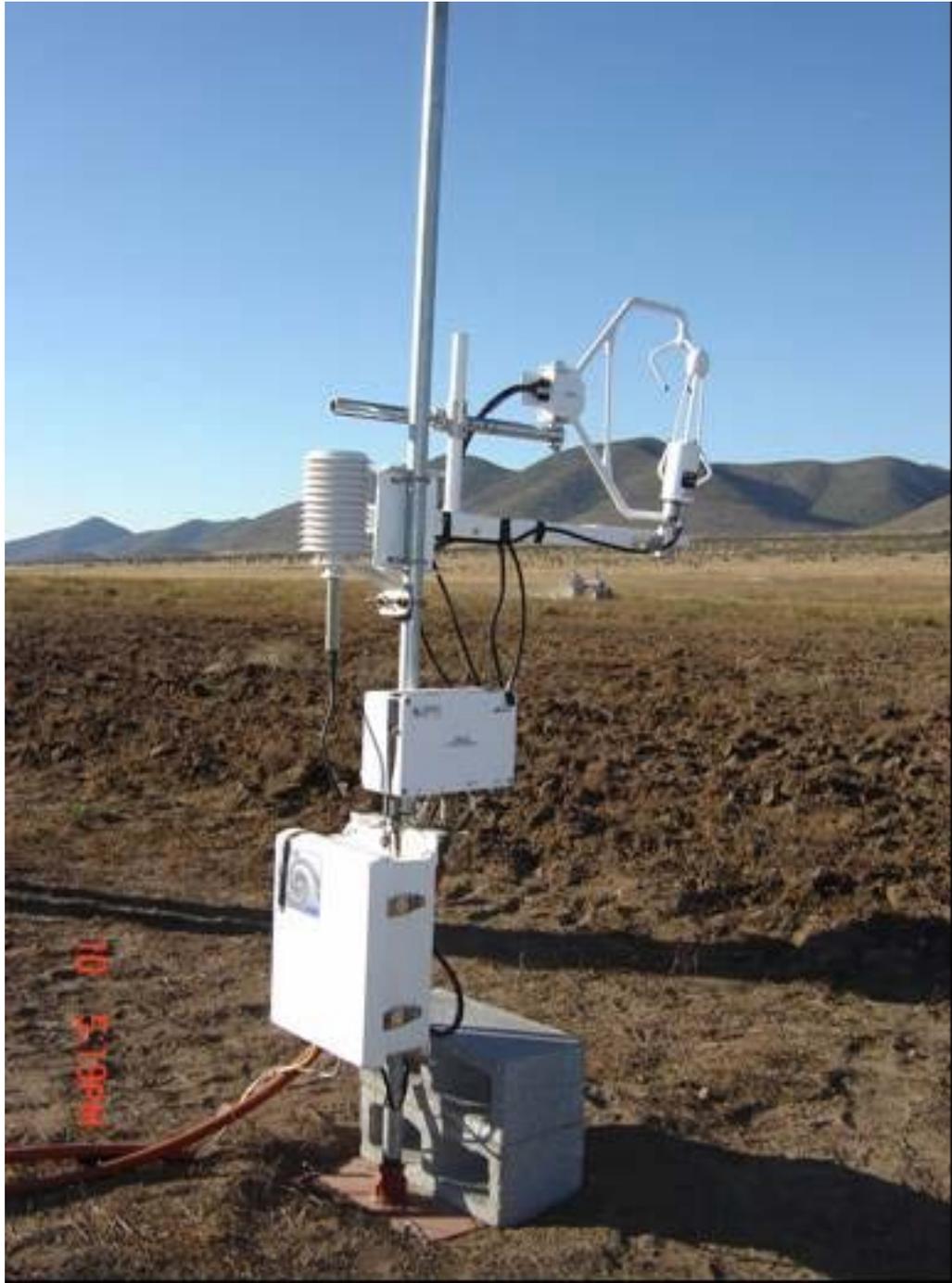


Figura 3.5 Sistema eddy en la parcela de labranza vertical para medir los flujos de calor latente (λE) y flujo de CO_2 entre la superficie y la atmósfera circundante.

Las ecuaciones que describen el flujo de calor sensible (H), latente (λE) y flujo de bióxido de carbono (FCO_2) de acuerdo con el método de la covarianza eddy son:

$$H = \rho_a C_p \overline{w'T_s'} - 0.51Ta \frac{\rho_a C_p}{\lambda} \lambda E \quad (1)$$

$$\lambda E = \lambda \overline{w'\rho_{wv}'} \quad (2)$$

$$FCO_2 = \overline{\rho_{CO_2}' w'} \quad (3)$$

Donde: ρ_a es la densidad del aire ($kg\ m^{-3}$), C_p es la capacidad calorífica del aire ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$), T_s es la temperatura sónica (K), T_a es la temperatura del aire (K), w es la velocidad vertical del viento (m/s), λ es el calor de vaporización del agua ($J\ kg^{-1}$), ρ_{CO_2} es la densidad del bióxido de carbono ($\mu mol\ CO_2\ m^{-3}$), ρ_{wv} es la densidad del vapor de agua ($kg\ m^{-3}$). El producto $w'T_s'$, $w'\rho_{wv}'$ y ρ_{CO_2} representan la covarianza entre las variables y la barra superior denota un promedio en un determinado intervalo de tiempo, que en este trabajo se estableció como 20 min. La frecuencia de las mediciones de w , T_s , ρ_{wv} y ρ_{CO_2} fue de 10 Hz, w y T_s se obtuvieron con el 3-D sonic, ρ_{wv} y ρ_{CO_2} con el open path CO_2/H_2O .

La radiación neta, temperatura del aire, flujo de calor en el suelo, velocidad y dirección del viento se registraron a una frecuencia de 1 segundo y se generaron promedios de 20 min.

A los flujos de calor latente y bióxido de carbono se les aplicó la corrección por densidad, posteriormente a los flujos se les aplicó el factor de la relación Bowen que se obtuvo para forzar el balance.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Flujo de bióxido de carbono y vapor de agua en la superficie sin disturbar.

En la superficie sin disturbar se tenía una cobertura de aproximadamente 50% de vegetación silvestre invasora, compuesta principalmente de Pastizal mediano abierto y Matorral de *Dasyliion* con pastos amacollados. Esta vegetación estuvo asimilando bióxido de carbono (CO_2) durante el día y liberando durante la noche. En la Figura 4.1 se muestra que el día 294 del año 2006, la superficie estuvo asimilando dióxido de carbono (CO_2) de las 10:20 a las 18:00 con una tasa promedio de aproximadamente $-1.79 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y un flujo total integrado de $-50.01 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$. También se observa que la tasa máxima de asimilación ocurre aproximadamente a las 13:00 hrs, con un valor promedio de alrededor de $-2.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A partir de las 18:20 hrs, la superficie libera bióxido de carbono a la atmósfera con una tasa promedio de aproximadamente $1.60 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y un flujo total integrado de $22.11 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$. La máxima liberación se observa alrededor de las 19:00 hrs, esto significa que la tasa liberación es mayor que la de fotosíntesis posiblemente se deba a la vegetación existente en el lugar en donde la vegetación predominante es la nativa e invasiva plantas C3 y C4.

El día 294 presento condiciones de cielo despejado la mayor parte del tiempo (Figura 4.2), observándose desde las 10:20 a las 18:00 hrs, para R_n un flujo total integrado de 11.48 MJ/m^2 y para LE el valor es de 4.02 MJ/m^2 , lo que indica que el 35 % de la radiación neta se disipa en LE. En este día la lamina evapotranspirada fue de 1.66 mm de H_2O .

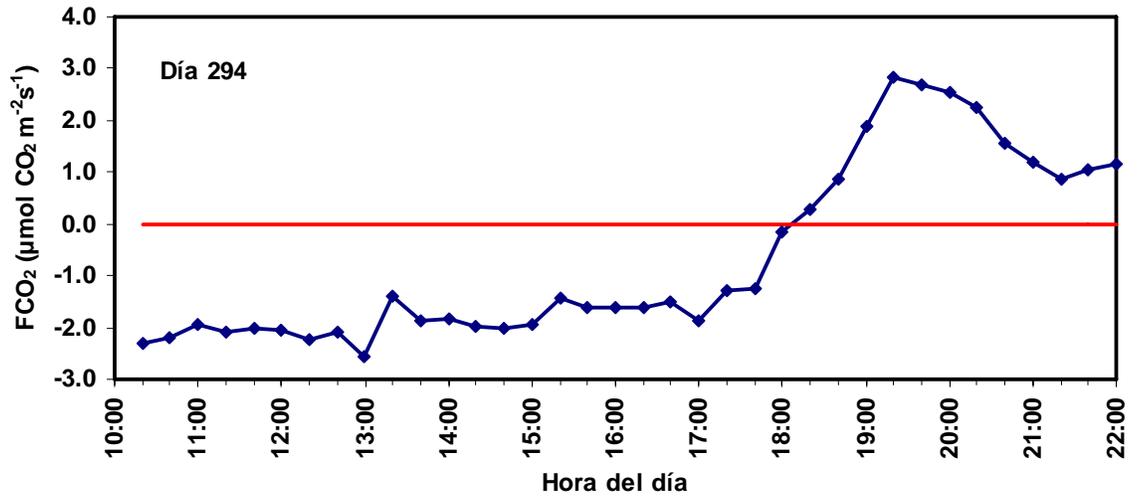


Figura 4.1. Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observado el día 294 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

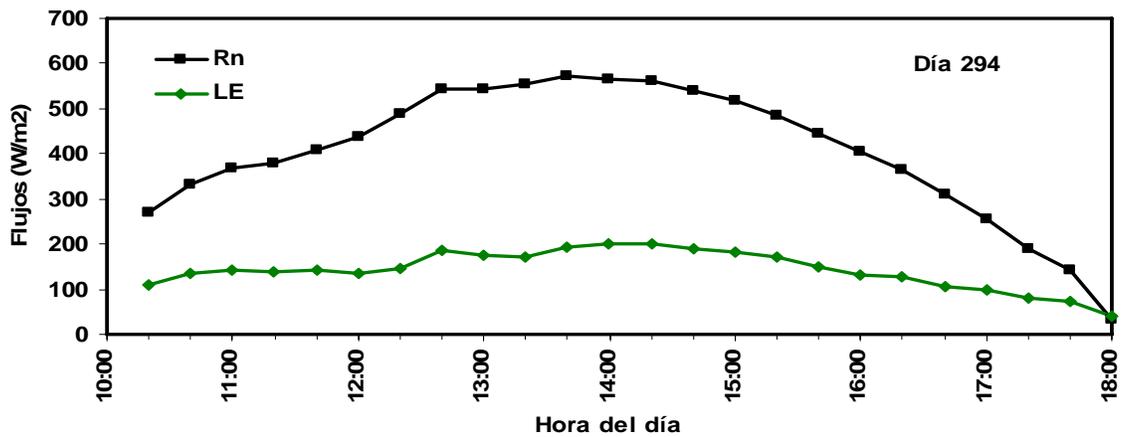


Figura 4.2 Flujo de radiación neta Rn) y calor latente (LE) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observados el día 294 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

Para el día 295 y 296 del año, se observa una tendencia muy similar al del día 294, la superficie estuvo asimilando bióxido de carbono de las 9:00 a las 14:40 hrs, con un valor promedio de aproximadamente $-1.56 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. El flujo de CO_2 total integrado para este segmento de tiempo fue de $-31.62 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$. Después de las 22 hrs, la superficie empezó a liberar bióxido de carbono a la atmósfera. Para el periodo de tiempo de las 22:00 a las 3:40 la tasa promedio de liberación fue de aproximadamente $1.27 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y el flujo total integrado de $26.62 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$, la máxima tasa de asimilación de bióxido de carbono se presentó de las 10:00 a las 14 hrs con un valor promedio de $-1.79 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 4.3)

El día 295 se presentaron condiciones de nubosidad intermitente (Figura 4.4) y la Radiación neta mostró grandes variaciones a través del día. Se observó para R_n un flujo total integrado de 4.22 MJ/m^2 y para LE un flujo total integrado de 1.60 MJ/m^2 ; en este caso indicando que el 37% de la radiación neta se disipa en LE . Para este día la lamina evapotranspirada fue de 0.66 mm de H_2O .

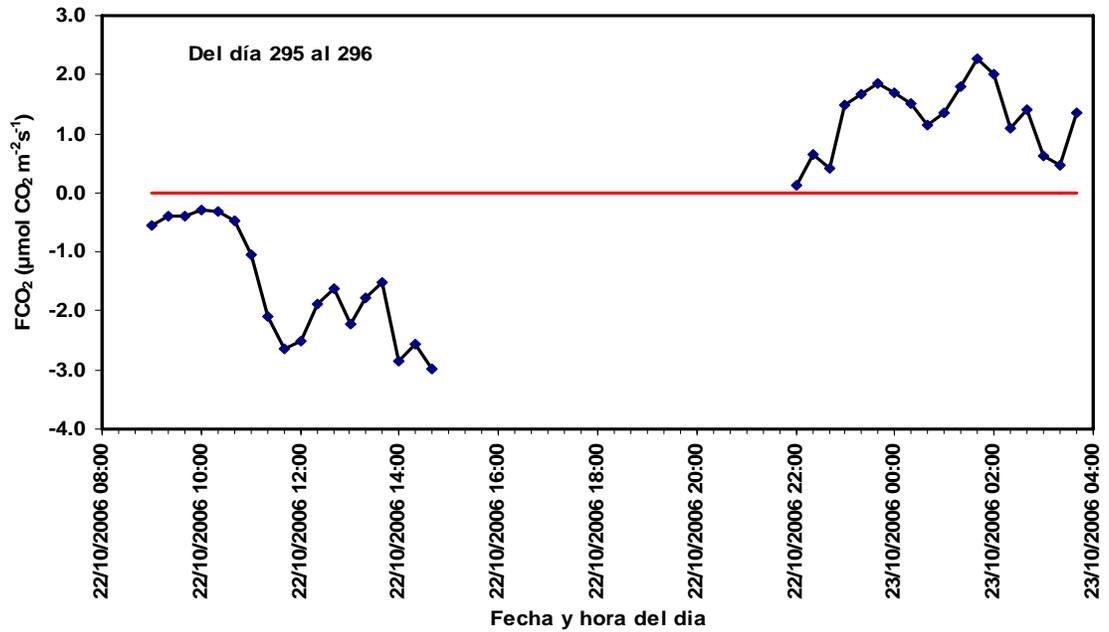


Figura 4.3. Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observado del día 295 al 296 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

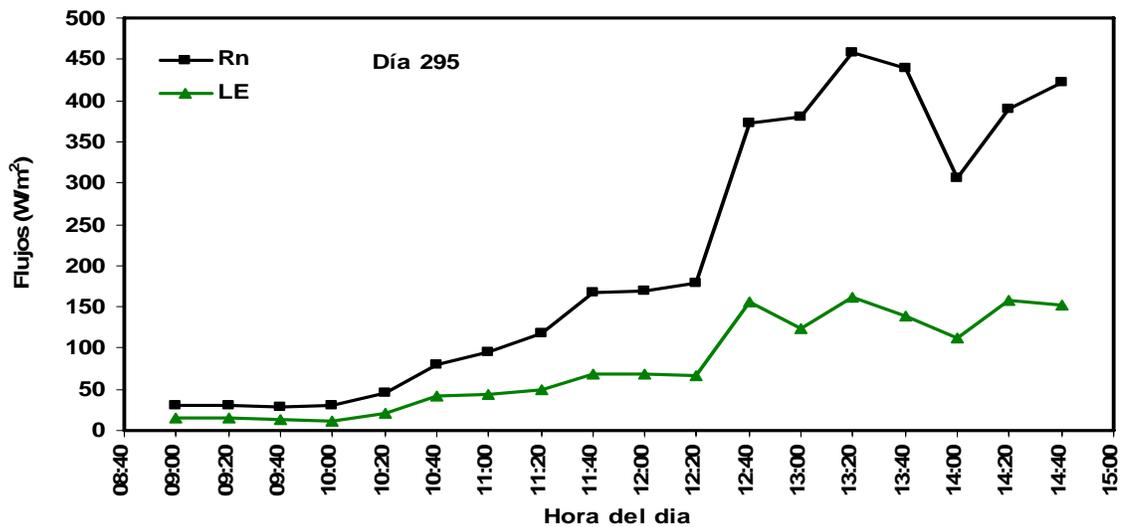


Figura 4.4. Flujo de radiación neta Rn) y calor latente (LE) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observados el día 295 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

En los días 297 y 298 del año, se obtuvieron buenas condiciones de dirección de viento de las 21:00 hrs del día 297 hasta las 14:40 hrs, del día 298 (Figura 4.5), de tal forma que se pudo evaluar la dinámica del flujo de CO₂ entre la superficie y la atmósfera durante el día y la noche. De las 21:00 a las 8:40 hrs, la superficie estuvo liberando bióxido de carbono con un valor promedio de aproximadamente 1.71 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ y un flujo total integrado de 72.22 mmol CO₂ m⁻². De las 9:00 a las 14:40 hrs la superficie asimiló bióxido de carbono, debido a la actividad fotosintética de las plantas nativas e invasoras del lugar las cuales están clasificadas como plantas C₃ y C₄. La asimilación ocurrió con una tasa promedio de aproximadamente -2.51 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹. La asimilación integrada para este segmento fue de -52.60 mmol CO₂ m⁻². La máxima tasa de asimilación ocurrió de las 10:00 a las 12:00 hrs con un valor promedio de -3.06 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹.

El día 298 presentó condiciones de cielo nublado (Figura 4.6) en la mayor parte del día, desde las 9:00 a las 14:40 hrs se observó para R_n un flujo total integrado de 4.47 MJ/m² y para LE el valor fue de 1.47 MJ/m². En este día el 32% de la radiación neta se disipa en LE y la lamina evapotranspirada fue de 0.61 mm H₂O.

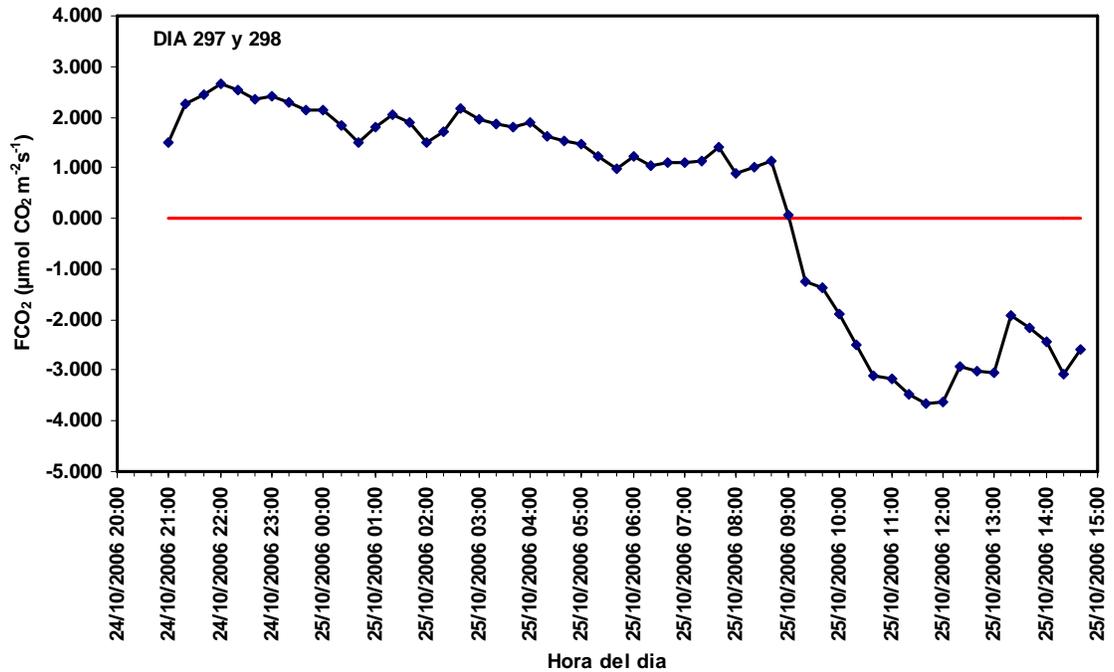


Figura 4.5. Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observado del día 297 al 298 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

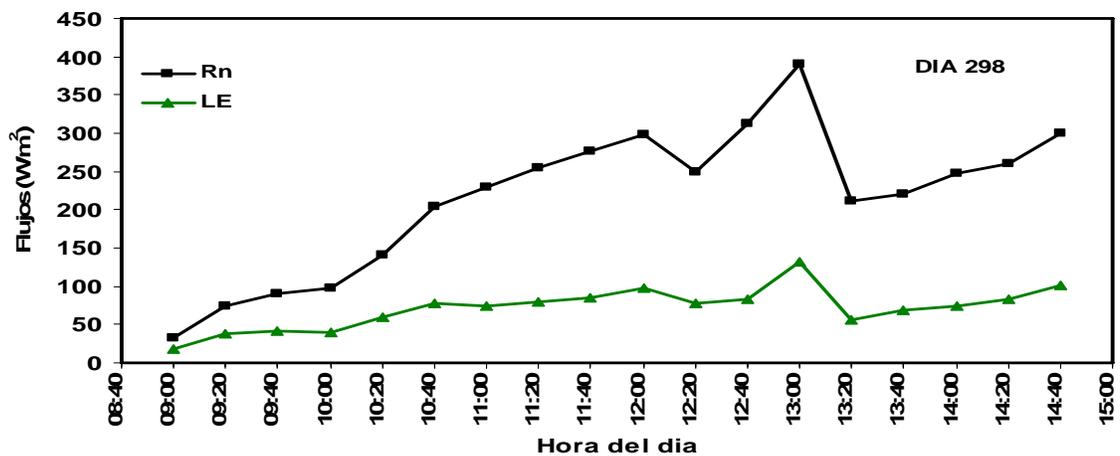


Figura 4.6. Flujo de radiación neta Rn) y calor latente (LE) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observados el día 298 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

4.2 Flujo de bióxido de carbono y vapor de agua en la superficie con labranza vertical.

La labranza vertical (Cinceles o cuchillas a 25 cm de profundidad) se aplicó el 10 de noviembre de 2006, día del año 314. Aunque con la labranza vertical no se remueve toda la vegetación de la superficie, el sistema radical de las plantas nativas presentes se dañó considerablemente y la superficie paso de ser fuente de asimilación de bióxido de carbono (CO_2) durante el día a ser fuente de liberación. En la figura 4.7 se muestra que el día 315 del año, la superficie estuvo liberando bióxido de carbono de las 8:40 a las 16:20 hrs, con una tasa promedio de $1.14 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y un flujo total integrado de $30.77 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$. La máxima tasa de liberación ($2.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) se observó a aproximadamente la 11:00 hr.

Durante la noche, la superficie continuó liberando bióxido de carbono, pero a una tasa menor. Esto se debió, a una reducción de la respiración de los microorganismos del suelo por una menor temperatura de la superficie. De las 19:00 a las 1:00 hr la superficie estuvo liberando CO_2 a una tasa promedio de $0.415 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y un flujo total integrado de $8.80 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ (Figura 4.7).

Similarmente, el día 316 (2 días después de la labranza vertical), la superficie estuvo liberando CO_2 de las 9:00 a las 18:00 hrs, con un valor promedio de aproximadamente $0.975 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y un flujo total integrado de $32.49 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ (Figura 4.8). La máxima tasa de asimilación ($2.0 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) fue a aproximadamente las 14:20 hr. Estos resultados indican que la labranza vertical estimuló la liberación de CO_2 durante el día, posiblemente porque promovió condiciones favorables para que los microorganismos del suelo incrementaran su tasa de respiración. Nuevamente se observa que durante la noche, la superficie se mantiene liberando CO_2 , aunque en una tasa menor debido a una menor temperatura de la superficie (Figura 4.8)

Los días 315 y 316 presentaron condiciones de nubosidad intermitente y la radiación neta mostró variaciones significativas a través del día (Figuras 4.9 y 4.10). Para el día 315 de las 9:00 a las 16:20 hr, el flujo de radiación neta (Rn) integrado fue de 6.35 MJ m⁻², mientras que el flujo de calor latente (LE) integrado fue de 1.32 MJ m⁻², esto indicó que el 20% de la Rn se disipó en LE y correspondió a una lamina de agua evapotranspirada de 0.55 mm.

De las 9:00 a las 18:00 hr del día 316, el flujo de Rn integrado fue de 5.82 MJ m⁻², y el de LE de 1.19 MJ m⁻², esto nuevamente correspondió a un 20% de la Rn y la lámina de agua evapotranspirada fue de 0.49 mm.

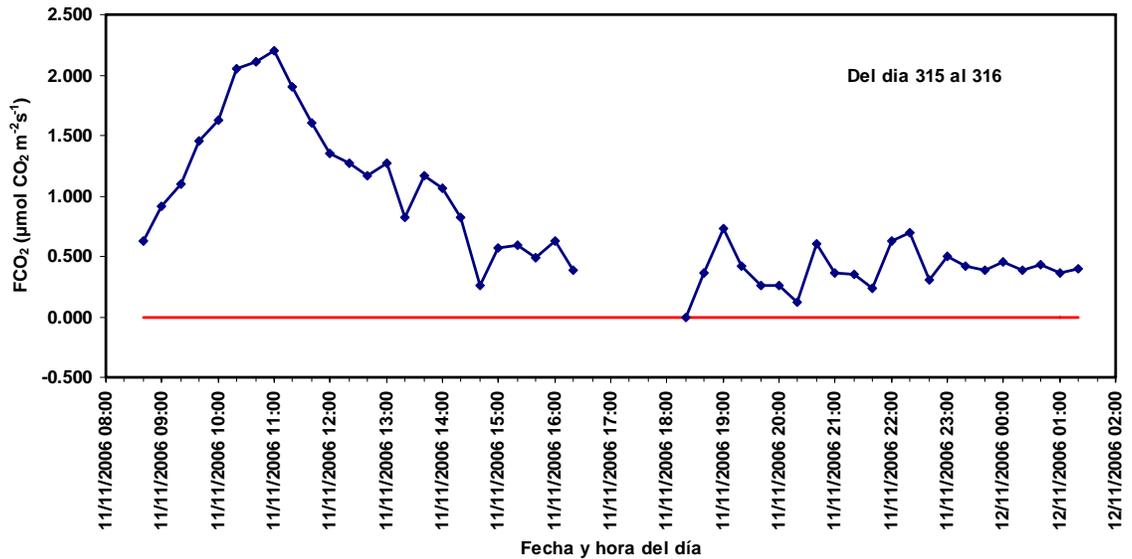


Figura 4.7. Flujo de bióxido de carbono (1 día después de la labranza vertical), observado del día 315 al 316 (valores negativos representan asimilación y positivos liberación), Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.

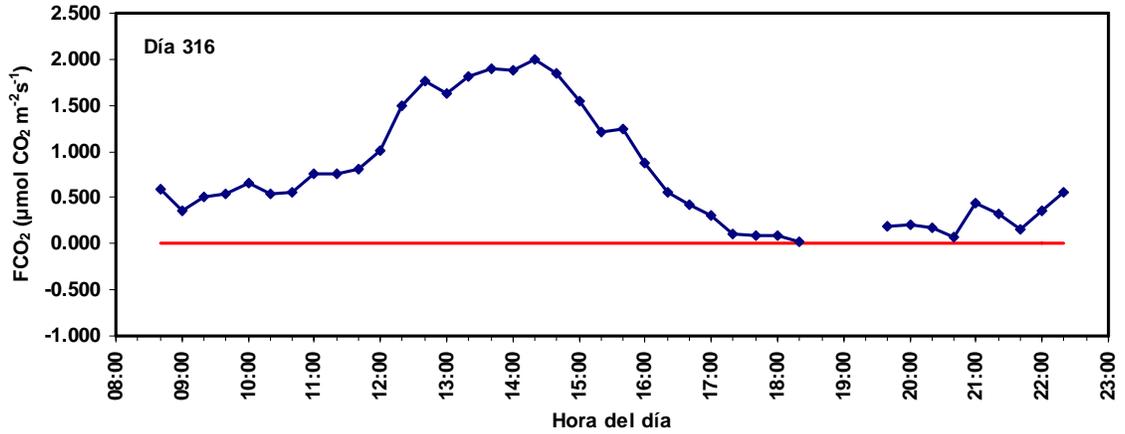


Figura 4.8. Flujo de bióxido de carbono (2 días después de la labranza vertical), observado el día 316 del año (valores negativos representan asimilación y positivos liberación), Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.

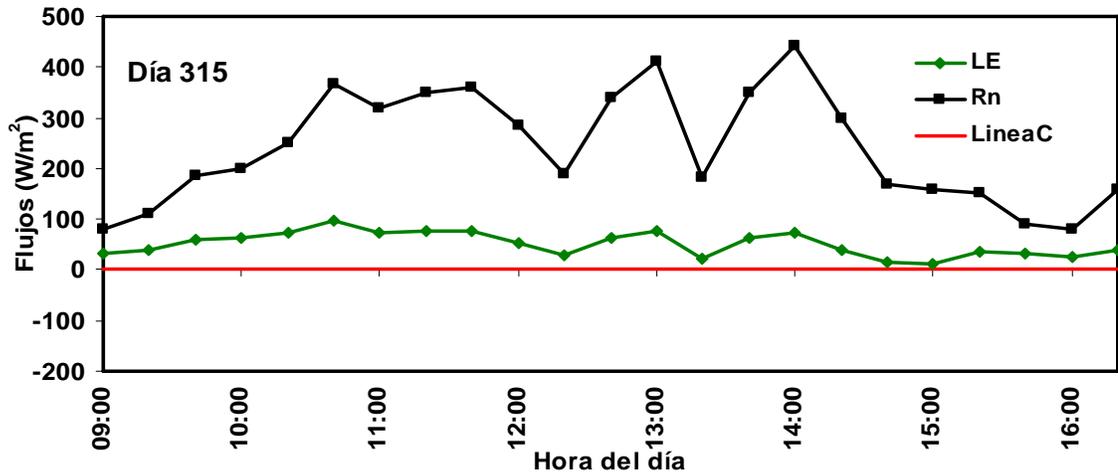


Figura 4.9. Flujos de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) observados el día 315 del año en la superficie con labranza vertical, Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.

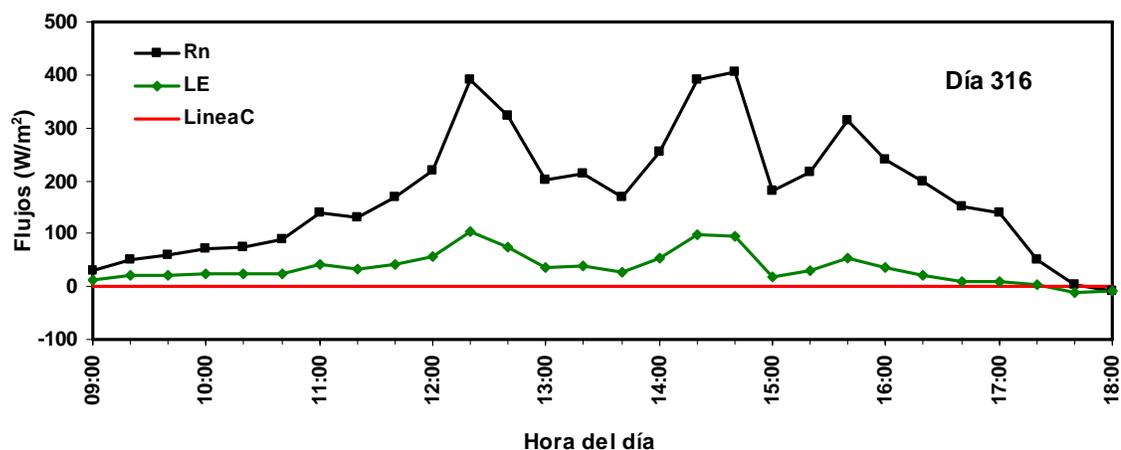


Figura 4.10. Flujos de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) observados el día 316 del año en la superficie con labranza vertical, Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.

En el día 319 (5 días después de la labranza), se observó una tendencia muy similar al de los días 315 y 316 (Figura 4.11), ya que también existe liberación de CO₂ durante el día. De las 9:00 a las 15:40 se observó una tasa promedio de liberación de 0.68 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y un flujo total integrado de 16.57 $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$. La máxima tasa de asimilación (1.0 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) se presentó a aproximadamente las 12:00 hr. De las 4:00 a las 5:00 y de las 18:00 a las 16:00 a las 18:40 hr, parece ser que la superficie estuvo asimilando CO₂. Esto probablemente se debe a que la labranza estimuló la actividad de algunos microorganismos del suelo que tienen cierta capacidad de asimilar CO₂ bajo condiciones de baja temperatura y poca o nula radiación (Al-Kaisi *et al*, 2005; Morris *et al*, 2004; Reikosky *et al*, 1993; Six *et al*, 2006)

El día 325 (11 días después de aplicada la labranza vertical), la superficie estuvo liberando bióxido de carbono de las 8:20 a las 15:40 hrs, con un valor promedio de aproximadamente 0.99 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y valores máximos de hasta 2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. El flujo de CO₂ total integrado para este segmento de tiempo fue de 27.10 $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$. (Figura 4.13). Nuevamente se observa que

la superficie muestra una pequeña tasa de asimilación de CO₂ bajo condiciones de baja temperatura y radiación. De las 5:40 a 8:00 hr, la tasa de asimilación media fue de $-0.27 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 4.13).

A diferencia de los días anteriores, los días 319 y 325 presentaron condiciones de cielo despejado la mayor parte del día (Figura 4.12 y 4.14). El día 319 de las 9:00 a las 18:00 hrs, el flujo total integrado de Rn fue de 8.36 MJ m^{-2} y el de LE de 1.28 MJ m^{-2} , lo que indica que el 15% de la radiación neta se disipó en LE y la lamina de agua evapotranspirada fue de únicamente 0.53 mm

Similarmente para el día 325 de las 9:00 a las 15:40 hrs, los valores integrados de Rn y LE fueron respectivamente 7.64 y 1.06 MJ m^{-2} , disminuyendo a 13% el porcentaje de radiación que se disipa en LE. La lámina de agua evapotranspirada a en este periodo de tiempo fue de 0.44 mm.

Esta disminución progresiva del porcentaje de radiación neta disipado en LE desde un 20% a un 13% se debe a la disminución progresiva del contenido de humedad en el estrato superior del suelo durante el tiempo en que se realizó el estudio.

En la Figura 4.15 se muestra que la superficie con vegetación nativa estuvo asimilando CO₂ durante el día en varios intervalos de tiempo los días del año 294, 295 y 298. Mientras que la superficie con poca vegetación (superficie labrada), liberó CO₂ durante el día en diferentes intervalos de tiempo los días del año 315, 316, 319 y 325 (Figura 4.16). Esto también demuestra que la labranza vertical puede ser una fuente de CO₂ a la atmósfera, que puede incrementar los gases de efecto de invernadero que provocan el calentamiento global.

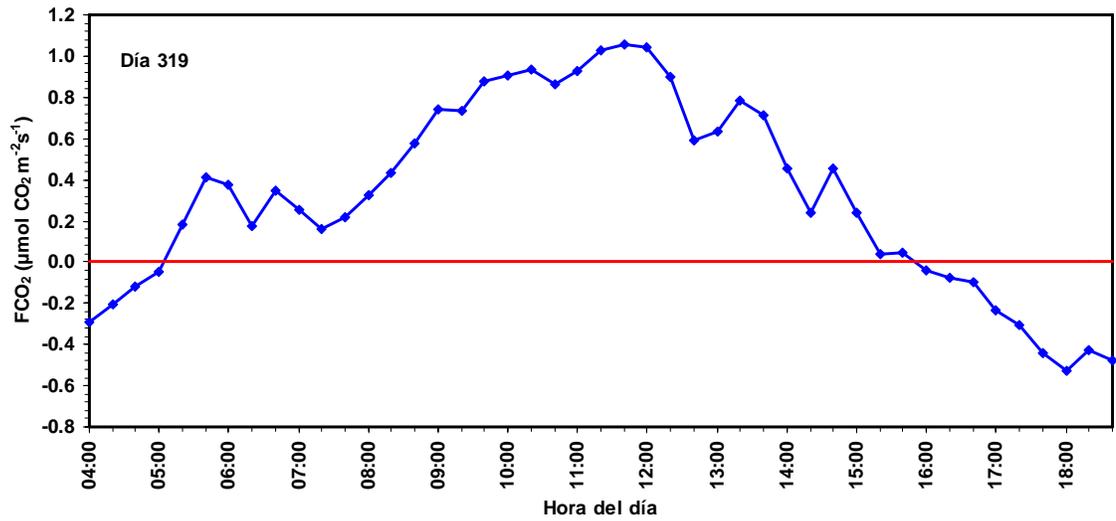


Figura 4.11. Flujo de bióxido de carbono (5 días después de la labranza vertical), observado día 319 (valores negativos representan asimilación y positivos liberación), Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

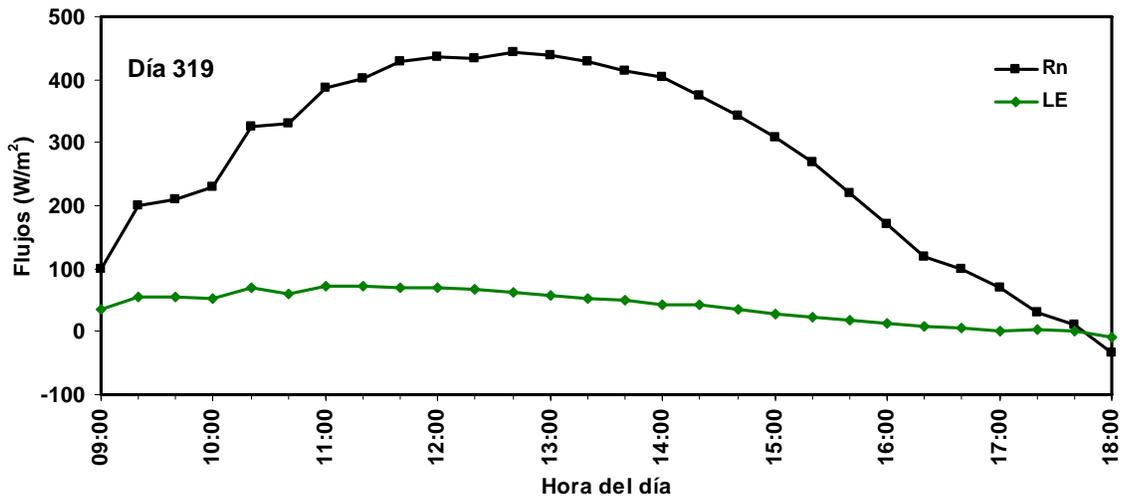


Figura 4.12. Flujos de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) observados el día 319 del año en la superficie con labranza vertical, Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.

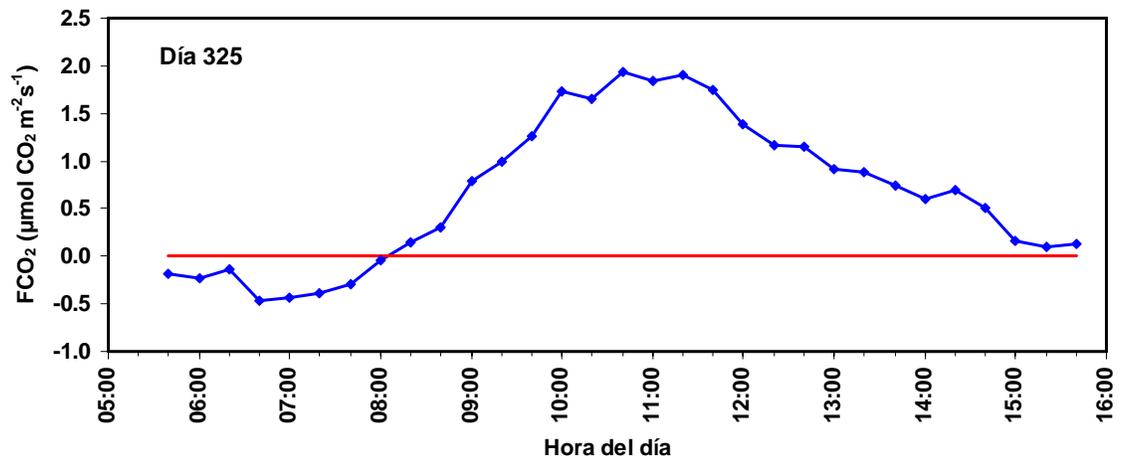


Figura 4.13. Flujo de bióxido de carbono (11 días de la labranza vertical), observado el día 325 (valores negativos representan asimilación y positivos liberación), Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.

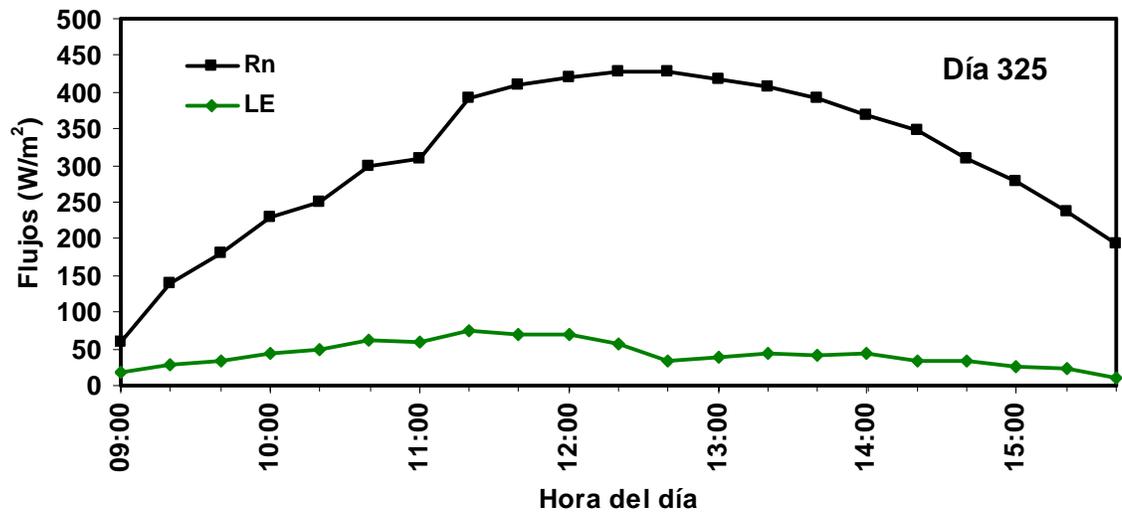


Figura 4.14. Flujos de radiación neta (Rn) y calor latente(LE) observados el día 325 del año en la superficie con labranza vertical, Rancho Los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.

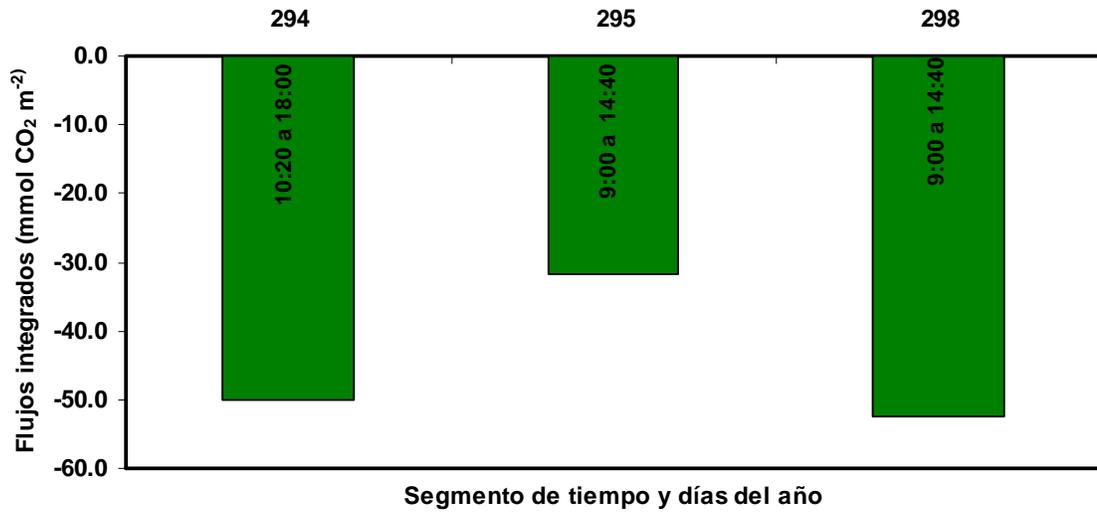


Figura 4.15. Flujos integrados de bióxido carbono (los valores negativos representan asimilación) observados en la superficie con vegetación en el Rancho los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

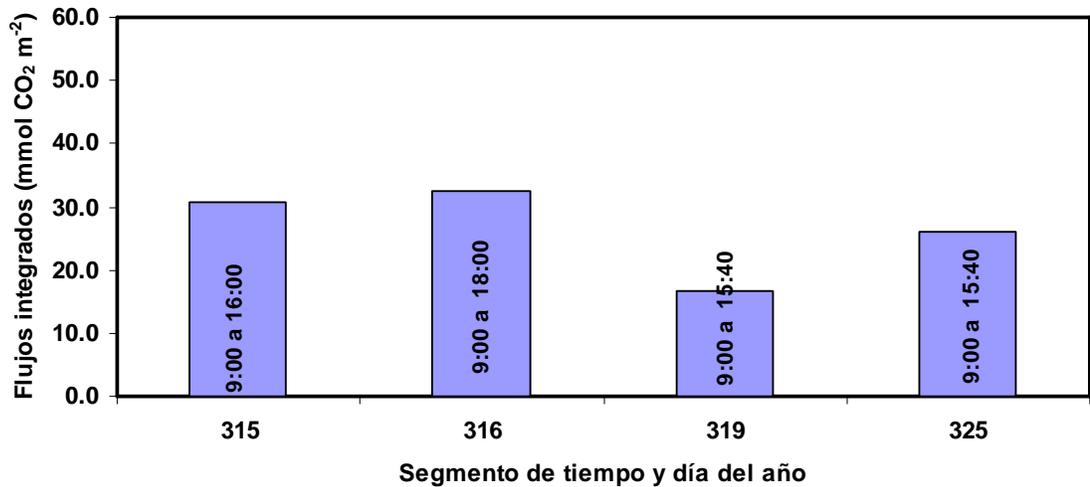


Figura 4.16. Flujos integrados de bióxido carbono (los valores positivos representan liberación) observados en la superficie con labranza vertical en el Rancho los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

4.3 Relación entre Radiación Neta y Flujo de Calor Latente

Para comparar la capacidad de evapotranspiración entre la superficie sin labranza y con vegetación nativa, contra la de la superficie con labranza vertical se obtuvo la relación entre el flujo de calor latente (LE) y la radiación neta (Rn). Este índice (LE/Rn) indica la proporción en que Rn se convierte en LE, de tal forma que a mayor valor de dicho índice mayor es la capacidad de evapotranspiración de la superficie. En la Figura 4.17 se muestran los valores de este índice para la superficie sin labranza para ocho días del año en diferentes intervalos de tiempo, mientras que en la Figura 4.18 se muestran los valores del mismo índice para la superficie con labranza vertical. Nótese que los índices de la superficie sin labranza son mayores que los de la superficie con labranza vertical, lo que indica que esta superficie tiene una capacidad de evapotranspiración mucho mayor debido principalmente a la presencia de la vegetación, la cual tienen un poder de extracción de agua de una mayor profundidad del suelo. Después de que se aplica la labranza vertical y se daña considerablemente el sistema radical de la vegetación presente, el flujo de vapor de agua corresponde únicamente a la evaporación de la poca cantidad de agua que se encontraba en el estrato superficial del suelo. Los valores mayores de la relación LE/Rn de la superficie sin labranza y con vegetación silvestre correspondieron a una mayor lamina de agua evapotranspirada (Figura 4.19) que las correspondientes a la superficie con labranza convencional (Figura 4.20).

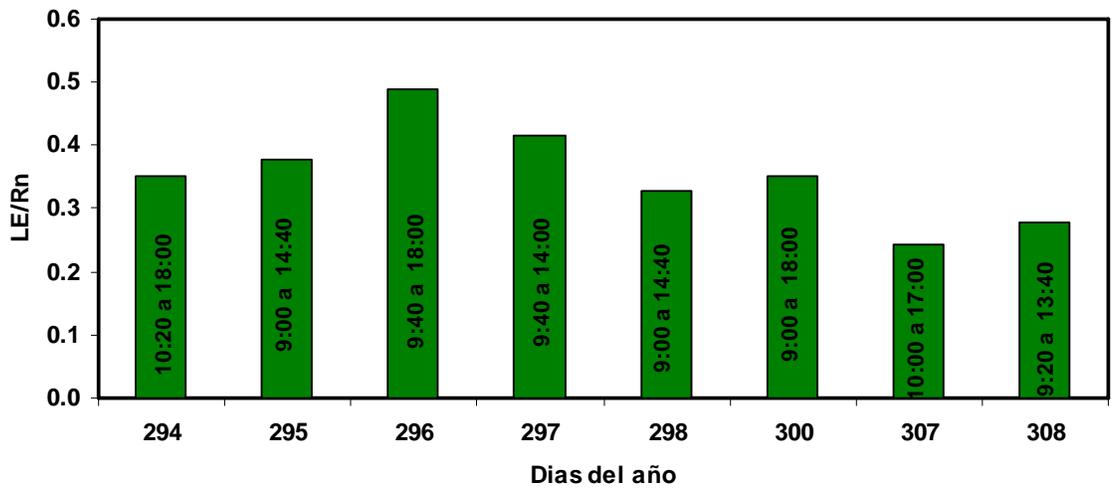


Figura 4.17 Relación de LE/Rn (índices), de el tratamiento testigo para diferentes días del año, el cual se llevo a cabo en el Rancho los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.

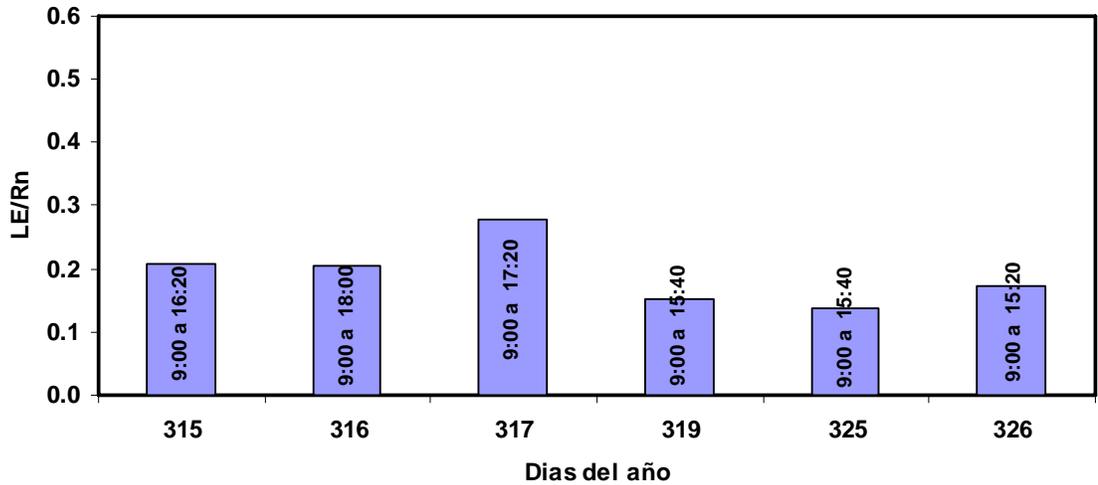


Figura 4.18 Relación de LE/Rn (índices), de el tratamiento la labranza vertical par diferentes días del año después de aplica la labranza, el cual se llevo a cabo en el Rancho los Ángeles municipio de Saltillo, Coahuila, México.

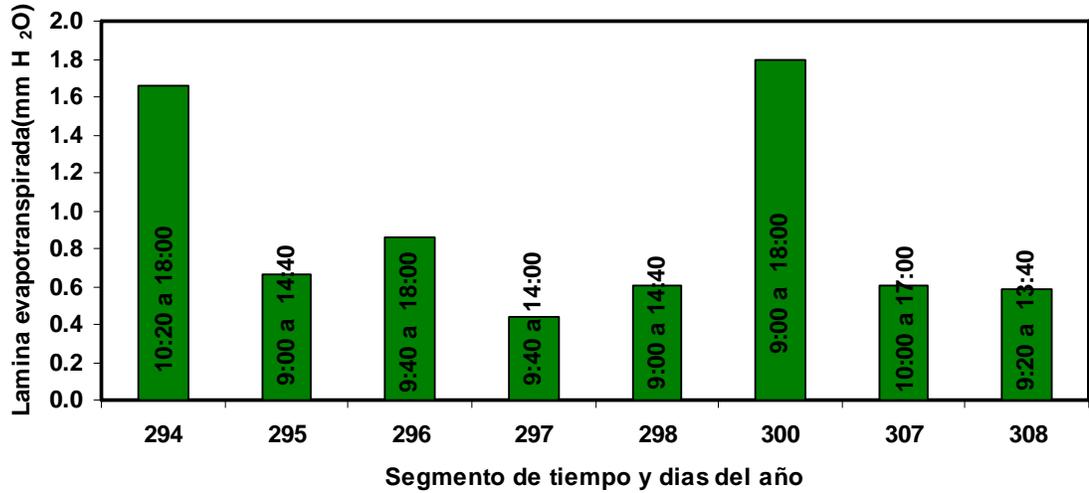


Figura 4.19 Lámina de agua evapotranspirada (ET; mm) en la superficie sin labranza y con presencia de vegetación nativa, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

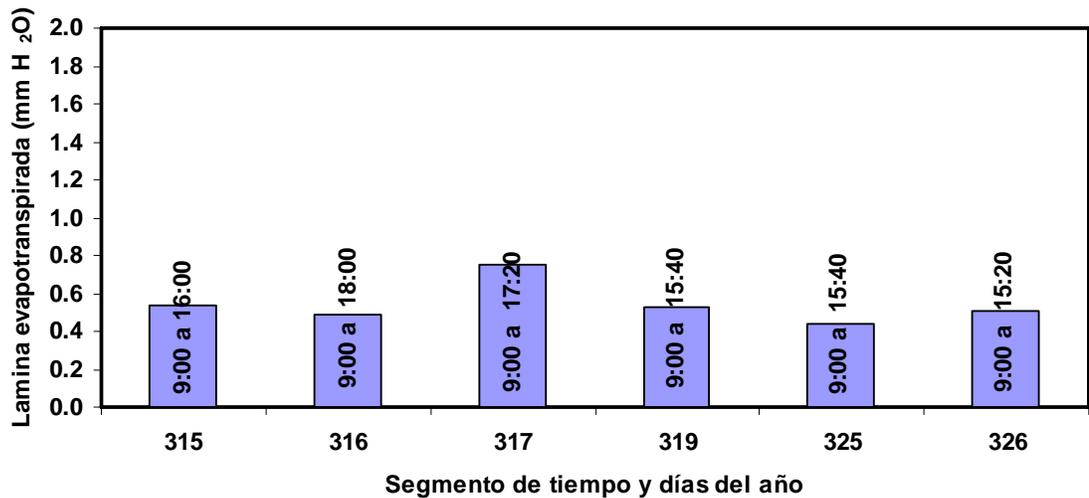


Figura 4.20 Lámina de agua evapotranspirada (ET; mm) en la superficie con labranza vertical, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

V. CONCLUSIONES

En la sección sin labranza, la superficie asimiló bióxido de carbono durante el día. Las máximas tasas de asimilación se observaron entre las 12:00 a 14:00 hrs. Después de las 16:00 hrs la tasa de asimilación decrece apreciablemente y a partir de entre las las 19:00 y las 20:00 hrs, la superficie es fuente de liberación de bióxido de carbono a la atmósfera.

En la superficie con labranza vertical, se elimino hasta un 90% de la vegetación nativa, y la superficie liberó bióxido de carbono durante el día. Posiblemente la labranza promovió condiciones favorables para que algunos microorganismos del suelo incrementaran su tasa de respiración durante el día.

Dado que la superficie se comporta como fuente de liberación de bióxido de carbono después de aplicada la labranza vertical, es recomendable evitar en lo posible la remoción del suelo

La capacidad evapotranspirativa de la superficie sin labranza y con presencia de vegetación nativa fue mayor que la de la superficie con la labranza.

VI. LITERATURA CITADA

- Abril, A., V. Caucas, y F. Nuñez Vázquez. 1995. Sistemas de labranza y dinámica microbiana del suelo en la región central de la provincia de Córdoba (Argentina). *Ciencia del Suelo* 13:104-106.
- Ashktorab, H pruit, W.O y Paw U K.P., 1994. Partitioning of Evapotranspiration Using Lysimeter and Micro-bowen-Ration System. *J. Irrig. And Drainage Eng.* 120 (2): 450-464
- Al-Kaisi, M.M., and X. Yin. 2005. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *J. Environ. Qual.* 34:437–445.
- Bastiaanssen W., palitha Bandara y Lucas Janssen. 1998. Land Surface Evapotranspiration for water Balance in the Kirundi Oya Watershed. A Remote Sensing Approach. Artículo presentado en: National Water Conference on Status and Future Directions of Water research in Sri Lanka, Colombo, November 4-6, 1998. pp(1-9)
- Balesdent, J., C. Chenu, and M. Balabane. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Tillage Res.* 53: 215-230.
- Benites, J.R. y Castellanos, A. (2003). Mejorando la humedad del suelo con Agricultura de conservación.
- Baldocchi, D. D., B. B. Hicks, and T. P. Meyers. 1988. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. *Ecology* 69: 1331-1340.

- Contreras-Robles, F., Garatusa-Payán, J., y L. C Valdez-Torres. 2001. Coeficientes de cultivo para el chile Bell en el valle del Yaqui, Sonora. XI Congreso Nacional de Irrigación, Guanajuato, México.
- Caspersen, J.P., Pacala, S.W., Jenkins, J.C., Hurtt, G.C., Moorcroft, P.R. y Birdsall, R.A. 2000. Contributions of land-use history to carbon accumulation in U.S. forests. *Science* 290: pp (1148-1150).
- Cruse, R.M. (2001). Strip tillage effects on crop production, crop year 2001, dept. of agronomy, Iowa state university, USA. <http://www.agriculture.state.ia.us/ifilm/striptillagerep>.
- Domínguez López R. F. 2005. Evaluación de sistemas de labranza para la conservación de humedad y energía en zonas semiáridas. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Posgrado en Ingeniería de Sistemas Agrícolas. UAAAN. Buenavista, Coahuila, Mexico.
- Elizondo Rene Martínez y Contreras Mauricio Aguilera. 1996. relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. Universidad Autónoma Chapingo. Mexico. pp (29, 165-250).
- FAO 2004. Carbon sequestration in dry land soils. World soil resources report 102. United Nations for Food and Agriculture Organization Viale delle Terme Caracalla, 00100 Rome, Italy (ISBN 92-5-105230-1).
- Gay, C. 2000. El Cambio climático, el problema global más importante del futuro. Gaceta UNAM, Noviembre 13. No. 3411: 12-13.
- Graedel, T.E. & Crutzen, P.J. (1993) Atmospheric change. An Earth System perspective. Freeman, N. York.
- Grassi, C. J. 1966. Variación de la evapotranspiración relativa durante el ciclo vegetativo de los cultivos. CIDIAT. Mérida, Venezuela.

- Gómez Plaza, A. (2000): Variabilidad espacio-temporal del contenido de humedad del suelo en una zona mediterránea semiárida. Efectos de las condiciones antecedentes en la respuesta hidrológica. Tesis Doctoral. ETSI de Montes. Madrid. p(185)
- Hamlyn, G. Jones, 1992. Plants and Microclimate, a quantitative approach to environmental plant physiology. Second ed. Ed. Cambridge. pp (9- 22).
- Hamil Uribe H. C. y Rouanet M. J. L., 2002. Efecto de tres sistemas de labranza sobre el nivel de humedad en el perfil del suelo. Agricultura Técnica (Chile). 62, (4), 555-564..
- Houghton, R.A., Hackler, J.L. y Lawrence, K.T. 1999. The U.S. carbon budget: contributions from land-use change. *Science* 285: 574-578.
- Houghton J Meiria Filho L G, Bruce J, Housong L, Callander BA; Haites E, Harris N, Maskell K (1995) En climate change 1994: Radiative Forcing of climate and an Evaluation Of the IPCC IS)” Emission esenarios Cambrige University Press, Cambridge. pp (58-66).
- INEGI, 2003. Anuario Estadístico del Estado de Coahuila. INEGI. Aguascalientes, Ags, México, pp. 331 - 341.
- IPCC, 2001. Summary for policymakers. A report of working group I of the Intergovenamental Panel on Climate Change. Obtenido el (<http://www.ipcc.Ch/pub/spm22-01.pdf>). Julio, 2001.
- Itier, B. E y Brunet, 1996. Recent Developments and Present Trends in Evapotranspiration and Irrigation scheduling, proc. Of the International Conference, 1996, San Antonio Texas, USA. (pag. 1-20)

- Izaurrealde, R.C., N.J. Rosemberg, and R. Lal. 2000. Mitigation of climate change by soil carbon sequestration: Issues of science, monitoring, and degraded lands. *Adv. Agron.* 70:1-75.
- Ivaldi, M. N. (2004). El calentamiento global. *Revista National Geographic en español.* pp (2-76).
- Jones, H.G., 1992. *Plants and Microclimate (A Quantitative Approach to Environmental Physiology)*. Secon Edition, Cambridge university Press. United Kingdom.
- Johnson J.F.M., D.C. Reicosky, R.R. Allmaras, T.J. Sauer, R.T. Venterea and C.J. Dell 2005 Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agriculture in the central USA. *Soil and Tillage Research* 83 (1) 73-94.
- Kimbal, B.A. and R.D jackson. 1979. Soil heat flux, p 211-229. In B.j. Barfiel and J.F Gerger (eds) *Modifications of the aerial Enviroment of Planted*. Monogr. No. 2 Amer. Soc. Agric. Eng., St Joseph. Mich.
- Kizer, M.A y R.L Elliott. 1991. Eddy correlation Sistems for Measurring Evapotranspiration. *Transactions of ASAE* 34(2): 387-392
- Leuning, R., king, K.M., 1992. Comparison of Eddy-covariance Measurements of CO2 fluxes by open- and closed path co2 analysers. *Boundd-lay. Meteorol.* 59, 297-311.
- Li, H. et al. 2005. Effects of Plant Process on Soil Organic Carbon Concentration. *Biosci.* Jun; 16 (6) 1163-8. (www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/)
- Maunder, W. J. 1992: *Dictionary of Global Climate Change*, UCL Press Ltd.
- Milenio. 2001. Crece la amenaza por el cambio climático. *Milenio Diario*, lunes 19 de febrero, 2001. p 35.

- Moreira, M. M. S., y Siquiera, J. O, 2002. Microbiología y bioquímica del suelo. Ed. UFLA. Brasil.
- Morris D. R.; Gilbert R. A.; Reicosky D. C. and Gesch R. W., 2004. Oxidation Potentials of Soil Organic Matter in Histosols under Different Tillage Methods. Published in Soil Sci. Soc. Am. J. 68:817–826.
- McCallister, D.L., and W.L. Chien. 2000. Organic carbon and forms as influenced by tillage and cropping sequence. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 31:465-479.
- Odum, E. P. 1969. The strategy of ecosystem development. Science (Washington, DC) 164: 262-270.
- Ordóñez, A. 1998. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. México D.F.
- Pal Arya, S. 1988. Introduction to Micrometeorology. Academic Press Inc. U.S.A. 307 p.
- Pérez A. J. C. 2003. Evaluación del desempeño y resultados tecnológicos del multiriego en dos tipos de suelos de zonas semiáridas. Tesis de licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Prueger, J. H.; T. J. Sauer y J. L. Hatfield, 1998. Turbulence Flux Estimates of Sensible and Latent Heat Near Shelterbelts During Low wind Condition. Transactions of ASEA 4(6): 1643-1650.
- Poy, S.L (2006) México principal emisor de dióxido de carbono en América Latina y el Caribe del periódico La jornada de México Revista cultura Científica y Tecnológica. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, (3), 16-16.

- Raich J. W. and German M, 2005. Estimating Root Plus Rhizosphere Contributions to Soil Respiration in Annual Croplands. Published online 11 April 2005; doi:10.2136/sssaj2004.0257 Soil Sci Soc Am J 2005 69: 634-639.
- Reikosky, D.C. and Lindstrom, M.J. 1993. Effect of fall tillage method on short term carbon dioxide flux from soil . Agron. J. 85:1237-1243.
- Rosell, R.A., and J.A. Galantini. 1998. Soil organic carbon dynamics in native and cultivated ecosystems of South America. p. 11-33. In Lal R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart (eds.). Management of Carbon Sequestration in Soil. Advances in Soil Science. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Rosenberg, N. J., B. L. Blad, and S. B.Verma. 1983. Microclimate: The Biological Environment, 2nd Ed. John Wiley & Sons. USA. 495 p
- Six J.; Frey S. D.; Thiet R. K.; and Batten K.M., 2006. Bacterial and Fungal Contributions to Carbon Sequestration in Agroecosystems. Soil Biology and Biochemistry. Published in Soil Science Society of America Journal. 70: 570-581.
- Stull, R.B. 1991. An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer Academic Publishers, USA. p 666.
- Swinbank, W. C., 1951. The Measurement of Vertical Transfer of Heat and Water vapor by Eddies in the Coger Atmosphere. J. Meteorol. 8: 135-145.
- Trava M., J. L. 1972. Obtención de los valores de Evaporación en trigo mediante la utilización de Lisímetros. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de posgraduados de chapingo, México.

- Twine, T.E., Kustas, W.P., Norman, D.R., Houser, P.R., Meyers, T.P., Prueger, J.H., Starks, P.J. and Wesely, M.L. 2000. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. *Agric. For. Meteorol.* 103, 279-300.
- Villa, S. A. 1981. Los desiertos de México. In: General Technical Report WO-28 Arid Land Resource Inventories: Developing Cost-Efficient Methods. An International Workshop 30-November 6, 1980. La Paz, México (pp.18-20)
- Villers R., L. e I. Trejo V. 1997. assessment of the vulnerability of forest ecosystems to climate change in Mexico. *Climate Research* 9:87- 93.
- Verma, S. B., D. D. Baldocchi, D. E. Anderson, D. R. Matt, and R. J. Clement. 1986. Eddy fluxes of CO₂, water vapor and sensible heat over a deciduous forest. *Boundary-Layer Meteorol.* 36: 71-91.
- Watts, C.W, S. Eich, and A.R. Dexter. 2000. Effects of mechanical energy inputs on soil respiration at the aggregate and field scales. *Soil Tillage Res.* 53:231-243.
- Ward, R.C. y Robinson, M. (2000): *Principles of Hydrology*. McGraw-Hill Pub. Maidenhead. 450 pp.
- Zermeño-Gonzales, A. 2001. Métodos micrometeorológicos para medir Flujos de calor y Vapor de Agua entre los cultivos y la atmósfera. XIII semana Internacional de agronomía. 5-7 de septiembre, Gomez Palacio Durango, México. pp (53-57).