



---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**Efecto de la labranza convencional en el flujo de bióxido de  
carbono y la conservación de humedad del suelo**

**POR:**

**TEODORO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

**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 convencional en el flujo de bióxido de carbono  
conservación de humedad del suelo**

**Por:**

**TEODORO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

**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**

---

**Dr. Alejandro Zermeño González**

**Asesor Interno**

**Asesor Externo**

---

**Dr. Martín Cadena Zapata**

---

**M. C. Armando López Santos**

**Asesor Externo**

---

**M. C. José Alexander Gil Marín**

**Coordinador de la División de Ingeniería**

---

**Dr. Raúl Rodríguez García**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Mayo de 2007**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Primeramente agradezco a dios nuestro señor por haberme permitido concluir mis estudios universitarios y completar una etapa más de mi vida, del regalo más preciado que él me ha otorgado, que es la vida; terminando así una etapa de mi preparación profesional e intelectualmente, logrando de esta manera una carrera a nivel licenciatura.*

*A la Institución que me dio un lugar para desarrollar mi preparación superior, proporcionándome un espacio en sus aulas, en su biblioteca, en su comedor y en toda su infraestructura, la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".*

*Del mismo modo les agradezco a todos los profesores que con sus enseñanzas otorgadas en las clases, contribuyeron en mi educación y formación profesional, así como en lo moral.*

*A mis asesores (Dr. Martín Cadena zapata, Dr. Alejandro Zermeño González, M. C. Armando López Santos y al M. C José Alexander Gil Marín) por haberme brindado su apoyo para la realización de la tesis; por que sin la ayuda de ellos no hubiese terminado.*

*A mis compañeros y amigos que me dieron su apoyo en los momentos mas difíciles y también en los momentos de alegría.*

*A mi novia, que en su momento me dio su apoyo, cariño y su comprensión, la cual fue esencial para recibir animo y motivación para terminar mi preparación.*

## **DEDICATORIA**

*Muy especialmente por su apoyo moral, sentimental y económico que me otorgaron incondicionalmente para lograr concluir mis propósitos; por el grandioso sacrificio que realizaron con la mejor de las intenciones, pero sobre todo por darme una educación profesional; por esto y mucho más se lo dedico a:*

*Mis padres:*

*Lázaro Hernández Martínez (finado)*

*Y*

*Francisca Hernández Morales*

*También a :*

*Mis queridísimos hermanos:*

*Angelina, Lázaro, Lorenzo, Domingo, Fernando, Francisca, Oralia y Sabina*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	III
<b>DEDICATORIA</b> .....	IV
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	V
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	VII
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	XI
<b>RESUMEN</b> .....	XII
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Magnitud de las emisiones de bióxido de carbono .....	3
1.2 Enfoque de las evaluaciones y resultados .....	3
1.3 Objetivos .....	4
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	5
2.1 Cambio climático .....	5
2.2 Efecto invernadero .....	6
2.2.1 Contribución del CO <sub>2</sub> en el calentamiento global del planeta .....	8
2.2.2 Contribución de las actividades agrícolas en la generación de gases de efecto invernadero .....	9
2.3 Ciclo del carbono en un agroecosistema .....	10
2.3.1 Fotosíntesis y respiración del suelo .....	12
2.3.2 Relación entre la materia orgánica y la producción de bióxido de carbono .....	13
2.3.3 Sistemas de labranza y su relación en las emisiones de bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	15
2.4 Humedad del suelo e importancia .....	16
2.4.1 Efecto de la labranza en la conservación de la humedad del suelo ...	16
2.5 Definición de las zonas áridas y semiáridas .....	19
2.5.1 Distribución de las zonas áridas y semiáridas en México .....	19
2. 6 Componentes del balance de energía .....	21

2.7 Métodos para medir variables de flujo (bióxido de carbono y evapotranspiración).....	22
2.7.1 Métodos micrometeorológicos .....	22
2.8 Método de la covarianza eddy.....	28
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
3.1 Localización geográfica general del sitio de estudio .....	31
3.2 Características generales del sitio de estudio .....	31
3.2.1 Clima.....	31
3.2.2 Vegetación.....	31
3.2.3 Suelo.....	32
3.3 Descripción de las superficies evaluadas.....	34
3.4 Instrumentación y mediciones realizadas.....	35
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>39</b>
4.1 Flujo de bióxido de carbono y vapor de agua en la superficie sin disturbar.....	39
4.2 Flujo de bióxido de carbono y vapor de agua en la superficie con labranza convencional .....	45
4.3. Relación entre Radiación Neta y Flujo de Calor Latente.....	53
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Evolución de la concentración atmosférica de CO <sub>2</sub> en los próximos 100 años (Huybrechts y Joughin, 2005).....	8
Figura 2.2 Evolución de la temperatura media de la Tierra (Huybrechts y Joughin, 2005).....	9
Figura 2.3 Diagrama representativo del ciclo de carbono en un agroecosistema (Álvarez, 2006 y Show, 1999).....	11
Figura 2.4 Rol del proceso microbial en los procesos de flujo de carbono, a través del suelo (Scow, 1999).....	14
Figura 2.5 Distribución de las zonas áridas y semiáridas en México (López, 2000).....	20
Figura 3.1 Representación esquemática del sitio de estudio y ubicación de las parcelas experimentales.....	33
Figura 3.2 Aplicación de la labranza convencional (arado de discos) en la parcela de estudio, Rancho los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	34
Figura 3.3 Sistema eddy en la parcela testigo (sin movimiento de suelo) para medir los flujos de calor latente ( $\lambda E$ ) y flujo de CO <sub>2</sub> entre la superficie y la atmósfera circundante.....	36
Figura 3.4 Sistema eddy en la parcela de labranza convencional para medir los flujos de calor latente ( $\lambda E$ ) y flujo de CO <sub>2</sub> entre la superficie y la atmósfera circundante.....	37
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.....	40

Figura 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.....	40
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 296 al 297 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	42
Figura 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 296 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	42
Figura 4.5 Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) en la superficie sin disturbar (con vegetación) a diferentes horas del día, observado del día 300 al 301 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	44
Figura 4.6 Flujo de radiación neta ( $R_n$ ) y calor latente (LE) en la superficie sin disturbar (con vegetación) a diferentes horas del día, observados el día 300 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	44
Figura 4.7 Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) sobre la superficie con labranza convencional, observados del día 332 al 333, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	46
Figura 4.8 Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) sobre la superficie con labranza convencional, observados del día 333 al 335, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....	47

Figura 4.9 Flujo de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) en la superficie con labranza convencional a diferentes horas del día, observados el día 334 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....48

Figura 4.10 Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) sobre la superficie con labranza convencional, observados el día 335, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....49

Figura 4.11 Flujo de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) en la superficie con labranza convencional a diferentes horas del día, observados el día 335 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....49

Figura 4.12 Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) sobre la superficie con labranza convencional, observados del día 340 al 341, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....50

Figura 4.13 Flujo de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) en la superficie con labranza convencional a diferentes horas del día, observados el día 340 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....51

Figura 4.14 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.....52

Figura 4.15 Flujos integrados de bióxido carbono (los valores positivos representan liberación) observados en la superficie con labranza convencional en el Rancho los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....52

Figura 4.16 Relación entre la radiación neta y el flujo de calor latente (LE/Rn) en la superficie sin labranza y con presencia de vegetación nativa, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....54

Figura 4.17 Relación entre la radiación neta y el flujo de calor latente (LE/Rn) en la superficie con labranza convencional, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....54

Figura 4.18 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.....55

Figura 4.19 Lámina de agua evapotranspirada (ET; mm) en la superficie con labranza convencional, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.....55

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Gases de Efecto invernadero de origen natural y de origen antropogénico (IPCC, 2005).....	7
Cuadro 3.1 Características físicas, químicas y biológicas del suelo de del área de estudio.....	33

## RESUMEN

El desarrollo de este trabajo fue realizado en el estado de Coahuila, municipio de Saltillo, en el rancho “Los Ángeles”, el trabajo experimental consistió de dos superficies: (i) una superficie no disturbada (testigo), (ii) superficie con labranza convencional (arado de discos). El método utilizado en cada parcela fue la covarianza eddy, la instrumentación fue instalada en cada superficie para medir los flujos de masa y energía.

En este trabajo se comparó un sistema de labranza contra un suelo sin disturbarlo (superficie 2.4 ha), su efecto que causa en relación en el flujo de bióxido de carbono y la lámina de agua evaporada del suelo por efecto del movimiento del mismo, además se generará información que servirá para investigaciones posteriores. Para poder cuantificar el flujo de calor latente y el flujo de bióxido de carbono del suelo fue necesario medir las siguientes variables climáticas que se mencionen en seguida, la radiación neta, temperatura y humedad del suelo, temperatura del aire, precipitación, dirección y velocidad del viento en tres dimensiones, humedad relativa y presión barométrica, con todas estas variables medidas se realizaran los cálculos respectivos para corregir los flujos de calor latente (LE), calor sensible (H), flujo de calor en el suelo ( $G_o$ ) y el flujo de  $CO_2$  ( $F_{CO_2}$ ) con el método de la Covarianza Eddy.

De las mediciones obtenidas y analizadas se obtuvo que la labranza convencional promueve una mayor producción de bióxido de carbono de la que asimila, es decir se comporta como una fuente de bióxido de carbono, en resumen la labranza contribuye al calentamiento global del planeta por que esta incrementando el bióxido de carbono en la atmósfera y la superficie sin disturbar (vegetación nativa), mostró una mayor asimilación en comparación de la que asimilaba se comporta como una fuente de captura de carbono.

# I. INTRODUCCIÓN

Derivado de los acontecimientos en materia de cambio climático, en años recientes los métodos micrometeorológicos se han extendido a nivel mundial por su precisión en la medición de flujos de masas y energía, entre la superficie y la atmósfera. En la actualidad, la agricultura moderna en relación a los sistemas de labranza se requiere un manejo sustentable del suelo y es necesario evaluar el efecto de la labranza en el flujo de bióxido de carbono y vapor de agua (Al-Kaisi y Yin, 2005; Morris et al., 2004; Reicosky et al., 2005; So, et al 2001). La covarianza eddy es una técnica más directa para la medición del flujo de vapor de agua y bióxido de carbono sobre la superficie de suelo y en ecosistemas (Ham y Heilman, 2003; Baldocchi et al., 1988).

En los pasados 7 años el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) ha reunido suficiente información, que van desde estudios puntuales hasta monitoreos por medio sistemas satelitales de 577 estudios realizados en la década de los años 90's en relación a su impacto al medio ambiente — para mostrar las causas y efectos de la influencia antropogénica en las variaciones del clima mundial, originado en parte por una mayor concentración de gases de efecto invernadero (GEI), dentro de los cuales destaca las altas emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y la deficiente captura por los sistemas biológicos terrestres y acuáticos (IPCC, 2007).

De tal forma que en el resumen de la 4<sup>o</sup> Valoración del Grupo II del IPCC (2007), se menciona que: "...observaciones de todos los continentes y océanos muestran que todos los sistemas naturales han sido afectados mediante cambios de clima a nivel regional, particularmente por el incremento de las temperaturas". Derivado de esto, se ha observado en las regiones del ártico y Antártico, entre otras cosas: 1) Crecimiento o incremento de los lagos dentro de los glaciales; 2) Incremento de tierras inestables en el proceso de descongelamiento y avalanchas de rocas de regiones montañosas; y 3) Cambios en algunos ecosistemas Árticos

y Antárticos, incluyendo aquellos biomas de mar-hielo, y además alta predación en la cadena trófica. Además, se presenta un calentamiento de océanos, lagos y ríos en muchas regiones, con efectos en la estructura térmica y calidad del agua.

Los datos que presenta el IPCC (2007) sobre los cambios en los sistemas físicos, biológicos y de temperatura entre 1970 y 2004, indican que en el Norte centro y Noroeste del territorio mexicano, ha aumentado en promedio de 1 y 2 °C, fluctuación que ya había advertido la Comisión Nacional de las Zonas Áridas *et al* .(2004) como un factor que contribuye en marcadas irregularidades hídricas con una fuerte tendencia a la sequía y a la desertificación, cuyos estragos se manifiestan más drásticamente en las regiones agrícolas.

En los sistemas agroproductivos, el laboreo del suelo es considerado como una de las principales formas involuntarias de liberación de bióxido (Caspersen *et al.* 2000) y al mismo tiempo, empíricamente se emplea para incrementar el aprovechamiento y conservación de la humedad en el suelo para periodos cortos de desarrollo del cultivo (Domínguez, 2005). Aunque, es importante mencionar que a largo plazo el tráfico de la maquinaria y las prácticas culturales generan cambios en la distribución y morfología de los poros del suelo que se manifiesta en una menor capacidad de retención de la humedad (González *et al.* 2007)

Las altas emisiones de bióxido de carbono y el déficit hídrico en las regiones agrícolas de México lo colocan en una controversia de responder a los acuerdos del Protocolo de Kyoto por estar orientadas de manera fundamental a la reducción y cuantificación de las emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y al mismo tiempo, tiene ante sí la imperiosa necesidad de hacer un uso eficiente del agua para incrementar la disponibilidad para los cultivos, así como para el consumo humano (CONAZA, 2002; FAO, 2004; y UACH-CONAZA, 2004).

## 1.1 Magnitud de las emisiones de bióxido de carbono

En particular sobre el flujo de CO<sub>2</sub> a continuación se presentan los antecedentes más sobresalientes encaminados a la medición de las magnitudes de diferentes orígenes y circunstancias de manejo del suelo.

En un informe reciente del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente sobre el cambio climático en América Latina, revela que México es el principal emisor de CO<sub>2</sub>, con emisiones netas de 444 millones de toneladas métricas lo que representa el 1% de las emisiones mundiales (Poy , 2006).

La respiración del suelo es el primer camino por el cual el CO<sub>2</sub> es fijado por las plantas retorna a la atmósfera, (Schesingler y Andrews, 2000); para reducir dicho retorno ha habido un 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)

## 1.2 Enfoque de las evaluaciones y resultados

En ecosistemas terrestres, el movimiento del flujo de masas y energía, particularmente LE y FCO<sub>2</sub> puede ser medidos básicamente por tres métodos: 1) Eddy Covariance, (EC); 2) Relación Bowen, (BR); y 3) Open System Gas Chamber, (OC) (Massman and Lee, 2002; Clark *et al*, 2001). El uso comparado entre EC y OC, por Drewit *et al*, (s/f) indican coincidencias en diversos trabajos, los cuales se realizaron en diferentes tiempos y lugares. (Balog *et al*, 2005; Lavigne *et al*, 1997; Dugas *et al*, 1991; y Dore *et al*, 2003)

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<sup>-1</sup>, equivalente a 8 ton de

CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> para el caso de rotura con arado de vertedera (Reikosky y Lindstrom, 1993). Así, en un suelo agrícola con alto rendimiento (7 ton de trigo ha<sup>-1</sup>), en que se realiza labranza tradicional con la quema, la contribución de CO<sub>2</sub> a la atmósfera podría llegar a ser de 26 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año (Acevedo y Silva, 2006).

Hatfield *et al*, (2007) apoyado en el método de la covarianza Eddy cuantificaron la variación espacial y temporal de de la energía y el flujo de CO<sub>2</sub>, a lo largo de una cuenca cultivada de manera intensiva con maíz (*Zea mays L.*) y soya (*Glicine max L.*) en el centro de Iowa, USA, encontraron que el flujo de CO<sub>2</sub> presenta una gran variación durante todo el periodo de estudio en los doseles de ambos cultivos. En general, los flujos diurnos para el periodo de crecimiento inicial son pequeños, comparados con la etapa de maduración, cuando los índices de área foliar fueron mayor de 4. Además, dicen que los flujos diurnos de CO<sub>2</sub> se incrementan lentamente en respuesta a la asimilación fotosintética conforme se incrementa la biomasa total. El maíz tuvo un incremento lineal máximo diurno durante 20 días con incrementos de 1.5 a 2.5 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

### **1.3 Objetivos**

Evaluar el efecto de la labranza convencional (arado de discos) en la tasa de flujo de bióxido de carbono y la evaporación total de la superficie del suelo.

### **1.4 Hipótesis**

El sistema de labranza convencional 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

Maunder, (1992), define el cambio climático como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”.

Sin embargo, el IPCC (2001) establece que el cambio climático se produce cuando cualquier factor que altere la radiación recibida del sol o perdida al espacio, o que altere la redistribución de la energía dentro de la atmósfera y entre la atmósfera, la placa continental y el océano, puede afectar el clima debido a la participación del hombre. Como se sabe, dicho fenómeno se atribuye a la concentración en la atmósfera de los llamados gases de efecto invernadero (GEI) que está por arriba de los niveles históricos. Se estima que el incremento de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> en la atmósfera ha provocado un aumento en la temperatura media global de 1.4 °C y llegará en los próximos años a 5.8 °C, dicho aumento esta causando un paulatino deshielo de los polos glaciares, además el promedio del nivel del mar está aumentando de 9 cm hasta llegar a 88 cm en lo próximos años, y por la consiguiente desaparición de zonas costeras bajas (IPCC, 2001; Huybrechts y Joughin , 2005)

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, comprometiéndose con ello a reducir emisiones de gases (principalmente CO<sub>2</sub>) 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, causan efecto invernadero (UNFCCC, 2005).

Los sectores afectados por el cambio climático son las siguientes: la agricultura, agua, temperatura, precipitaciones, salud, bosques, zonas costeras, especies y áreas naturales, etc. (Martínez y Fernández, 2004)

## **2.2 Efecto invernadero**

Los GEI atrapan las emisiones de radiación infrarroja en la atmósfera produciendo un aumento de la temperatura de ésta. De no existir esos gases la mayoría de la radiación infrarroja (producto del cambio de la longitud de onda de las radiaciones solares de alta energía al chocar con la tierra), cerca de un 30%, abandonaría la atmósfera sin causar calentamiento, pero las moléculas de esos gases las retienen y producen lo que se conoce como efecto invernadero (Graedel y Crutzen, 1993; IPCC, 2001)

Los GEI que realmente preocupan son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), los óxidos de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ) 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's) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), destacan el vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) por su estabilidad para retener la radiación de onda larga ( $\text{RS}\downarrow\text{W}$ ), cuyos fenómenos produce un aumento sustancial de la temperatura (IPCC, 2002)

En el siguiente cuadro 2.1 podemos observar los orígenes de los gases de efecto de invernadero, además están de acuerdo a su nivel de importancia y agrupados de acuerdo a su origen:

<b>GEI de origen natural</b>	<b>GEI de origen antropogénico</b>
Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)
Metano (CH <sub>4</sub> )	Metano (CH <sub>4</sub> )
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)
Ozono (O <sub>3</sub> )	Perfluorometano (CF <sub>4</sub> ) y perfluoroetano (C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> )
	Hidrofluorocarbonos

Cuadro 2.1 Gases de Efecto invernadero de origen natural y de origen antropogénico (IPCC, 2005)

El CO<sub>2</sub> atmosférico, que es una de los gases de mayor importancia por su concentración en la atmósfera y por su relación directa con las actividades antropogénicas, ha aumentado su concentración en un 31%, es decir, su concentración era de 280 y hace tres décadas es de 367 ppm. 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 (Acosta *et al*, 2001)

### 2.2.1 Contribución del CO<sub>2</sub> en el calentamiento global del planeta

El CO<sub>2</sub> es el principal contribuidor en el calentamiento atmosférico, el efecto combinado de los otros gases traza, principalmente CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CFC's, en el presente con una concentración de dos a seis veces menor que el CO<sub>2</sub>, pueden incrementar el efecto del CO<sub>2</sub>, porque, estos por molécula absorben la radiación mucho más fuertemente, particularmente en la longitud de onda crítica de 8 a 10 μm (Hamlyn, J. G. 1992, p315; e IPCC, 2001, p 2)

La figura 2.1 muestra las predicciones de Huybrechts y Joughin (2005), sobre la evolución de la concentración atmosférica del bióxido de carbono durante el presente siglo. Los datos son verdaderamente impresionantes. En 1958, la concentración de CO<sub>2</sub> era de 315 ppm, actualmente es de 370 ppm, y en el mejor de los escenarios imaginables, llegará de una concentración superior a los 900 ppm antes de finalizar el siglo.

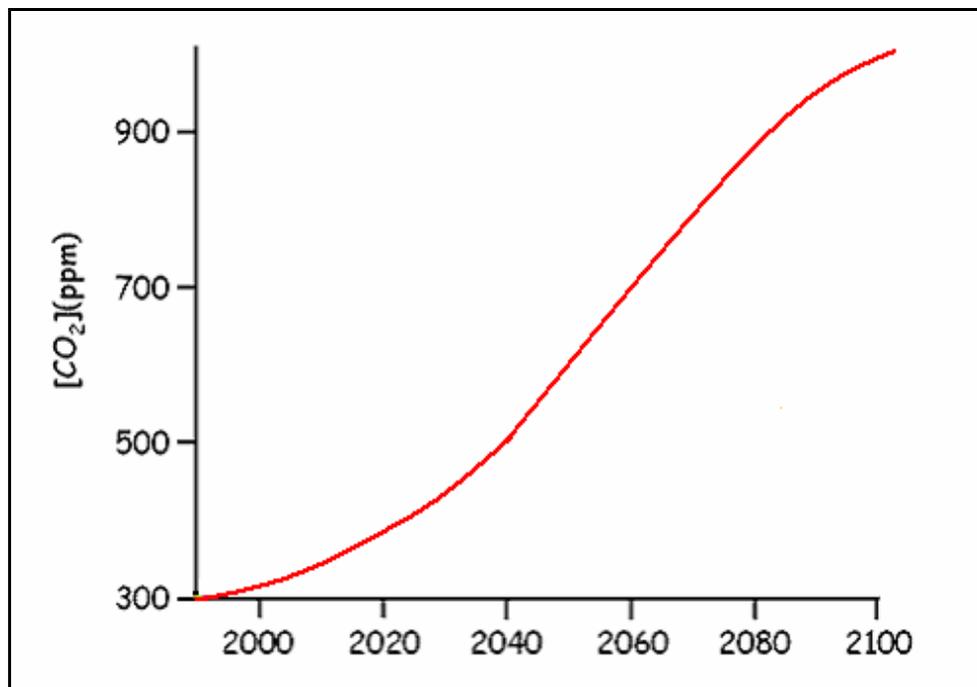


Figura 2.1 Evolución de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> en los próximos 100 años (Huybrechts y Joughin, 2005)

La figura 2.2 muestra la consecuencia de esta acumulación de bióxido de carbono sobre el incremento de la temperatura media de la tierra. Como se puede ver, la temperatura media mundial aumentó 0.6 °C durante el siglo XX y esta previsto que se eleve la temperatura media en mas de 3 °C en el 2050 y en mas de 5 °C en el 2100.

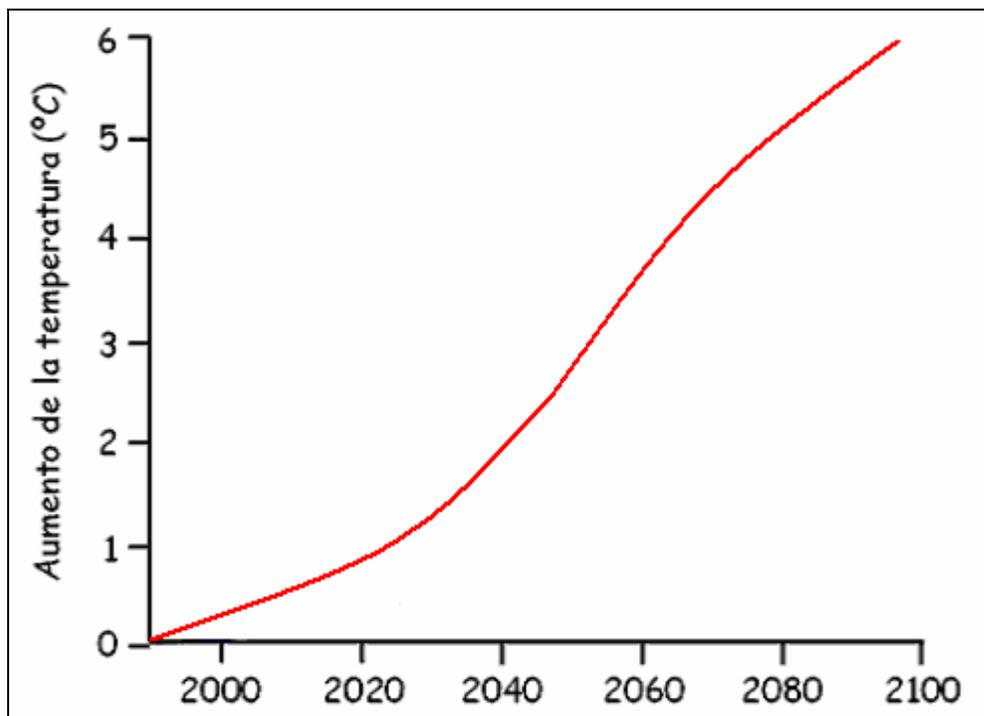


Figura 2.2 Evolución de la temperatura media de la Tierra (Huybrechts y Joughin, 2005)

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

Casi un tercio de las emisiones de estos GEI, en el caso de México, están ligadas a la actividad agrícola. El CH<sub>4</sub> y los N<sub>2</sub>O también están relacionados, en proporción importante, a la agricultura (ganado rumiante y uso de fertilizantes nitrogenados, respectivamente). Los FCC son de origen

doméstico e industrial principalmente (Maserá, 1995, De Jong, 1997; González y Martínez., 2002)

En México, el Instituto Nacional de Ecología (2001) ha señalado que la contribución de este sector agrícola a la emisión de CO<sub>2</sub> corresponde a 31% del total de las emisiones. Estas emisiones se atribuyen principalmente al cambio de uso del suelo y a la deforestación. El CO<sub>2</sub> que proviene de este último sector es mayormente producto de la oxidación de los residuos orgánicos acumulados en suelo y en la superficie de la tierra, que al desaparecer el bosque quedan desprotegidos y expuesto a la mencionada transformación química. Por lo que el suelo, además de ser un almacén potencial de carbono, es una fuente potencial de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

La evaluación del uso del suelo y de la vegetación en relación a la contribución de CO<sub>2</sub> 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, H. (2005) indica que la concentración actual de CO<sub>2</sub> en la atmósfera podrá incrementarse al doble en los próximos 50 años, con los riesgos que ello implica para la estabilidad global, a no ser que en el futuro inmediato se asuma la tarea de controlar la respiración de la capa arable del suelo de acuerdo al balance de los ecosistemas”.

### **2.3 Ciclo del carbono en un agroecosistema**

El carbono ingresa al agroecosistema por la fotosíntesis y sale del mismo por la respiración radical y microbiana (figura 2.3). 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<sub>2</sub>. Este también es

generado en el proceso de mineralización de la materia orgánica humificada. La suma de la emisión de  $\text{CO}_2$  por descomposición y mineralización constituye la respiración microbiana o heterotrófica del suelo, también se da la lixiviación y la erosión. El carbono de los residuos, que no es emitido como  $\text{CO}_2$  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 y Show, 1999)

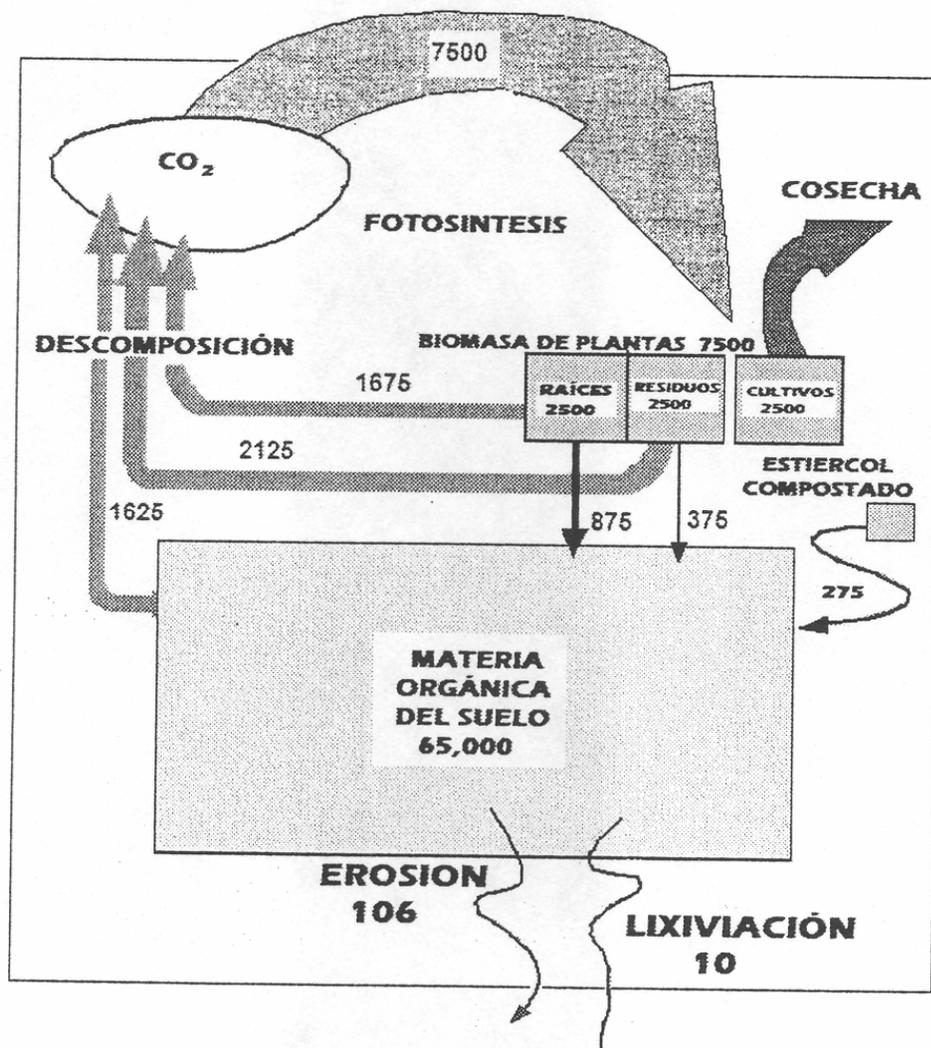


Figura 2.3 Diagrama representativo del ciclo de carbono en un agroecosistema

(Álvarez, 2006 y Show, 1999)

### 2.3.1 Fotosíntesis y respiración del suelo

Fotosíntesis es el proceso mediante el cual los organismos con clorofila, como las plantas verdes, las algas y algunas bacterias, capturan energía en forma de luz y la transforman en energía química. Este se realiza en dos etapas: una serie de reacciones que dependen de la luz y son independientes de la temperatura, y otra serie que dependen de la temperatura y son independientes de la luz (Encarta, 2007)

Bahati, (2005), define la fotosíntesis como un proceso fotoquímico expresado en términos de la suma por unidad de área por segundo y esta en función de la radiación de onda larga de 350 – 700 nm, dentro el cual es absorbido la energía luminosa es transformado en energía química por la plantas fotoautotróficas. Consecuentemente, esta es la radiación de onda larga que es crítica donde las plantas concernientes realizan la fotosíntesis. La fotosíntesis esta en función de la intensidad de la iluminación. Todas las superficies vegetales están sujetos a cambios bruscos en la radiación de onda larga por debajo o arriba del rango de 350 – 700 causando un imbalance en el desarrollo de la fotosíntesis en las plantas, por el cual los resultados son pequeños y de poca seguridad.

El suelo representa la fuente mas grande de carbón orgánico, y las actividades antropogénicas como la agricultura, y dentro de esta las labores en la superficie del suelo como la labranza contribuyen considerablemente a transferir e incrementar la cantidad de carbono a la atmósfera debido al aumento de la tasa de descomposición de la materia orgánica y por lo tanto la respiración del suelo (Lal *et al*, 1998, Paustian *et al.*, 2000).

La respiración del suelo represente 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 CO<sub>2</sub> dentro del suelo. La separación de los principales procesos de producción de CO<sub>2</sub> es para mejorar nuestra comprensión del ciclo del carbono y su dinámica en el suelo. En este sentido, Raich y German, (2005), describieron y probaron un modelo, que estimó las emisiones del CO<sub>2</sub> del suelo derivadas de procesos anabólicos y catabólicos, representando la descomposición de la materia orgánica y la respiración de la raíz más la rizosfera, respectivamente.

Según Moreira y Siquiera (2002), la respiración es uno de los parámetros más antiguos para cuantificar la actividad microbiana. Ella representa la oxidación de la materia orgánica hasta la formación del CO<sub>2</sub> por organismos aeróbicos del suelo, que por lo tanto utilizan O<sub>2</sub> como aceptor final de electrones, hasta formar el CO<sub>2</sub>, 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).

### **2.3.2 Relación entre la materia orgánica y la producción de bióxido de carbono**

En el contexto de la necesidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y mantener la calidad del suelo para sostener la producción de alimentos, el rol y relevancia de las prácticas de labranza y su impacto en la materia orgánica debe ser reexaminada (So, *et al*, 2001).

Un buen balance del ecosistema en el mejor de los casos, implica la utilización racional de un suelo con un buen nivel de materia orgánica (MO) y su microflora asociada, así como sus diferentes grados de sensibilidad (suelo-MO-organismos) a los factores ambientales, como la humedad y temperatura, y prácticas agronómicas (Zagal, *et al*, 2001)

El grado de sensibilidad de los organismos está relacionado con las dos fracciones de la MO, la lábil y la estable, las cuales poseen tiempos de reciclaje que varían desde horas para la primera, y hasta siglos para la segunda, es decir la fracción lábil o débil y la estable es influenciada por la actividad biológica y se comporta como fuente de nutrientes para vegetales y organismos del suelo, cuyo rol es fundamental en el flujo del carbón a través del suelo, como se puede ver en la figura 2.4 (Scow, 1999)

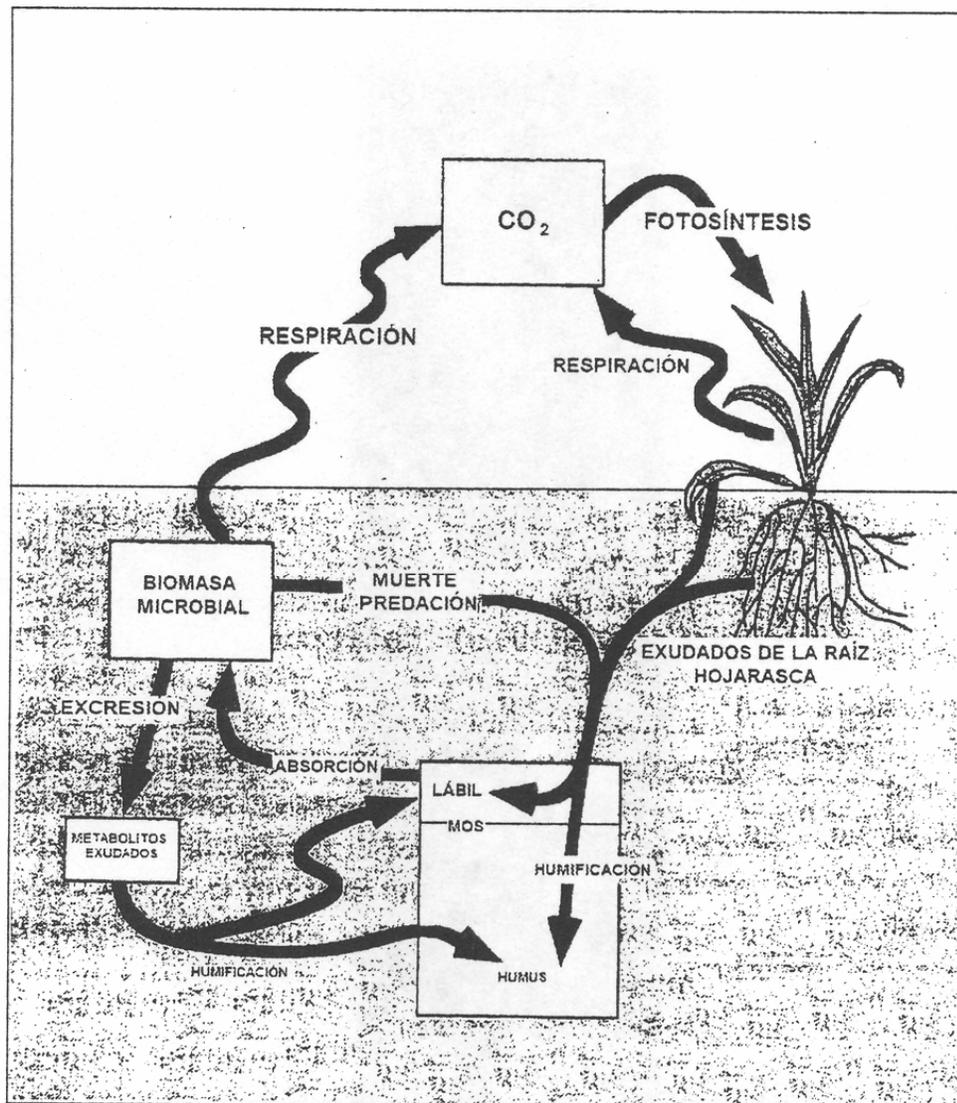


Figura 2.4 Rol del proceso microbial en los procesos de flujo de carbono, a través del suelo (Scow, 1999)

### **2.3.3 Sistemas de labranza y su relación en las emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

A continuación se presentan algunos reportes científicos relacionados con el tema flujo de CO<sub>2</sub> en relación a los sistemas de labranza:

En la actualidad el manejo del suelo debería orientarse a restaurar el carbono orgánico del mismo con el fin de mejorar la estructura y fertilidad, y asimismo ayudar a contrarrestar el flujo de CO<sub>2</sub> a la atmósfera principal factor del efecto invernadero (Rosenzweig y Hillel, 2000).

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

Algunos autores han encontrado que en sistemas de no laboreo existe un mayor flujo de carbono a la atmósfera que en suelos arados (Franzluebbers *et al* ,1995; Constantini *et al*, 1996; Álvarez 2001), otros han encontrado que existen menos emisiones en sistemas de no labranza comparados con sistemas de laboreo convencional intensivo (Six *et al.* 1999; Paustian *et al.* 2000; Matsumoto *et al.* 2002)

Se considera que la labranza es una de las principales causas del decremento de reserva de carbono en el suelo (Pretty *et al.* 2002), la labranza convencional con arados de vertedera o discos y rastras de discos es señalada como la causa de pérdida de carbono en el suelo a través de la destrucción de los agregados del suelo y la aceleración de la descomposición por la mezcla de residuos, oxígeno y masa microbiana. Los agregados del suelo son vitales para el secuestro de carbono (Six *et al.* 2000), este proceso se maximiza con agregados de tamaño intermedio (Plante y Mc Gill, 2002).

Los suelos actúan como un sumidero de carbono y cumplen un papel fundamental en el ciclo global del carbono, según diversos autores (Tebrügge, 2001; Reicosky 2001; Houghton *et al.* 1999; Davidson y Ackerman, 1993), la agricultura convencional es la causante de efectos negativos en el efecto invernadero, además de los ya conocidos sobre la calidad de las aguas y la erosión del suelo.

La intensificación de la agricultura convencional ha sido uno de los factores que ha influido negativamente en las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero. Las actividades agrícolas contribuyen con emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera a través de las combustiones de los carburantes. Además de ésta, hay otros procesos que favorecen el incremento del CO<sub>2</sub>; la descomposición de materia orgánica y la quema de rastrojos (Vida Rural, 2002)

La labranza tradicional y la quema tienen una serie de efectos negativos sobre el suelo y el medioambiente como liberación acelerada de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, pérdida de nutrientes y erosión del suelo (Acevedo y Silva, 2006).

## **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 hídricos, 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)

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

El principal problema en las zonas áridas y semiáridas 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)

Existen importantes diferencias entre labranza tradicional y labranza de conservación en el almacenamiento de agua en el suelo y la eficiencia en el uso de la precipitación (Unger y Weise, 1979, Tanaka, 1985). La cero labranza aumenta la infiltración de agua y reduce la evaporación. En regiones que reciben una precipitación anual mayor a 250 mm la cero labranza y la presencia de rastrojos en relación a la labranza tradicional, permiten mayor rendimiento y mejor eficiencia en el uso del agua, sin embargo esta ventaja se estrecha cuando aumenta la precipitación (López-Bellido *et al*, 1996).

Una cobertura permanente del suelo, ya sea con residuos vegetales o cultivos en desarrollo, reduce la pérdida directa de agua por la evaporación que se produce en las capas superiores del suelo, estableciendo mejores condiciones para la conservación de la humedad, además protege la superficie del efecto negativo del impacto de las gotas de lluvia. También reduce la formación de costras y la susceptibilidad a la erosión, y mejora la porosidad en la superficie (Benites y Castellanos, 2003).

Reducir la labranza, significa que el suelo no es perturbado y que se evita la pérdida de humedad y la compactación que sigue a la labranza. Esto incrementa la infiltración y la percolación del agua a través del suelo, conduciendo a un mejor desarrollo radicular y al crecimiento del cultivo. También se reduce la descomposición de la materia orgánica y la consecuente pérdida de humedad por evaporación (Benites y Castellanos, 2003).

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 labranza cero.

Gaobao (2003), encontró rendimientos mayores con la no labranza con mantillo de  $2.15 \text{ t ha}^{-1}$ , seguido por la labranza convencional sin mantillo de  $1.82 \text{ t ha}^{-1}$ , labranza convencional con mantillo de  $1.74 \text{ t ha}^{-1}$ , no labranza sin mantillo  $1.41 \text{ t ha}^{-1}$ , labranza convencional con plástico  $1.39 \text{ t ha}^{-1}$  y la no labranza con plástico con un rendimiento de  $1.26 \text{ t ha}^{-1}$ . También observó que hubo una mayor conservación de humedad en la no labranza con mantillo en un estrato de suelo de 0 a 5 cm.

En México hay muchas áreas agrícolas donde existe poca disponibilidad de agua, como se menciona anteriormente el mantillo impide una tasa de pérdida de humedad al mantener el suelo a una temperatura relativamente baja, evitando la evaporación, además, 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)

Cruse, (2001), observó en Iowa, USA que casi el 40% de las tierras de cultivo se laborean con labranza convencional, prácticas que dejan menos del 30% de cobertura vegetal en el suelo. También que consumen más energía, dañan la ecología y son costosos. Esta investigación tuvo como fin demostrar que la labranza en hileras disturba menos el suelo donde se va a sembrar, así como consume menos energía, ayuda a conservar el suelo y agua.

Cadena, *et al.* (2002), menciona que las tasas de cobertura de la superficie del suelo de 75% y 100% no tienen diferencia significativa en relación a la cantidad de humedad que el perfil del suelo puede almacenar bajo las mismas a lo largo de la estación de crecimiento, y en algunos periodos, ambas tasas de cobertura no tienen diferencia significativa con la de 50% de cobertura. Para las condiciones semiáridas del estado de Coahuila, una buena decisión para la conservación de humedad sería utilizar un sistema de labranza vertical y dejando entre el 50% y 75% de mantillo o cobertura vegetal sobre el terreno.

## **2.5 Definición de las zonas áridas y semiáridas**

Se entiende por zonas áridas aquellas áreas cuya precipitación es menor a 500 mm anuales, que presentan una distribución de lluvias muy irregular durante el ciclo vegetativo, que 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)

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

Mientras que la 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.

### **2.5.1 Distribución de las zonas áridas y semiáridas en México**

La extensión territorial de México, es de 1, 964,375 Km<sup>2</sup> de los cuales 1, 959,248 Km<sup>2</sup> son superficie continental y 5,127 Km<sup>2</sup> corresponden a superficie insular (INEGI, 2002).

En México, existen 1, 097,178.88 Km<sup>2</sup> cubiertos por zonas áridas y 599,529.89 Km<sup>2</sup> zonas semiáridas, que sumadas equivalen a aproximadamente el 53.49% de la superficie total del país y están divididas en siete 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 y semiáridas, además, el 13.4 por ciento son áreas semihúmedas y húmedas (figura 2.5)

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 en los cambios del manejo de dichas áreas lo cual tiene un efecto directo en el microclima de estas regiones (Estrada-Berg et al 1999)



Figura 2.5 Distribución de las zonas áridas y semiáridas en México (López, 2000)

## 2. 6 Componentes del balance de energía

Toda la energía recibida en la superficie de la tierra se origina del sol, excepto otra poca 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 acabo ciertos procesos muy importantes como la evapotranspiración (Bastiaanssen *et al.*, 1998; Elizondo y Contreras, 1996; Pereira *et al.*, 1996). Como se mencionó anteriormente, la ecuación que describe el balance de energía sobre una superficie vegetal es (Bastiaanssen *et al.* 1998):

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

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:  $\alpha$  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,  $\epsilon_s$  es la emisividad de la superficie,  $\sigma$  es la constante de Stefan-

Boltzman ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ) 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.

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 (bióxido de carbono y evapotranspiración)**

### **2.7.1 Métodos micrometeorológicos**

#### **A. Método relación Bowen**

Es uno de los métodos más sencillos y prácticos para la estimación del flujo de vapor de la superficie a la atmósfera y el  $\text{CO}_2$ . Este método ha sido empleado por muchos investigadores (Tanner, 1960; Verma y Rosenberg, 1975; Hartman y Gay, 1981) para medir el flujo de calor y vapor de agua en diferentes cultivos y superficies vegetales. Partiendo de la ecuación del balance de energía, y definiendo B como la relación entre el flujo de calor sensible y el flujo de calor latente (BH/LE), podemos obtener:

$$B = \frac{H}{LE} \quad (3)$$

Partiendo de la ecuación del balance de energía, y definiendo B como la relación entre el flujo de calor sensible y el flujo de calor latente ( $B = H/LE$ ), podemos obtener:

$$LE = -\frac{(Rn - G)}{1 + \beta} \quad (4)$$

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.

Conocidos LE y B, el flujo de calor sensible (H) se obtiene con:

$$H = B * LE \quad (5)$$

Los flujos de calor sensible, calor latente, bióxido de carbono y momento se pueden expresar como:

$$H = \rho C_p K_h \frac{\partial \bar{T}}{\partial Z} \quad (6)$$

$$LE = \lambda \rho K_w \frac{\partial \bar{q}}{\partial Z} \quad (7)$$

$$F_{CO_2} = k_{CO_2} \frac{\partial \bar{\rho}_{CO_2}}{\partial Z} \quad (8)$$

$$\lambda = \rho K_m \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \quad (9)$$

Donde  $K_h$ ,  $K_w$ ,  $K_{CO_2}$ ,  $K_m$  son los coeficientes de difusividad turbulenta a (eddy diffusivities) para calor sensible, calor latente, flujo de  $CO_2$  y flujo de momento,  $\partial T / \partial Z$ ,  $\partial q / \partial Z$ ,  $\partial CO_2 / \partial Z$  y  $\partial U / \partial Z$  son los gradientes verticales promedio de temperatura del aire, humedad específica concentración de bióxido de carbono y velocidad horizontal del viento,  $\rho$  y  $C_p$  son la densidad y capacidad calorífica del aire respectivamente y  $\lambda$  es el calor de vaporización del agua.

Los gradientes verticales promedio de temperatura y humedad específica se pueden aproximar con las diferencias verticales promedio, de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial Z} \approx \frac{\Delta \bar{T}}{\Delta Z}; \dots \dots \dots y \dots \dots \dots \frac{\partial \bar{q}}{\partial Z} \approx \frac{\Delta \bar{q}}{\Delta Z} \quad (10)$$

Con la consideración anterior, la relación Bowen se puede escribir de la siguiente forma.

$$B = \frac{H}{LE} = \frac{\rho C_p K_h \frac{\Delta \bar{T}}{\Delta Z}}{\lambda \rho K_w \frac{\Delta \bar{q}}{\Delta Z}} \quad (11)$$

Asumiendo que  $K_h = K_w$  (teoría de la similaridad) y definiendo  $\gamma = C_p / \lambda$  tendremos:

$$B = \gamma \frac{\Delta \bar{T}}{\Delta \bar{q}} \quad (12)$$

Con las mediciones de los gradientes verticales de la velocidad promedio del viento, temperatura del aire, humedad específica y concentración de  $CO_2$  y utilizando las ecuaciones 6, 7 y 8, se pueden obtener los flujos de calor sensible, calor latente y bióxido.

Las mediciones requeridas por este método son Radiación neta sobre el dosel del cultivo, flujo de calor en la superficie del suelo, temperatura del aire y humedad específica a dos elevaciones sobre el dosel del cultivo. La primera a una altura de por lo menos igual a la altura promedio de las plantas, y la segunda a un metro por encima de la primera medición.

Las principales ventajas de este método son: Es muy robusto a las condiciones atmosféricas adversas, no requiere asistencia continua y puede operar por periodos prolongados de tiempo. Algunas de sus desventajas son: Muy sensible a los errores en las mediciones de radiación neta y flujo de calor en el suelo, En ecosistemas muy secos donde los gradientes verticales de humedad específica son muy pequeños, las mediciones son muy difíciles de realizar. Cuando el resultado de la relación Bowen tiende a un valor de menos uno, el método es inestable (Zermeño, 2001)

## **B. Método de la Covarianza Eddy**

Este método será descrito en el apartado 2.8 ya que es la metodología utilizada para realizar el proyecto de investigación.

## **C. Método aerodinámico**

En este método el coeficiente de difusividad turbulenta se deriva a partir de la ecuación de flujo de momento y la relación de perfil del viento sobre el dosel:

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} = \frac{u_*}{Kz} \phi_m \quad (13)$$

Donde,  $u_*$  es la velocidad de fricción =  $(\tau / \rho)^{1/2}$ , K es la constante de Karman ( $\approx 0.40$ ) y  $\phi_m$  es la función adimensional del esfuerzo cortante del viento (función de estabilidad diabática)

Sustituyendo la ecuación 9 en la ecuación 13 obtenemos:

$$K_m = k^2 z^2 \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \phi_m^{-2} \quad (14)$$

Los flujos de calor sensible (H), calor latente (LE) y bióxido de carbono ( $F_{CO_2}$ )

$$H = \rho C_p K_h \frac{\partial \bar{T}}{\partial Z} \quad (15)$$

$$LE = \lambda \rho K_w \frac{\partial \bar{q}}{\partial Z} \quad (16)$$

$$F_{CO_2} = k_{CO_2} \frac{\partial \bar{\rho}_{CO_2}}{\partial Z} \quad (17)$$

Sustituyendo la ecuación 14 en las ecuaciones 15, 16 y 17, podemos obtener las ecuaciones para el flujo de calor sensible, calor latente y bióxido de carbono:

$$H = \rho C_p k^2 z^2 \left( \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \right) \left( \frac{\partial \bar{T}}{\partial Z} \right) \quad (18)$$

$$LE = \lambda \rho k^2 z^2 \left( \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \right) \left( \frac{\partial \bar{q}}{\partial Z} \right) (\phi_m^{-2}) \left( \frac{K_w}{K_m} \right) \quad (19)$$

$$F_{CO_2} = k^2 z^2 \left( \frac{\partial \bar{U}}{\partial Z} \right) \left( \frac{\partial \bar{\rho}_{CO_2}}{\partial Z} \right) (\phi_m^{-2}) \left( \frac{K_{CO_2}}{K_m} \right) \quad (20)$$

Para superficies aerodinámicas rugosas, se debe usar z-d en lugar de z en las ecuaciones 18 - 20, donde d es el desplazamiento del plano cero.  $\phi_m$  y las

relaciones  $K_h/K_m$ ,  $K_w/K_m$ ,  $K_{CO_2}/K_m$  son función de la estabilidad térmica de la atmósfera, la cual se puede expresar en función del número de Richardson, Ri:

$$Ri = \frac{g \left( \frac{\partial \bar{T}_v}{\partial z} \right)}{\bar{T}_v \left( \frac{\partial \bar{U}}{\partial z} \right)^2} \quad (21)$$

Donde  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $T_v$  es la temperatura virtual potencial. Se han desarrollado varias relaciones empíricas para estimar el valor de  $\phi_m$  y las relaciones de  $K_h/K_m$ ,  $K_w/K_m$  y  $K_{CO_2}/K_m$  en función de las diferentes condiciones de estabilidad atmosférica. Las relaciones propuestas por Dyer y Hicks (1970) y Webb (1970) se presentan a continuación.

$$\phi_m = (1 - 16Ri)^{-0.25} \text{ para condiciones de atmósfera inestable (Ri < 0)} \quad (22)$$

$$\phi_m = (1 - 5.2Ri)^{-1} \text{ para condiciones de atmósfera estable (Ri > 0)} \quad (23)$$

$$\frac{K_h}{K_m} = \frac{K_w}{K_m} = \frac{K_{CO_2}}{K_m} = (1 - 16Ri)^{-0.25} \text{ Para condiciones inestables} \quad (24)$$

$$\frac{K_h}{K_m} = \frac{K_w}{K_m} = \frac{K_{CO_2}}{K_m} = 1 \text{ para condiciones estables} \quad (25)$$

Con las mediciones de los gradientes verticales de la velocidad promedio del viento, temperatura del aire, humedad específica y concentración de  $CO_2$  y utilizando las ecuaciones 7, 8 y 9, se pueden obtener los flujos de calor sensible, calor latente y bióxido de carbono.

## 2.8 Método de la covarianza eddy

El método de correlación de Eddy propuesto por Swinbank (1951) es el método más directo para medir los flujos superficiales (Prueger et al., 1998; Jones 1992; Kizer y Elliott, 1991; Itier y Brunet, 1996; Zermeño, 2001; Zermeño, 2006). Este método consiste en expresar el flujo vertical de una entidad transportada en un determinado punto con una covarianza entre las fluctuaciones de la concentración de está entidad con las fluctuaciones de la velocidad vertical del viento (Zermeño, 2001; Itier y Brunet, 1996).

El principio del método de la correlación de Eddy es detectar las contribuciones de todos los movimientos turbulentos responsables para el transporte vertical de los flujos (Itier y Brunet, 1996). Esto requiere mediciones de flujos a una tasa suficientemente alta (típicamente 10 - 20 Hz) y promediando las covarianzas a un periodo suficiente, típicamente de 15 a 30 minutos (Itier y Brunet, 1996). En principio, el método de correlación de 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 bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

A diferencia del método aerodinámico y el de la relación Bowen, la correlación eddy es un método directo para medir los flujos superficiales, sin la necesidad de asumir coeficientes de difusividad, relaciones de similitud, ni condiciones de estabilidad atmosférica (Kanemasu *et al.* 1979). En este método, el flujo vertical de una entidad transportada en un determinado punto se obtiene correlacionando las fluctuaciones de la concentración de esa entidad con las fluctuaciones en la velocidad vertical del viento. Por ejemplo, los flujos de calor sensible (H), calor Latente (LE) y bióxido de carbono (Fco<sub>2</sub>) sobre una superficie vegetal horizontal están dados por:

$$H = \rho C_p \overline{w'T'} \quad (26)$$

$$LE = \lambda \overline{\rho w' q'} \quad (27)$$

$$F_{CO_2} = \overline{w' \rho_{CO_2} c_{p,CO_2} T'} \quad (28)$$

Donde  $w'$  es la velocidad vertical instantánea del viento (m/s),  $T'$  es la temperatura instantánea del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\rho_a$  es la densidad del aire ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ),  $C_p$  es la capacidad calorífica del aire ( $\text{JKg}^{-1}\text{C}^{-1}$ ),  $\lambda$  es el calor de vaporización del agua,  $\rho_{CO_2}$  es la concentración del  $\text{CO}_2$ . Las barras horizontales superiores indican un promedio en un intervalo de tiempo y las primas denominan desviaciones de la media.

Las principales ventajas de este método son: Mide directamente el flujo de calor, vapor de agua y bióxido de carbono, no se asumen valores de coeficientes, las mediciones son independientes, permite evaluar la precisión del balance de energía ( $R_n = H + LE + G$ ), es considerado el método mas preciso para medir flujos superficiales (Zermeño, 2001; Prueger *et al.* 1998)). Algunas de las principales desventajas de este método son: es un equipo costoso, el equipo es delicado y sensible, requiere atención continua (Zermeño, 2001; Kizer y Elliott, 1991)

La técnica de correlación de Eddy requiere un fetch adecuado para una superficie homogénea para que la capa frontera interna de la vegetación esté 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 está dado por:

$$CR = \left[ \frac{LE + H}{Rn - G} \right] \quad (29)$$

Idealmente, CR debe tener el valor igual a uno (Kizery Elliott, 1991)

La instrumentación utilizada en el método de la correlación eddy se realizan en condiciones de cielo abierto, dado que los remolinos cerca de la superficie son muy pequeños y rápidos, las mediciones se deben hacer a una frecuencia alta para obtener promedios de 15 a 30 minutos (Itier y Brunet, 1996; Zermeño, 2001). El componente instantáneo vertical del viento ( $w'$ ) se mide con un anemómetro sónico unidimensional ó tridimensional; la temperatura instantánea del aire ( $T'$ ) se mide con este mismo instrumento y la humedad del suelo con platos para medir humedad del suelo (Zermeño, 2001) y el flujo de  $CO_2$  se mide con un Open Path  $CO_2$  Analyzer (Campbell Scientific Inc., modelo CS7500) a una frecuencia de 20 Hz para obtener promedios de 20 minutos (Zermeño y Jiyane, 2003; Munguia *et al.* 2004)

### **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, E. (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 Dasyliirion 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).

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 <sup>-3</sup> )	930		Barrena de Núcleos
Carbonatos totales (%)	37.28	37.77	Volumetría de neutralización
Reacción al HCl (10% en H <sub>2</sub> O)			Prueba cualitativa rápida (INIFAP-ORSTOM, 1997)
	Media	Media	

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

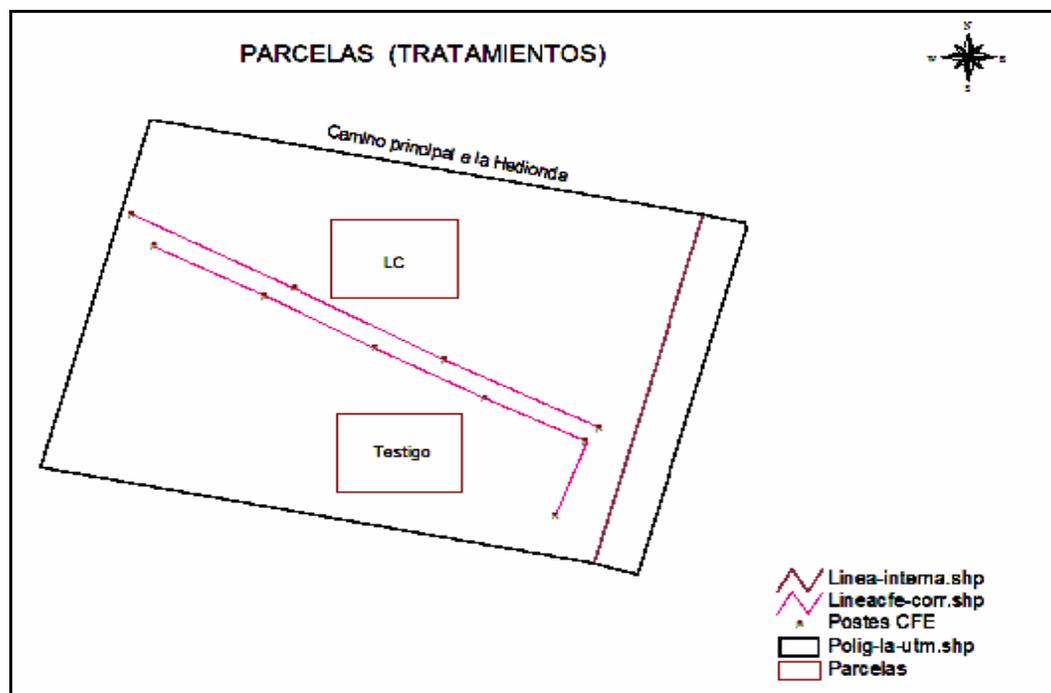


Figura 3.1. Representación esquemática del sitio de estudio y ubicación de las parcelas experimentales.

### 3.3 Descripción de las superficies evaluadas

Para evaluar el efecto de la labranza convencional en la 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 norte del potrero, se le aplicó la labranza convencional, que consistió en barbecho profundo con arado de disco a una profundidad promedio de 25 cm, utilizando un tractor John Deree, modelo 3200 de 84 HP y un arado de 3 discos (Figura 3.2). La labranza se realizó el 28 de noviembre de 2006 (día del año 332)



Figura 3.2 Aplicación de la labranza convencional (arado de discos) 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 ( $\lambda E$ ), calor en la superficie del suelo (G), radiación neta (Rn) 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 sensor 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 pluviógrafo electrónico para medir los eventos de lluvia (modelo TE525, Texas Instruments, Inc.), dos registradores electrónicos 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  $FCO_2$ , en cada una de las parcelas (testigo y labranza convencional), se instaló el sistema eddy con todos sus componentes (Figuras 3.3 y 3.4) en el extremo sur de las parcelas al punto medio de la dirección este-oeste. El anemómetro sónico tridimensional se orientó hacia el norte, de tal forma que únicamente los datos con una dirección del viento menor de  $100^\circ$  y mayor de  $260^\circ$  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  $CO_2/H_2O$ ) y el sensor para medir temperatura del aire y humedad relativa (Vaisala), 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 instaló 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 convencional el sistema se instaló el 28 de noviembre de 2006 (día 332) y estuvo tomado datos hasta el 18 de diciembre de 2006 (día 352), abarcando un periodo de 20 días.



Figura 3.3 Sistema eddy en la parcela testigo (sin movimiento de suelo) para medir los flujos de calor latente ( $\lambda E$ ) y flujo de  $CO_2$  entre la superficie y la atmósfera circundante.

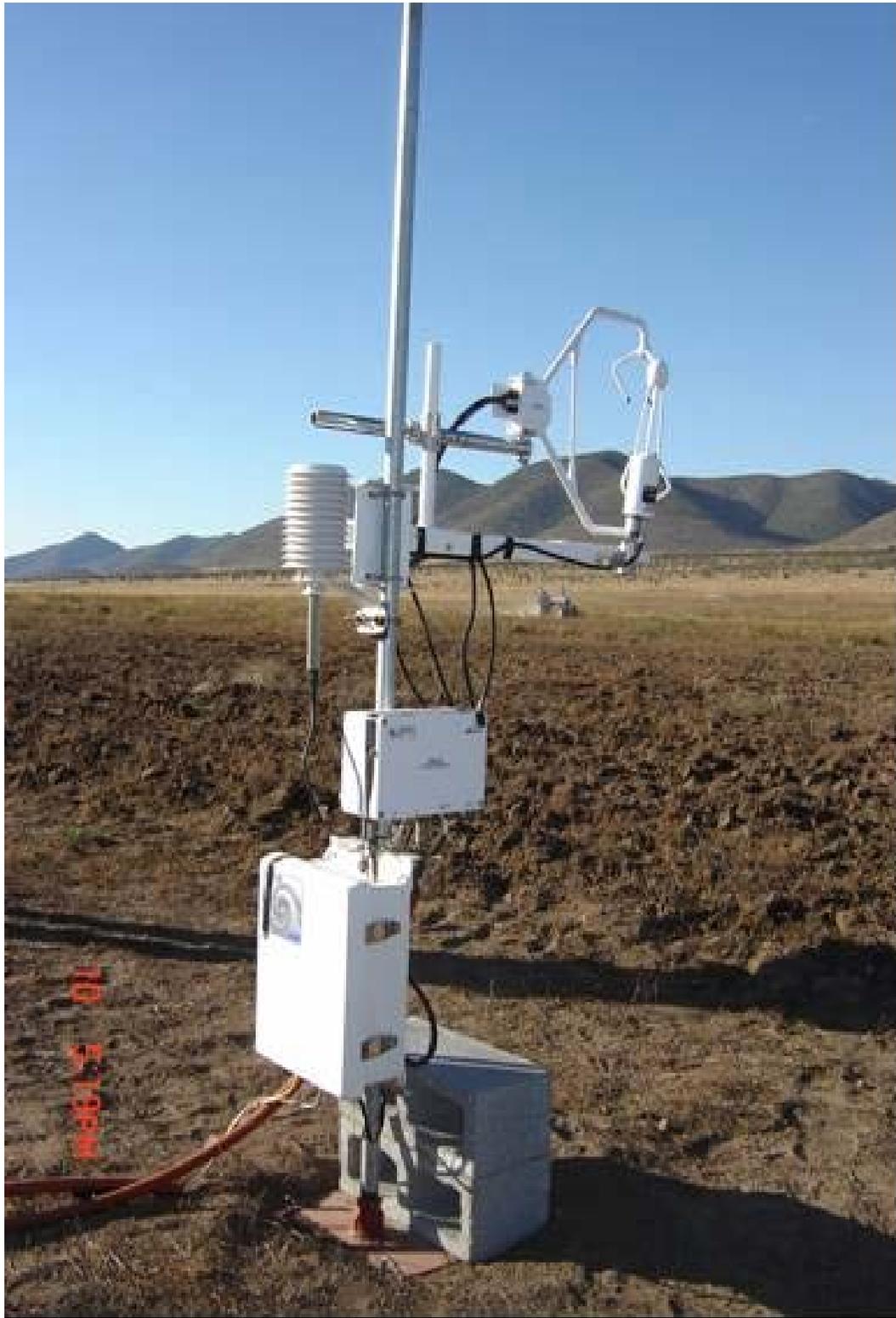


Figura 3.4 Sistema eddy en la parcela con labranza convencional para medir los flujos de calor latente ( $\lambda E$ ) y flujo de  $CO_2$  entre la superficie y la atmósfera circundante.

Las ecuaciones que describen el flujo de calor sensible (H), latente ( $\lambda E$ ) y flujo de bióxido de carbono ( $FCO_2$ ) (Ham y Heilman, 2003), del método de la covarianza eddy sus ecuaciones 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:  $\rho_a$  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),  $\lambda$  es el calor de vaporización del agua ( $J\ kg^{-1}$ ),  $\rho_{CO_2}$  es la densidad del bióxido de carbono ( $\mu mol\ CO_2\ m^{-3}$ ),  $\rho_{wv}$  es la densidad del vapor de agua ( $kg\ m^{-3}$ ). El producto  $w'T_s'$ ,  $w'\rho_{wv}'$  y  $\rho_{CO_2}$  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  $w$ ,  $T_s$ ,  $\rho_{wv}$  y  $\rho_{CO_2}$  fue de 10 Hz,  $w$  y  $T_s$  se obtuvieron con el 3-D sonic,  $\rho_{wv}$  y  $\rho_{CO_2}$  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 de energía.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 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 *Dasyllirion* con pastos amacollados. Esta vegetación estuvo asimilando bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) durante el día y liberando durante la noche. En la Figura 4.1 se muestra que el día 294 del año, la superficie estuvo asimilando  $\text{CO}_2$  de las 10:20 a las 18:00 horas, con un valor de aproximadamente  $-1.78 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y un flujo total integrado  $-50.01 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ . La máxima tasa de asimilación ocurrió de las 10:20 a las 13:00 horas, con un valor promedio de alrededor de  $-2.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . De las 18:20 a las 22:00 horas, la superficie estuvo liberando bióxido de carbono a la atmósfera, con una tasa promedio aproximadamente  $1.71 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y un flujo integrado de  $22.11 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ . La máxima liberación ( $2.82 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) se observó a las 19:20 hr.

En el día 294 se tuvieron condiciones de cielo despejado, ya que la curva de radiación neta ( $R_n$ ) muestra una campana bien definida (Figura 4.2), La  $R_n$  integrada de las 10:20 a las 18:00 hr fue de  $11.48 \text{ MJ m}^{-2}$  e indujo un flujo de calor latente integrado de  $4.02 \text{ MJ m}^{-2}$ , equivalente a una lamina evapotranspirada de la superficie de 1.7 mm.

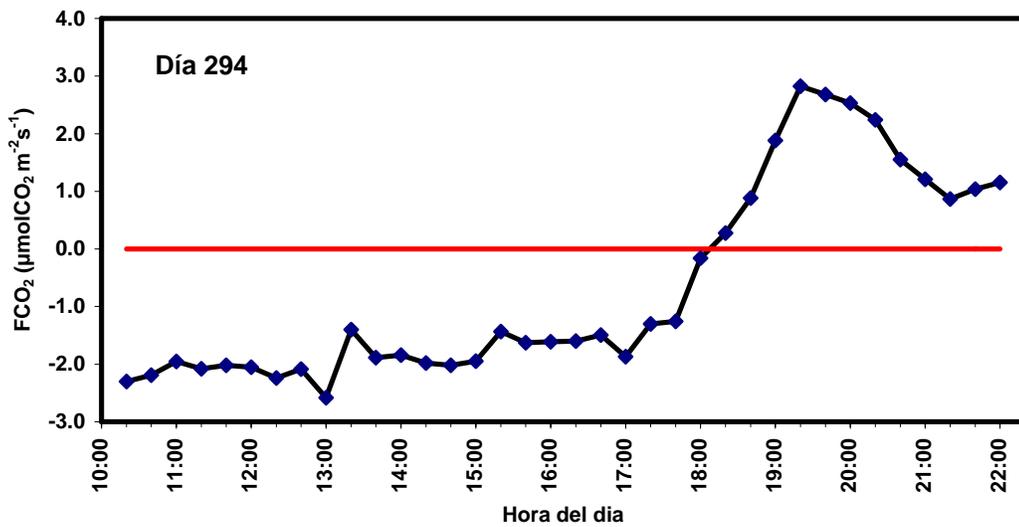


Figura 4.1 Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observado el día 294 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

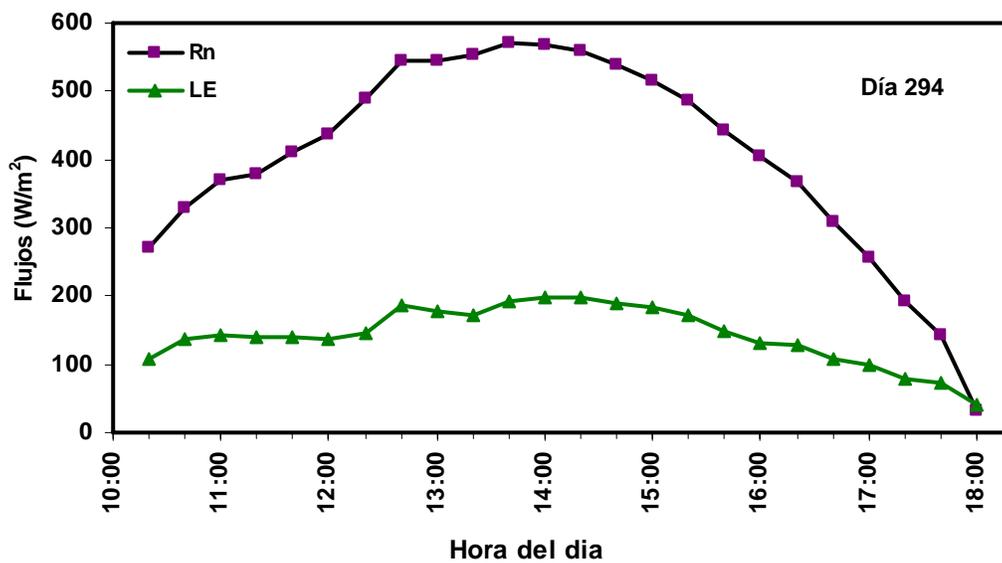


Figura 4.2 Flujo de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observados el día 294 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

Del día 296 al 297 del año, se tuvieron buenas condiciones de dirección del viento de las 9:00 a las 14:00 hr del día siguiente, de tal forma que se pudo evaluar la dinámica del flujo de bióxido de carbono entre la superficie y la atmósfera durante el día y la noche (Figura 4.3). Para el día 296 de las 9:40 a las 18:00 horas, la superficie estuvo asimilando bióxido de carbono, con un valor promedio de aproximadamente  $-2. \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y un flujo total integrado de  $-61.49 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ . De las 18:20 a las 9:00 horas, la superficie liberó bióxido de carbono, con un valor promedio de aproximadamente de  $1.5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y un flujo integrado de  $77.71 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ . Para el día 297 del año, la superficie estuvo asimilando bióxido de carbono de las 9:40 a las 14:00 horas, con un valor promedio de aproximadamente  $-2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y un flujo integrado de  $-32.93 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ . Para el día 296 la máxima tasa de asimilación ocurrió de las 10:20 a las 14:40 horas con un valor promedio  $-2.86 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . La máxima tasa de liberación ocurrió de las 19:00 a las 22:20 horas con un valor promedio de  $2.28 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Para todo el periodo de tiempo considerado, la superficie tuvo una asimilación neta de  $-16.71 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ , esto puede sugerir que es preferible tener una cobertura vegetal silvestre, que condiciones de suelo desnudo para la asimilación de bióxido de carbono atmosférico.

En el día 296 se tuvieron condiciones de cielo parcialmente nublado de las 9:40 a las 18:00 hr (Figura 4.4); la  $R_n$  integrada en este periodo de tiempo fue de  $4.25 \text{ MJ m}^{-2}$  y el flujo de calor latente integrado (LE) de  $2.08 \text{ MJ m}^{-2}$ , que corresponde a una lamina evapotranspirada de  $0.85 \text{ mm}$

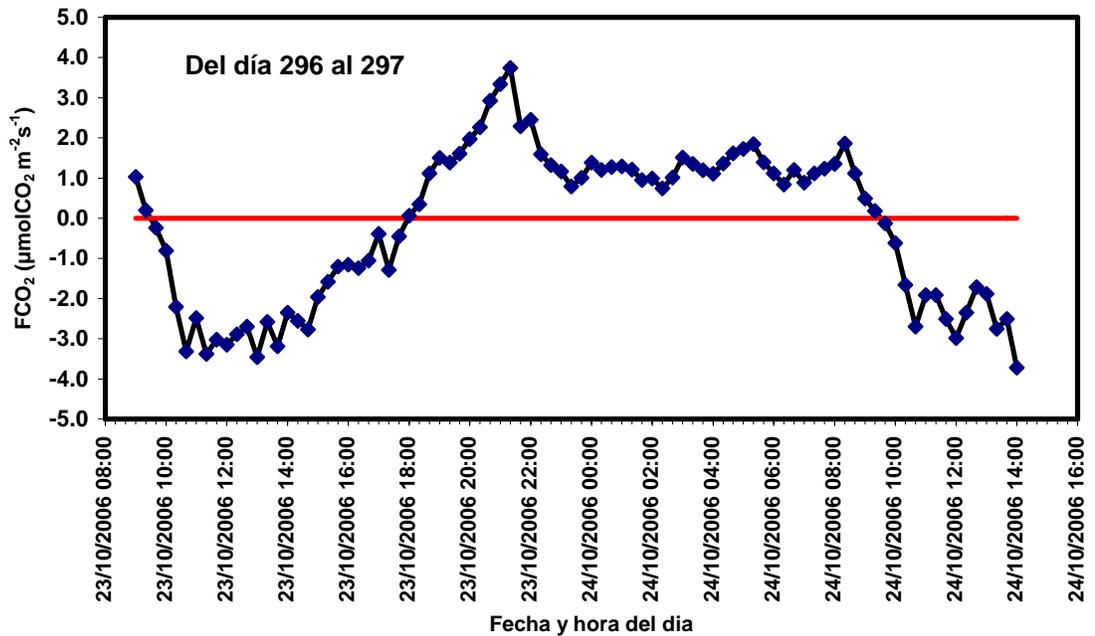


Figura 4.3 Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observado del día 296 al 297 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

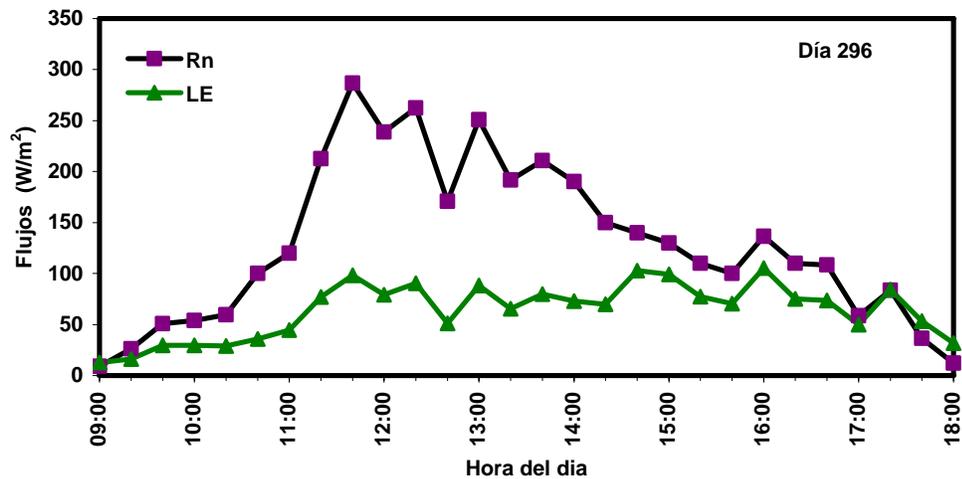


Figura 4.4 Flujo de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) en la superficie sin disturbar (testigo) a diferentes horas del día, observados el día 296 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

Del día 300 a las 9:00 hr al día 301 a las 2:00 hr, se volvieron a tener condiciones favorables de dirección del viento, y se pudo evaluar la dinámica del flujo de bióxido de carbono entre la superficie y la atmósfera durante el día y la noche (Figura 4.5). La superficie estuvo asimilando bióxido de carbono de las 9:00 a las 18:00 horas, con un valor promedio de  $-2.18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y un flujo total integrado  $-72.08 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ . La máxima tasa de asimilación ocurrió de las 10:00 a las 12:40 hr, con un valor promedio de  $-2.82 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . De las 19:00 a las 2:00 horas, la superficie estuvo liberando bióxido de carbono a la atmósfera, con un valor promedio de aproximadamente  $0.70 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y un flujo total integrado de  $18.09 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ .

El día 300, también se tuvieron condiciones de cielo despejado de las 9:00 a las 18:00 hr (Figura 4.6). El flujo integrado de  $R_n$  fue de  $12.29 \text{ MJ m}^{-2}$  y el de calor latente de  $4.31 \text{ MJ m}^{-2}$ , que correspondió a una lamina de agua evapotranspirada de 1.77 mm.

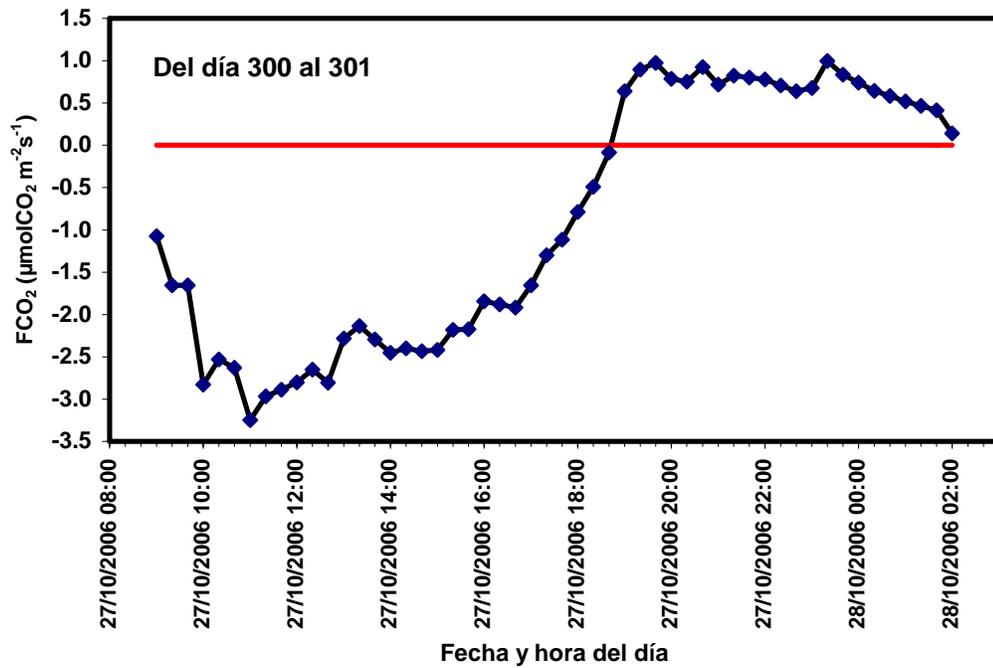


Figura 4.5 Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) en la superficie sin disturbar (con vegetación) a diferentes horas del día, observado del día 300 al 301 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

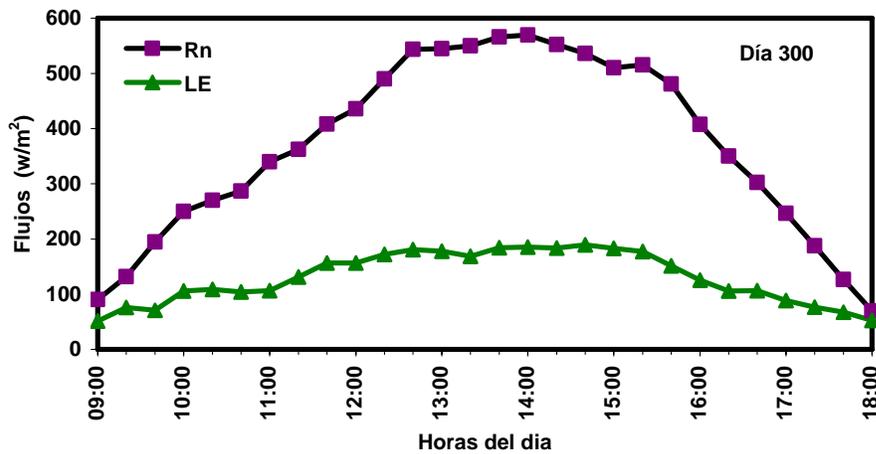


Figura 4.6 Flujo de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) en la superficie sin disturbar (con vegetación) a diferentes horas del día, observados el día 300 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

## **4.2 Flujo de bióxido de carbono y vapor de agua en la superficie con labranza convencional**

La labranza convencional (arado de discos) se realizó el día 332 de las 11 a las 16 hr. Debido al efecto de aireación del perfil superior del suelo por efecto de la labranza (Al-Kaisi y Yin, 2005; Morris et al., 2004; Reicosky et al., 2005), la actividad de los microorganismos aeróbicos del suelo aumento, y la tasa de asimilación de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), mostró una tendencia ligeramente creciente de las 18:40 a las 21:20, que después decreció y a partir de las 22:00 hr la superficie mantuvo una pequeña tasa de liberación de  $\text{CO}_2$ . (Figura 4.7). Six et al. (2006) reportó que la proporción del sustrato de carbono retenido como biomasa, comparada con la proporción respirada como bióxido de carbono depende de la eficiencia del crecimiento microbiano, es decir cuando es mayor la respiración microbiana (bacterias y hongos) se libera bióxido de carbono y viceversa, cuando es mayor la retención del sustrato de carbono se asimila bióxido de carbono, estos dos procesos son afectados por la disturbancia del suelo, el microclima, el tipo y contenido de arcilla, tamaño y distribución de poros y la dinámica de agregados.

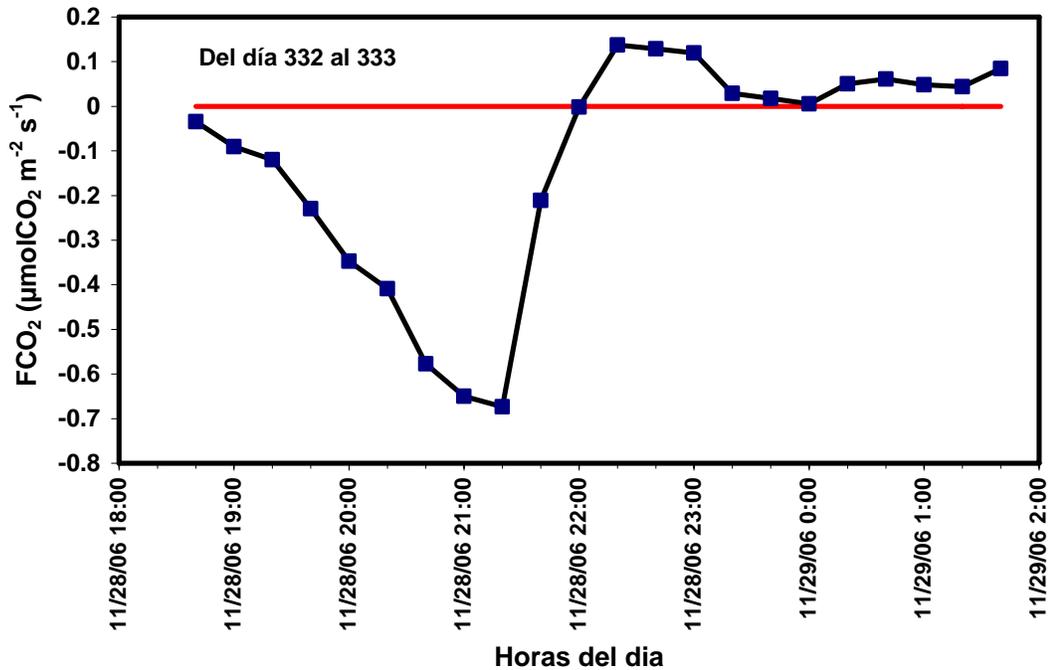


Figura 4.7 Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) sobre la superficie con labranza convencional, observados del día 332 al 333, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

Del día 333 a las 18:20 al día 335 a las 4:40 (del segundo al cuarto día después de la labranza) se tuvieron vientos con dentro del rango de aceptación y se pudo evaluar la dinámica del flujo de CO<sub>2</sub> entre la superficie y la atmósfera durante el día y la noche (Figura 4.8). Debido a la remoción de la vegetación por la labranza, la tasa de respiración nocturna disminuyó. También se observó que debido a una menor temperatura de la superficie y del perfil superior del suelo durante la noche, la respiración y la actividad aeróbica de los microorganismos del suelo fue pequeña y la tasa de flujo de CO<sub>2</sub> entre la superficie y la atmósfera fue baja. En la Figura 4.8 se observa que durante la noche la tasa de flujo de CO<sub>2</sub> es muy pequeña, comparada con las tasas nocturnas de flujo que se observaron con presencia de vegetación (Figura 4.3). Durante el día, la temperatura de la superficie y del perfil superior del suelo se incrementa y la tasa de respiración de los microorganismos del suelo aumenta.

El día 334 de las 9:00 a las 18:00 hr la superficie estuvo liberando CO<sub>2</sub>, con una tasa de liberación máxima de alrededor de 2.0  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  a aproximadamente las 11:00 hr; el flujo total integrado en el periodo de tiempo mencionado fue de 27.29  $\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$  (Figura 4.3).

En el día 334 se presento poca nubosidad y el flujo de radiación neta integrado de las 9:00 a las 18:00 hr fue de 7.05  $\text{MJ m}^{-2}$  (Figura 4.9). Debido a la ausencia de vegetación, la evaporación de la superficie se redujo, ya que el flujo de calor latente integrado para el intervalo de tiempo mencionado fue de 1.04  $\text{MJ m}^{-2}$ , que correspondió a 0.43 mm de lamina evapotranspirada. Esta lamina es 4 veces menor que la lamina evapotranspirada el día 300, cuando en la superficie se tenia la presencia de vegetación y se registro una radiación neta integrada de 4.31  $\text{MJ m}^{-2}$ .

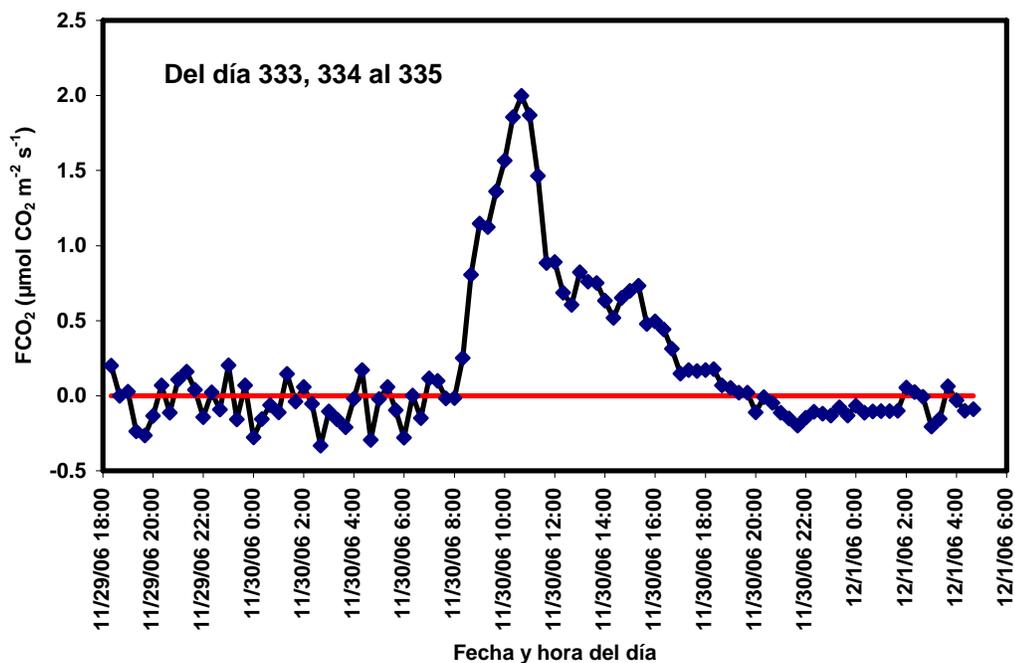


Figura 4.8 Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) sobre la superficie con labranza convencional, observados del día 333 al 335, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

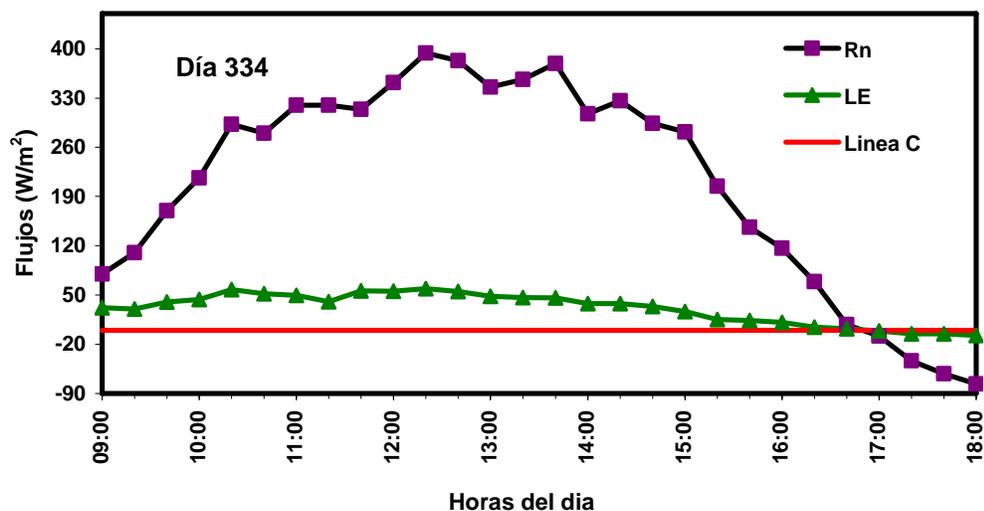


Figura 4.9 Flujo de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) en la superficie con labranza convencional a diferentes horas del día, observados el día 334 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

El día 335 del año (cuarto día después de la labranza), nuevamente se observó que durante el día la superficie libera bióxido de carbono, esto se debió a que la temperatura del perfil superior del suelo es alta y la respiración de los microorganismos del suelo se incrementó. En la Figura 4.10, se muestra que de las 9:20 a las 18:00 h, la superficie estuvo liberando bióxido de carbono, la máxima tasa de liberación ocurrió de las 10:20 a las 14:00 horas con un valor promedio de alrededor de  $2.0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . De las 18:20 a las 22:40 h, la respiración de los microorganismos del suelo fue menor debido a una disminución de la temperatura de la superficie y la tasa promedio de flujo de  $\text{CO}_2$  entre la superficie y la atmósfera fue aproximadamente cero.

El día 335 también fue parcialmente nublado (Figura 4.11). El flujo de radiación neta integrado de las 9:00 a las 18:00 h fue de  $5.69 \text{ MJ m}^{-2}$ , mientras que el de calor latente de  $0.60 \text{ MJ m}^{-2}$ , que correspondió a una lamina de agua evapotranspirada de 0.25 mm. Nótese que la evapotranspiración disminuye a medida que transcurren los días después de que se efectuó la labranza.



Figura 4.10 Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) sobre la superficie con labranza convencional, observados el día 335, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

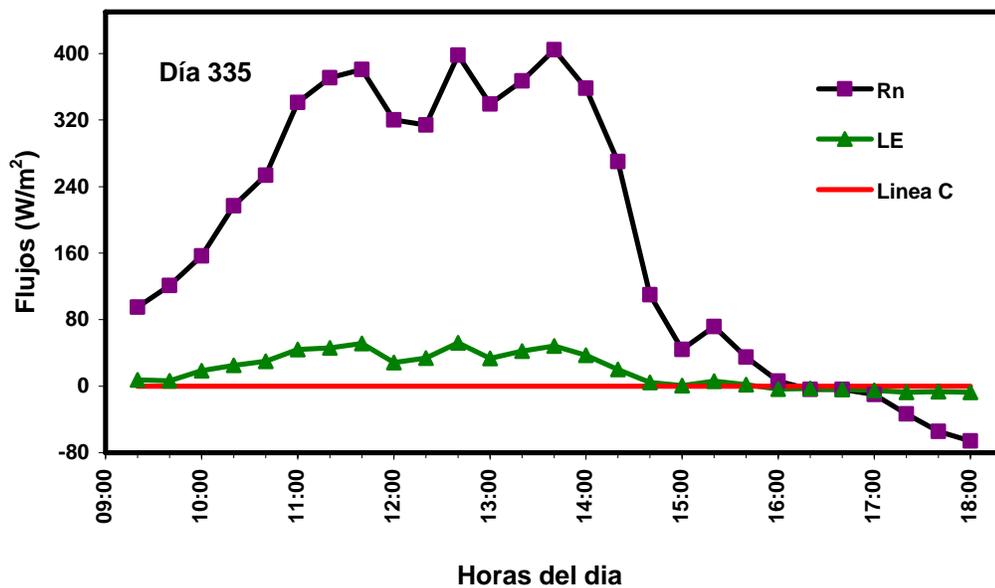


Figura 4.11 Flujo de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) en la superficie con labranza convencional a diferentes horas del día, observados el día 335 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

Del día 340 a 341 (8 días después de la labranza), nuevamente se observó que la superficie libera bióxido de carbono durante el día y que la tasa de flujo de CO<sub>2</sub> entre la superficie y la atmósfera durante la noche es muy pequeña (Figura 4.12). Esto se debió a una mayor tasa de respiración de los microorganismos del suelo durante el día que durante la noche, por un incremento en la temperatura de la superficie durante el día.

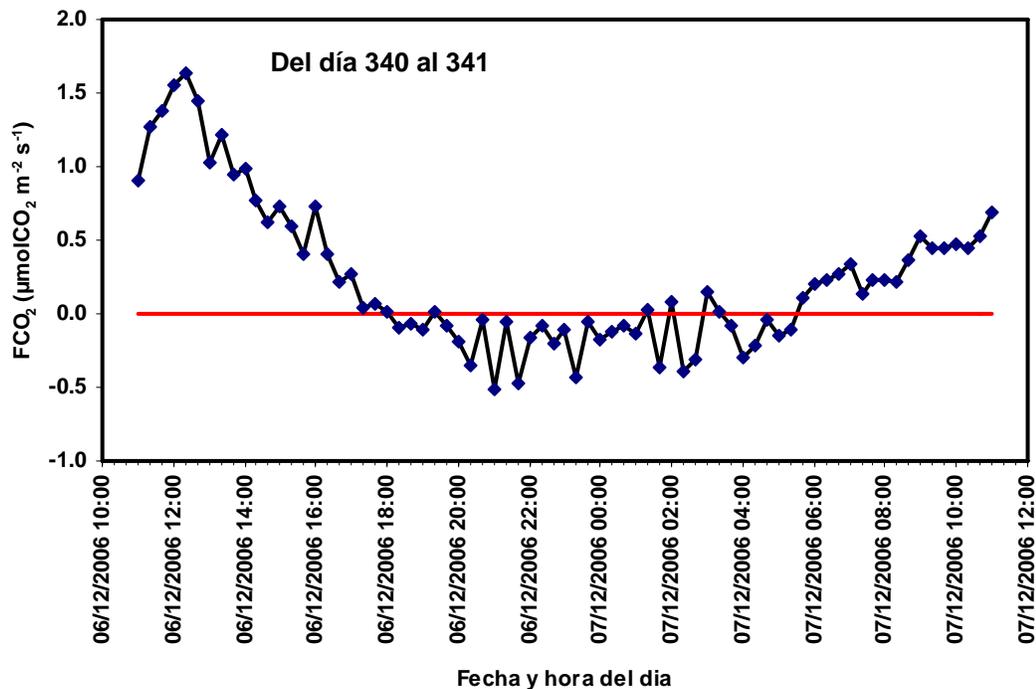


Figura 4.12 Flujo de bióxido de carbono (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) sobre la superficie con labranza convencional, observados del día 340 al 341, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

En la Figura 4.13 para el día 340 el flujo de radiación neta integrado de las 11:00 a las 17:20 h el día 340 fue de 4.79 MJ m<sup>-2</sup>, y el de calor latente de apenas 0.62 MJ m<sup>-2</sup>, que correspondió a una lamina de agua evapotranspirada de 0.25 mm.

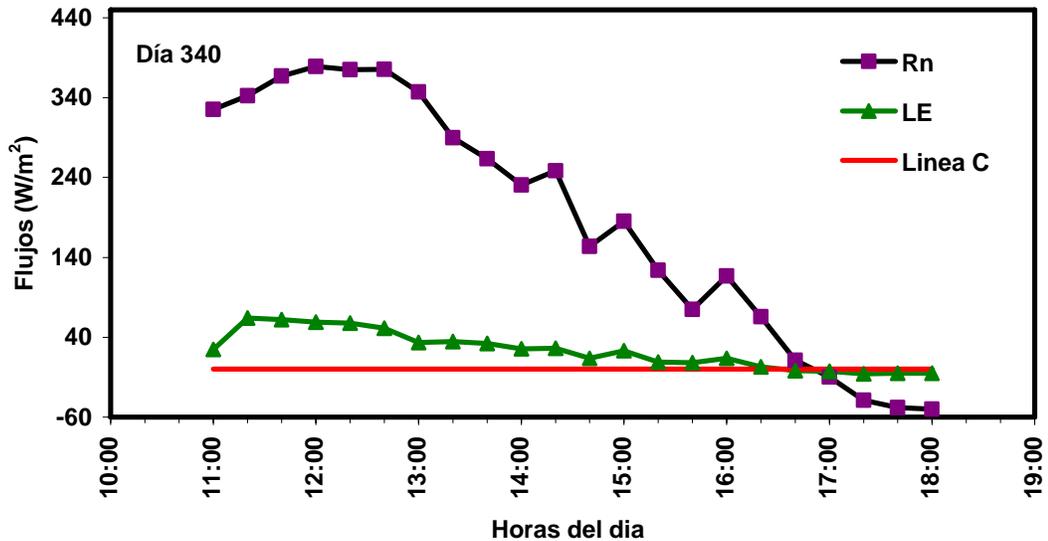


Figura 4.13 Flujo de radiación neta (Rn) y calor latente (LE) en la superficie con labranza convencional a diferentes horas del día, observados el día 340 en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

Resumiendo, los resultados anteriores indican que la superficie con la vegetación nativa asimila bióxido de carbono durante el día y libera durante la noche. Aunque no se pudieron realizar balances de 24 hr, por no tener datos continuos con la dirección del viento en el rango de aceptación, parece ser que en un balance diario, la superficie asimila más CO<sub>2</sub> durante el día que el que libera durante la noche. Después de que se aplica la labranza convencional a la superficie y se elimina la vegetación nativa existente, la superficie libera CO<sub>2</sub> durante el día; durante la noche, la respiración y la actividad aeróbica de los microorganismos del suelo se redujo debido a al decremento de la temperatura de la superficie del suelo y la tasa de flujo de CO<sub>2</sub> entre la superficie y la atmósfera fue muy pequeña.

En la Figura 4.14 se muestra que la superficie con vegetación nativa estuvo asimilando CO<sub>2</sub> durante el día en varios intervalos de tiempo los días del año 294, 296 y 300. Mientras que la superficie con vegetación liberó CO<sub>2</sub> durante el día en diferentes intervalos de tiempo los días del año 334, 335 y 340 (Figura 4.15). Esto también demuestra que la labranza convencional puede ser

una fuente de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, que puede incrementar los gases de efecto de invernadero que provocan el calentamiento global.

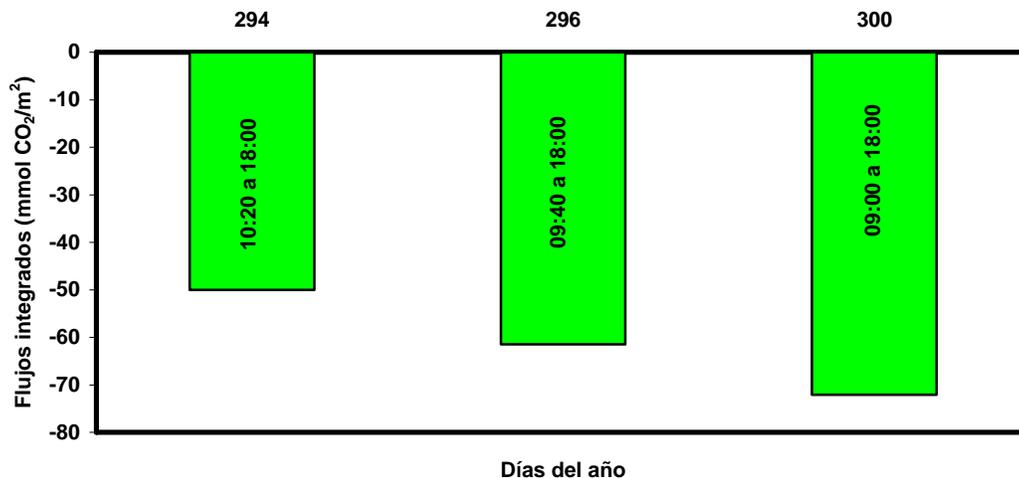


Figura 4.14 Flujos integrados de bióxido carbono (los valores negativos representan asimilación) observados en la superficie con vegetación en el Rancho los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

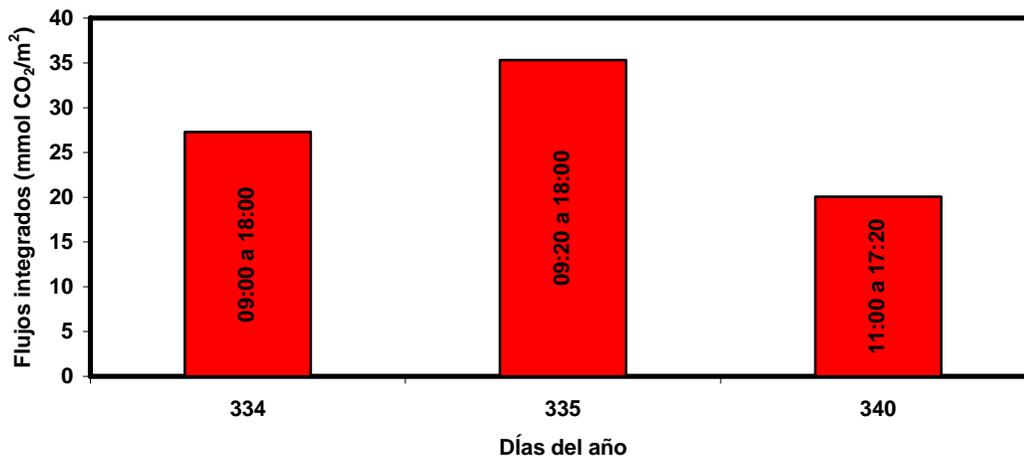


Figura 4.15 Flujos integrados de bióxido carbono (los valores positivos representan liberación) observados en la superficie con labranza convencional en el Rancho los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

### 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 convencional 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 4.16 se muestran los valores de este índice para la superficie sin labranza para tres días del año en diferentes intervalos de tiempo, mientras que en la Figura 4.17 se muestran los valores del mismo índice para la superficie con labranza convencional. Nótese que los índices de la superficie sin labranza son mucho mayores que los de la superficie con labranza convencional, 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 elimina la vegetación de la superficie con la labranza convencional, 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 4.18) que las correspondientes a la superficie con labranza convencional (Figura 4.19)

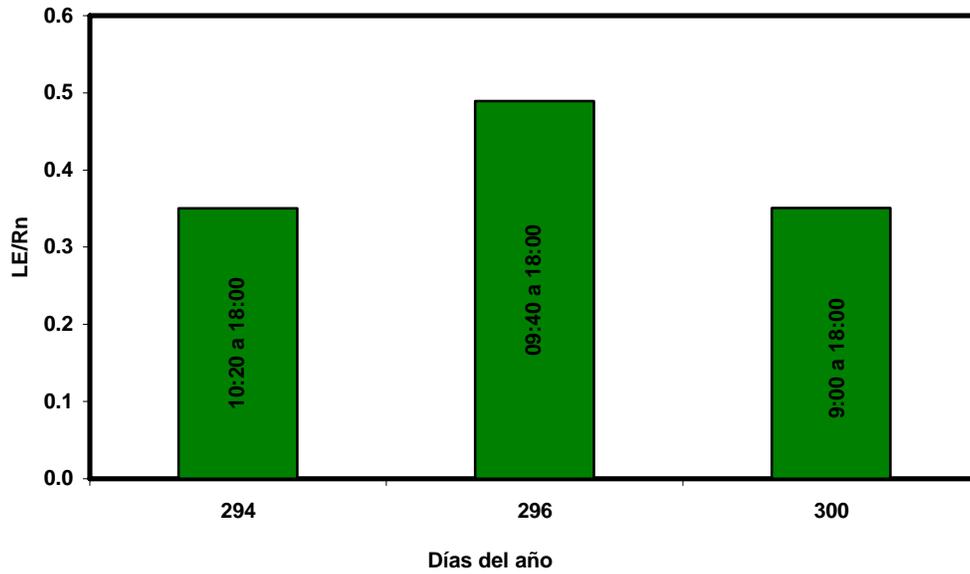


Figura 4.16 Relación entre la radiación neta y el flujo de calor latente (LE/Rn) en la superficie sin labranza y con presencia de vegetación nativa, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México

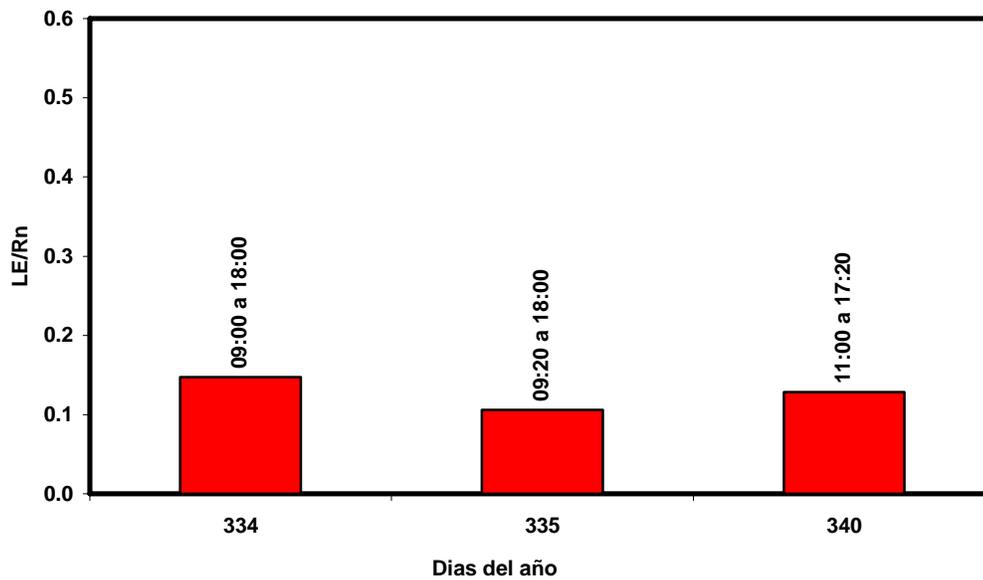


Figura 4.17. Relación entre la radiación neta y el flujo de calor latente (LE/Rn) en la superficie con labranza convencional, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México

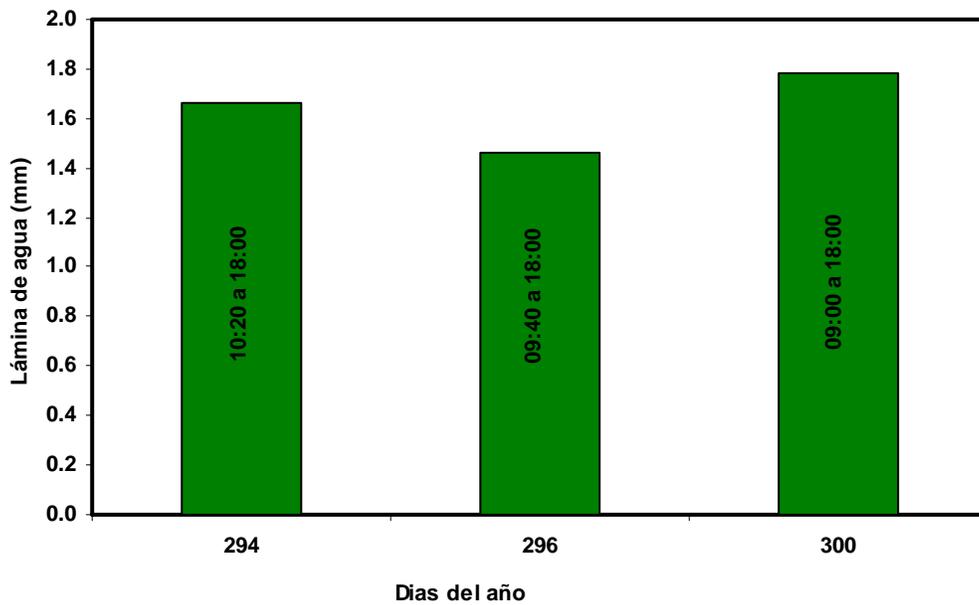


Figura 4.18 Lámina de agua evapotranspirada (ET; mm) en la superficie sin labranza y con presencia de vegetación nativa, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

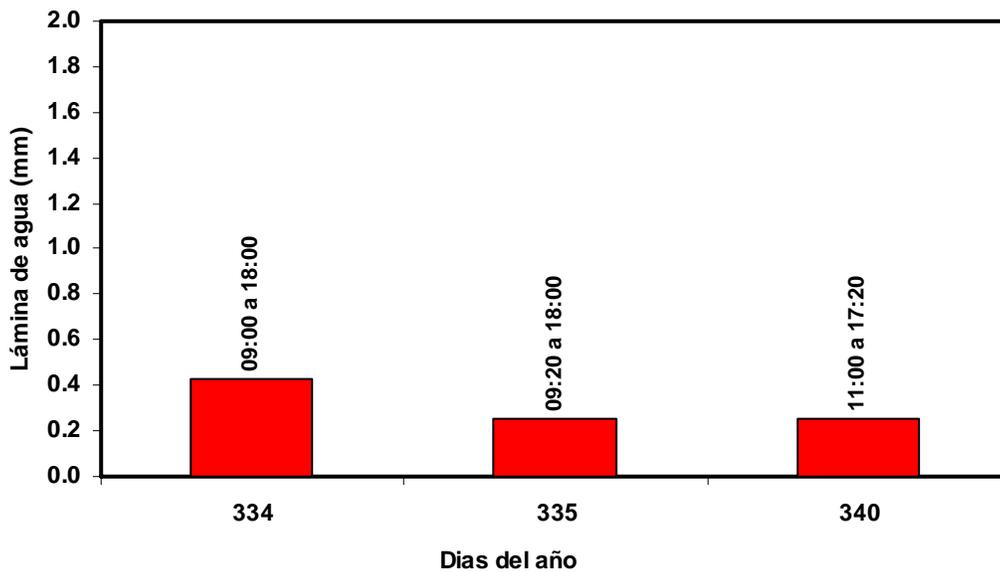


Figura 4.19 Lámina de agua evapotranspirada (ET; mm) en la superficie con labranza convencional, en el Rancho Los Ángeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México.

## **V. CONCLUSIONES**

Para las condiciones climáticas del otoño en el Noreste de México, la superficie sin labranza y con presencia de vegetación asimiló bióxido de carbono durante el día y liberó durante la noche. Aunque no se pudieron realizar suficientes balances de 24 hr por no disponer de datos continuos, ya que la dirección del viento no siempre fue en el rango de aceptación, parece ser que el balance diario corresponde a una asimilación neta de bióxido de carbono.

Después de que se realiza la labranza convencional y se elimina la vegetación nativa, la superficie liberó bióxido de carbono durante el día, debido a la respiración de los microorganismos del suelo. Durante la noche, la respiración de los microorganismos del suelo se reduce debido al decremento de la temperatura del perfil superior del suelo y la tasa de flujo de bióxido de carbono entre la superficie y la atmósfera es mucho menor que la que se observó durante el día.

La capacidad evapotranspirativa de la superficie sin labranza y con presencia de vegetación nativa fue mayor que la de la superficie con labranza convencional. Esto se debió a que la vegetación pudo extraer agua de estratos más profundos del suelo; mientras que en la superficie con labranza convencional, el flujo de vapor de agua registrado correspondió a la evaporación de la muy escasa agua retenida en el estrato superior del suelo.

## VI. LITERATURA CITADA

- Acevedo H. E. y Silva P. C. 2006. Sistema de labranza y sustentabilidad agrícola en cultivos anuales. Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
- Acosta M., Etchevers D., Monreal K., Quednow K. y Hidalgo C., 2001. Un método para la medición del carbono en los comportamientos subterráneos de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. Simposio Internacional y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales 18 al 20 de Octubre del 2001. Valdivia, Chile.
- 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.
- Alvarez, R. 2001. Estimation of carbon losses by cultivation from soils of the Argentine Pampa using the Century Model. *Soil Use Man.*, 17: 62 - 66.
- Álvarez R., 2006. Balance de carbono en los suelos. INTA – Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información técnica de trigo campaña 2006 Publicación Miscelánea N° 105.
- Bahati B. J., 2005. Effects of logging on environmental factors, natural regeneration, and distribution of selected mahogany species en Bodongo forest reserve, Uganda. Tesis doctoral obtenido el (14/03/07) de la página <http://dle.dlib.indiana.edu/archive/00001813/01/BahatiDissertation.pdf>
- Balogh, J.; Foti, S.; Nagy, Z.; Czobel, S.; Pintér, K.; Peli, E. R. y Tuba, Z. 2005. Comparison of carbon dioxide fluxes over sandy grassland vegetation as measured by the eddy-covariance technique and by open system chamber. *Prodedings of the 8th Hungarian Congress on Plant Physiology*

and 6th Hungarian Conference on Photosynthesis, 2005. Volume 49(1-2): 143-145

Bastiaanssen W., palitha Bandera y Lucas Cansen, 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.

Benítez J. R. y Castellanos A., 2003. Mejorando la humedad del suelo con la agricultura de conservación. LEISA Revista de Agroecología. Pág. 6.

Cadena, Z. M., Campos M. S. Narro F. E., Gaytán M. T., 2002. Determinación del estado de humedad para una mínima aplicación de energía en laboreo con tracción motriz. Terra Vol.21 Pág. 13-19.

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: 1148-1150.

Comisión Nacional del Agua (CNA), 2003. "Programa Hidráulico Regional 2002-2006". Región XII península de Yucatán. P(127 – 128)

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/iflm/striptillagerep>.

Curtin, C., Kelt D., Frey T. & Brown J., 2000. On the role of small mammals in mediating biotic and abiotic interactions in structuring Southwestern communities and landscapes. Ecology Letters 3: 309-317.

De Jong B. H. J.; Tipper R. and Taylor J., 1997. A framework for monitoring and evaluating carbon mitigation by farm forestry projects: example of a demonstration project in Chiapas, Mexico. Mitigation and Adaptation strategies for Global Change 2: 231-246.

- Dominguez L. R., 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, México.
- Domínguez L. R. F., 2001. Evaluación del desempeño y resultados tecnológicos del vibrocultivador modelo NH 700 en labranza de suelos de zonas semiáridas. Tesis de licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Dore, S.; Hymus, G. J.; Jhonson, D. P.; Hinkle, C.R.; Valentns, R.; and Drake, B. G. (2003). Cross Validation of Open-Top chamber and Eddy Covariance Measurements of Ecosystem CO<sub>2</sub> Exchange in Florida Scrub-Oak Ecosystem. *Global Change Biology*. Volume 9 Issue 1 P 84.
- Drewit et al (s/f). The effects of irrigation and applied nitrogen on the growth, grain yields and nitrogen content of water. Proc. First Annual Conference of Agronomy Society of New.
- Dugas, W. A.; Frischen, L. J.; Gay, L. W.; Held, A.A. and Matthias, A. D. 1991. Bowen Ratio, Eddy Correlation and Portable Chamber Measurements of Sensible and latent Heat Flux Over irrigated Spring Wheat. *Agricultural and Forest Meteorology AFMEEB*, Vol. 56 No. 1/2 , p 1-20
- Elizondo R. M. y Contreras M. A., 1996. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. Universidad Autonoma Chapingo. Mexico. P(29, 165-250)
- Encarta, 2007. Fotosíntesis. Revisado el 4 de marzo del 2007. Pagina web: [http://es.encarta.msn.com/encyclopedia\\_761572911/Fotos%C3%ADntesis.html](http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761572911/Fotos%C3%ADntesis.html).
- Estrada-Berg W. J., Estrada-Berg O. J. B., Camacho V. M., Mendiola G. M. E., Tijerina y. A. 1999. La desertificación en el altiplano mexicano.

Universidad Autónoma Chapingo - Comisión Nacional de las Zonas Andas. México, pp. 1- 17.

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)

Franzluebbers, A.J., Stuedemann, J.A., Schomberg, H.H. & Wilkinson, S.R. 2000. Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA. *Soil Biol. Biochem.*, 32: 469 - 478.

Gaobao H. et al 2003. Conservation tillage effects on spring and field pea in the western loess plateau China. <http://www.paper.edu.cn/scholar/download.asp?filehuanggaobao-1>

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. 185 pp.

González G. C., Sánchez I. C., Estrada J. A., Cueto J. A. W., (2007). La Porosidad del Suelo en Huertos de Nogal Bajo diferentes sistemas de labranza. Simposium Internacional sobre Resultados y Avances en Labranza. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro & International Soil Tillage Research Organization. 22 y 23 de Marzo, 2007.

González, S. E. y Martínez V. A., 2002. Agricultura de conservación, la agricultura del carbono. *Vida Rural*, (1), 31-33.

Graedel, T.E. & Crutzen, P.J., 1993. Atmospheric change. An Earth System perspective. Freeman, N. York.

Gui-Rui Y., Xue-Fa W., Xiao M. S., Bertrand D. T., Xuhui L., Jia-Yi C. 2006. Overview of ChinaFLUX and evaluation of its eddy covariance measurement. *Agricultural and Forest Meteorology* 137 (2006) 125–137.

- Ham J. M.; Heilman J. L., 2003. Experimental Test of Density and Energy-Balance Corrections on Carbon Dioxide Flux as Measured Using Open-Path Eddy covariance. *American Society of Agronomy*, 95: 1393 – 1403.
- 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.
- Hamlyn, G. Jones, 1992. *Plants and Microclimate, a quantitative approach to environmental plant physiology*. Second ed. Ed. Cambridge. Pag. 9, 22.
- Hatfield J.; Prueger J. y Kustas W., 2007. Spatial and temporal variation of energy and fluxes in central Iowa. *American Society of Agronomy. Special Submissions. Volume 99: 285 – 296*
- 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.
- Huybrechts, P., Joughin I. 2005. Ice-sheet and sea-level changes. *Science*, 310, 456-460.
- INEGI, 2001. México ante el cambio climático. México. Publicado por la revista *Gaceta Ecológica* 48, 1998, páginas 35-45.
- INEGI, 2001. Anuario Estadístico del Estado de Coahuila. INEGI. Aguascalientes, Ags, México, pp. 331 - 341.
- INEGI, 2002. Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa. INEGI. Aguascalientes, Ags, México, p. 358.
- INEGI, 2002. Carta de regiones faunísticas y ecosistemas principales de la republica mexicana.
- IPCC, 2001 *Climate Change, 2001, the scientific basis*. Revisado (6/11/06) de [Http:// www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wgl](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wgl)

- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report.
- IPCC. (2005). "IPCC/TEAP Special Report. Safeguarding the Ozone layer and the global climate system: issues related to hydrofluorocarbons and perfluorocarbons. Summary for Policy Makers". Disponible en: <http://www.ipcc.ch/press/SPM.pdf>
- 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)
- 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.
- Jones, H.G., 1992. Plants and Microclimate (A Quantitative Approach to Environmental Physiology). Secon Edition, Cambridge university Press. United Kingdom.
- Kizer, M. A. y R. L. Elliott, 1991. Eddy Correlation Systems for Measuring Evapotranspiration. Transactions of ASAE 34(2): 387-392.
- Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. & Cole, C.V. 1998. The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Chelsea, USA, Ann. Arbor. Press.
- Lavigne, M. B.; Ryan, M. G.; Anderson, D. E.; Baldocchi, D. D.; Crill, P. M.; Fitzjarrald, D. R.; Goulden, M. L.; Gower, S. T.; Massheder, J. M.; McCaughey, J. H.; Rayment, M.; Striegl, R. G. 1997. Comparing nocturnal eddy covariance measurements to estimates of ecosystem respiration made by scaling chamber measurements at six coniferous

- boreal sites. American Geophysical Union. Journal of Geophysical Research, Volume 102, p. 28977-28986
- Li, H., 2005. Effects of Plant Process on Soil Organic Carbon Concentration. Biosci. Jun; 16 (6) 1163-8. ([www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/))
- López, S. A. 2000. La desertificación en la comarca Lagunera, sus causas y efectos.
- López, S. A. 2006. Relación entre el Cambio Climático y la Erosión del Suelo. Ensayo. (Indédito)
- López-Bellido, L., Fuentes M., Castillo, J.E. López-Garrido, F.J. and Fernández, E.J. 1996. Long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilizer effects on wheat yield under rainfed mediterranean conditions. Agron. J. 88:783-791.
- Martínez, J. y Fernández A. 2004. Cambio climático: una visión en México. Fuentes SEMARNAT y el Instituto Nacional de Ecología. Impreso y hecho en México. Páginas 199-350.
- Masera, R. O., M. J. Ordoñez and R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. Climatic Change 35: 265-295.
- Masera, R. O., M. R. Bellon and G. Segura. 1995. Forest management options for sequestering carbon in México. Biomass and Bioenergy 8(5): 357-367.
- Massman W. J. and Lee X., 2002. Eddy covariance corrections and uncertainties in long-term studies of carbon and energy exchanges. Agric. For. Meteorol. 113:121–144.
- Matsumoto N., K. Paisancharoen and T. Hakamata 2002. Carbon sequestration in maize fields with cow dung application and no tillage cultivation in

Northeast Thailand. Paper No. 1212 17<sup>th</sup> WCSS Symposium August 2002 Thailand.

Maunder, W. J. 1992. Dictionary of Global Climate Change, UCL Press Ltd.

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.

Murguía J., Zermeño A., De La Rosa M., Ibarra L., Torres A., 2004. Relación entre los componentes del balance de energía y la resistencia estomática en el cultivo del melón bajo acolchado plástico. Revista Internacional de Botánica Experimental. Volume (53): 181-192.

Odum, E. P. 1969. The strategy of ecosystem development. Science (Washington, DC) 164: 262-270.

Paustian, K., Collins, H.P. & Paul, E.A. 1997. Management control on soil carbon. In: E.A. Paul, K. Paustian, E.T. Elliot & C.V. Cole, 2000. Eds. Soil organic matter in temperate agroecosystems. Long term experiments in north America, pp. 15 - 49.

Paustian, K., O. Andre´ n, M. Clarholm, A.-C. Hansson, G. Johansson, J. Lagerlo¨ f, T. Lindberg, R. Pettersson, and B. Sohlenius. 1990. Carbon and nitrogen budgets of four agro-ecosystems with annual and perennial crops, with and without N fertilization. J. Appl. Ecol. 27:60–84.

Paustin, K., Six, J., Elliont, E.T. and Hunt, H. W. (2000). Mangement options for reducing CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. Biogeochemistry, 48: 147-163.

- Pérez A. J. C. 2003. Evaluación del desempeño y resultados tecnológicos del multiarado en dos tipos de suelos de zonas semiáridas. Tesis de licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Plante, A.F. & McGill, W.B. 2002. Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies. *Soil and Tillage. Research.*, 66: 79 - 92.
- 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.
- 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.
- 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.
- Raich, J.W., and W.H. Schlesinger. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*. 44(B):81–99.
- 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.
- Reikosky, D.C., M.J. Lindstrom, T.E. Schumacher, D.E. Lobb, and D.D. Malo. 2005. Tillage-induced CO<sub>2</sub> loss across an eroded landscape. *Soil Tillage Res.* 81:183–194.
- Rosenzweig, C; Hillel, D. 2000 Soils and global climate change: challenges and opportunities. *Soil Science*. 165(1):47-56, January 2000.

- Schlesinger W and J Andrews. 2000. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry* 48:7-20.
- Scow M. K. 1999. Chapter 11: Soil Microbial Communities and Carbon Flow in Agroecosystems. Ed. Academic Press, Editado por Jakson, L. E. Carolina University, USA. Pag. 367-413.
- Six, J., Elliott, E.T. & Paustian, K. 2000 Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.*, 32: 2099 - 2103.
- 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.
- Smaglik, P. 2000. United States backs soil strategy in fight against global warming. *Nature* 406: 549-550.
- So H.B.; Dalal R. C.; Chan K.Y.; Menzies N.M.; Freebarm D.M., 2001. Potential of conservation tillage to reduce carbon dioxide emission in Australian soils. In D.E Sttot, RH Mothar and GC Steinhardt (eds). *Sustaining the global farm. Selected papers from the 10<sup>Th</sup> International Soil Conservation Organization meeting*.
- 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.
- Tanaka, D. L.1985. Chemical and stubble-mulch fallow influences on seasonal soil water contents. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:728-733.
- Twine, T. E., W. P. Kustas, J. M. Norman, D. R. Cook, P. R. Houser, T.P. Meyers, J. H. Prueger, P. J. Starks and M. Welely, 2000. Correcting eddy-Covariance flux underestimates over a graaland. *Agric. For. Meteorol.* 102: 279-300.

UACH-CONAZA-SEDESOL-SAGARPA, 2004. Escenarios Climatológicos de la República Mexicana ante el Cambio Climático. Universidad Autónoma Chapingo; CONAZA, Dirección de Vinculación y Transferencia de Tecnología; SEDESOL; SAGARPA.

UNFCCC, 2005. A selection of interviews and articles from the international press, featuring UNFCCC staff Date Interview Nov 2005 Moving forward at Montreal (United Nations Framework Convention on Climate Change. Revisado de la página siguiente [http://unfccc.int/press/news\\_room/unfccc\\_in\\_the\\_press/items/2781print.php](http://unfccc.int/press/news_room/unfccc_in_the_press/items/2781print.php).

Unger, P.W. and Wiese, A.F. 1979. Managing irrigated winter wheat residues for water storage and subsequent dryland grain sorghum production. Soil Sci. Soc. Am. J. 43:582-588.

Villa, S. A. 1981. Los desiertos de Mexico. In: General Technical Report WO-28 Arid Land Resource Inventories: Developing Cost-Efficient Methods. An International Workshop 30-November 6, 1980. La Paz, Mexico (pag 18-20)

Ward, R.C. y Robinson, M. (2000): Principles of Hydrology. McGraw-Hill Pub. Maidenhead. 450 pp.

Webb, E., G. Pearman, and R. Leuning. 1970. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer. Q. J. R. Meteorol. Soc. 106:85–100.

Zagal, E. et al, 2001. Actividad microbiana en un suelo de origen Volcánico Bajo Distinto Manejo Agronómico. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Centro Regional de Investigaciones Quilamapu, Chile. ([www.bioline.org.br/request?at02029](http://www.bioline.org.br/request?at02029))

Zermeño G. A. Jiyane J., 2003. Aplicación del enfoque de evapotranspiración a equilibrio en la agricultura de riego en zonas áridas. Publicado como artículo en *Agrociencia* 37: 553 – 563.

Zermeño G. A., 2007. *Apuntes de Instrumentación en Micrometeorología*. Departamento de Riego y Drenaje. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Zermeño G, 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. Gómez Palacio Durango, México. (p 53-57)