



**UPCT**



Región de Murcia  
Consejería de Agricultura y Agua  
Dirección General de Planificación, Evaluación y  
Control Ambiental

## **INICIATIVA**

### **“AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO<sub>2</sub>”**

#### **Informe del proyecto**

#### **“Medida y Seguimiento de la Producción Primaria Neta y de la Captación de CO<sub>2</sub> por la Agricultura Murciana”**

**Marzo 2012**

Proyecto 041621-110006, subvencionado por la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia, Dirección General de Planificación, Evaluación y Control Ambiental



**Contacto UPCT: Pr. Alain BAILLE** ([alain.baille@upct.es](mailto:alain.baille@upct.es))  
Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA)  
Paseo Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena

## Introducción general

La respuesta de los sistemas biológicos a los vectores de cambio climático (aumento de la temperatura y de la concentración de CO<sub>2</sub>, cambio de los patrones de precipitación y aumento de la severidad y frecuencia de eventos extremos) ha de ser estudiada a distintos niveles de organización -ecosistema y comunidad, población e individuo- de los sistemas biológicos terrestres (bioma). La mayor parte de las especies tienen asociado un rango térmico, de humedad y de radiación solar que está relacionado con su fenología y fisiología. Está probado que el cambio climático induce cambios fenológicos a escala global, con alteraciones importantes de la actividad biológica de nuestro planeta que ha aumentado un 20% en los últimos 30 años. Este fenómeno es debido, en gran parte, al alargamiento del ciclo fenológico del período productivo. Por otro lado, y como consecuencia del aumento de la temperatura y de la variación en el reparto de las precipitaciones asociadas con el cambio climático, se puede modificar el hábitat de numerosas especies, aumentando o disminuyendo su rango de distribución en la tierra y su producción primaria neta (PPN). Esta variable, generalmente expresada en kgC m<sup>-2</sup> por unidad de tiempo, caracteriza la capacidad de 'secuestro' de CO<sub>2</sub> de un determinado bioma vegetal, ya sea natural (ecosistemas) o controlado por el ser humano (agrosistemas).

Para mitigar los efectos del calentamiento global debido a los gases de efecto 'invernadero' y, en particular el CO<sub>2</sub>, se han planteado diversas posibilidades. Algunas de ellas se basan en aumentar la capacidad de secuestro de CO<sub>2</sub> por la vegetación (forestación o repoblación forestal, incremento de las superficies de praderas y, en general, de cualquier cultivo a finalidad agroalimentaria o energética). Queda aún por cuantificar la eficacia real de estas medidas alternativas en las emisiones y en la secuestro de gases a efecto invernadero, puesto que las cubiertas vegetales, además de representar un almacenamiento más o menos importante de CO<sub>2</sub>, actúan a la vez como 'sumidero' vía la fotosíntesis y como 'fuente' de CO<sub>2</sub> atmosférico, vía la respiración autótrofa. Esta componente de la respiración, que junto con la heterótrofa (la que resulta de la actividad de microorganismos en la descomposición de la materia orgánica del suelo, o humus), presenta una de las principales vías de entrada de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Dentro de este contexto global, el proyecto (Ref. 041621-110006) que está llevando a cabo la UPCT en el marco de la iniciativa "Agricultura Murciana como Sumidero de CO<sub>2</sub>" de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de la Región de Murcia, se centra en la evaluación del sumidero de CO<sub>2</sub> que representan los cultivos

agrícolas de la Región de Murcia. Sus principales finalidades son (i) cuantificar *in situ* la PPN de los cultivos frutales - muy importantes en la Región – y los efectos del riego y de las prácticas culturales en el balance neto de carbono del agrosistema y (ii) discriminar la contribución del dosel vegetal de la del suelo. Este último compartimiento juega un papel clave tanto en el secuestro como en la emisión de CO<sub>2</sub>.

El proyecto se inició en Marzo de 2009, con una duración de 1 año. Los detalles de las actividades, sitios experimentales y equipos de medida han sido presentados en sendos informes intermedios de actividades (Julio 2009, Enero 2010) y los resultados finales en un informe final (Marzo 2010). Estos resultados han sido publicados en dos capítulos del libro relativo a la Iniciativa “Agricultura murciana como sumidero de CO<sub>2</sub>” y editado por la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia. En Marzo de 2011, se acordó la prorrogación de este proyecto hasta final de año.

Este informe presenta la síntesis de los resultados obtenidos en 2011 en los dos subproyectos llevados a cabo por la UPCT en el marco de la iniciativa:

- 1 - *Medida y seguimiento de la producción primaria neta de la agricultura murciana. Evaluación de su contribución a la captación de CO<sub>2</sub> de la atmósfera.*
  
- 2- *Efecto de los factores edafoclimáticos en el balance de carbono de cultivos frutales en diferentes zonas de la Región de Murcia*

## PARTE 1

### “Medida y seguimiento de la producción primaria neta de la agricultura murciana. Evaluación de su contribución a la captación de CO<sub>2</sub> de la atmósfera”



**Han contribuido a los trabajos de terreno y laboratorio y a la redacción:**

- Alain Baille, Maria M. González-Real, Bernardo Martín Górriz, Profesores del Área de Ingeniería Agroforestal de la ETSIA-UPCT.
- Isabel Ruiz Salleres, Eduardo Nicolás Alemán, becarios ETSIA-UPCT

*Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA)  
Área de Ingeniería Agroforestal  
Paseo Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena*

**Marzo 2012**

El informe de este subproyecto se ha estructurado de la forma siguiente:

**1– Reseña bibliográfica sobre la producción primaria neta (PPN) y respiración de especies frutales**

**2– Materiales y Métodos**

2.1-Medida del intercambio neto de CO<sub>2</sub> del ecosistema

2.2. Medida de la respiración del suelo

**3 – Síntesis de los resultados**

3.1- Intercambio Neto y Captura de CO<sub>2</sub> en plantaciones de naranjo

3.2. Análisis de los factores actuando sobre la respiración del suelo

**4 – Conclusiones**

**Anejos**

Anejo A1. La técnica de correlación de remolinos

Anejo A2. Análisis multifactorial de la respiración del suelo (R<sub>s</sub>) en función de variables edafoclimáticas



## **1– Reseña bibliográfica sobre la producción primaria neta (PPN) y respiración de especies frutales**

Los sistemas agrícolas juegan un papel determinante en los procesos de captura y emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Janssens et al., 2003). La respiración oscura (autótrofa), junto con la respiración del suelo (heterótrofa), representa una entrada importante de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (120 Gt por año a escala mundial). Por ejemplo, el CO<sub>2</sub> que proviene de la respiración del suelo alcanza un 35 % del CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera por fuentes terrestres y marinas. La cantidad de CO<sub>2</sub> fijado por el proceso fotosintético depende en gran parte de la radiación absorbida por las plantas (Mirás-Avalo et al., 2011). La variabilidad de la radiación al interior de la vegetación es importante dado que determina la variabilidad de la cosecha (Mirás-Avalo et al., 2011). En cultivos frutícolas, la radiación absorbida por los estratos foliares puede optimizarse actuando sobre la geometría del árbol por medio de la poda. En cultivos de melocotonero Grossman y DeJong (1998) han observado que se puede alcanzar un aumento del rendimiento en plantaciones con menor densidad. En cultivos herbáceos, se puede actuar sobre la interceptación de la radiación optimizando la distribución espacial de las ramas por medio de tutores. Sin embargo, no se dispone de un buen conocimiento del impacto que tienen las prácticas agrícolas en la emisión de CO<sub>2</sub>. (Robertson et al., 2000; Sofó et al., 2005). Se conoce que labores frecuentes y poco profundas en suelos pobres de zonas áridas y semiáridas, con escasas lluvias, contribuyen a aumentar el CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera (Sofó et al., 2005). Actualmente, se observa un interés creciente en evaluar el efecto que ejercen el tipo y las condiciones de riego y las labores del suelo en la captación de CO<sub>2</sub> de plantas cultivadas (Aubinet et al., 2009). En la última década un cierto número de estudios han proporcionado información valiosa sobre el intercambio de CO<sub>2</sub> a largo plazo entre cultivos herbáceos y la atmósfera (ver Aubinet et al., 2009). Estos cultivos pueden capturar a lo largo del ciclo mayor cantidad de CO<sub>2</sub> que un ecosistema natural, pero gran parte de la biomasa asimilada queda en el suelo donde sufre proceso de descomposición con un retorno rápido de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Ligouri et al., 2009). Sin embargo, los árboles frutales pueden actuar como reserva de CO<sub>2</sub>, almacenando cantidades importantes de carbono en las partes perennes a lo largo de la vida del árbol (Sofó et al., 2005).

Actualmente se está estudiando el impacto que pueden las prácticas agrícolas en el almacenamiento de carbono en suelo cultivados como una estrategia para mitigar el cambio climático. En agrosistemas, el carbono orgánico del suelo depende del uso de la tierra, las prácticas culturales, la aplicación de fertilizantes, el microclima de la zona y la labranza del suelo (IPGG, 1997). Un almacenamiento de carbono como humus depende de las entradas periódicas de materia orgánica y de la velocidad de

mineralización de la materia orgánica (Kimmins, 1997). La mineralización de carbono (transformación del carbono orgánico del suelo en CO<sub>2</sub>, agua y sales minerales), es exacerbada por factores antropogénicos (Janssens et al., 2003).

Sofo et al. (2005) demostró que los cultivos frutales en clima mediterráneo (olivo y melocotonero) pueden participar en la inmovilización de carbono con prácticas agrícolas adecuadas siendo económicamente rentables. La cantidad de CO<sub>2</sub> fijado en plantaciones de olivo fue de 26,27 T ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y de 17,54 T ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en plantaciones de melocotonero, retornando a la atmosfera un 12% y 9% respectivamente. En un país como Italia, donde el cultivo de melocotonero cubre un extensión importante (aproximadamente 10<sup>5</sup> ha) por lo que la cantidad de CO<sub>2</sub> secuestrado en biomasa por las plantas y en humus en el suelo puede alcanzar cantidades importantes, que varían entre 1,60 y 6,00 T ha<sup>-1</sup>, según sean árboles jóvenes o adultos.

El impacto de prácticas culturales sobre captación de CO<sub>2</sub> es un factor muy importante cuando se pretende fomentar prácticas agrícolas que reduzcan la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmosfera. West and Marland, (2002) analizaron la emisión de C asociada a tres sistemas de cultivo: cultivo tradicional, mínimo laboreo y no cultivo. El análisis lo realizaron para tres cultivos de regadío: maíz, soja y trigo; concluyendo que el sistema de no laboreo es el que menos kg<sub>C</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> emite a la atmosfera, como consecuencia de la reducción del uso de la maquinaria agrícola, a pesar de que la emisión de CO<sub>2</sub> asociada a la fabricación de los inputs agrícolas (fertilizantes, pesticidas, semillas) fue más elevada. El cálculo total de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera cuando se utiliza no laboreo respecto al cultivo tradicional se reducen en 368 kg<sub>C</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, si bien este cambio de las prácticas agrícolas puede llevar asociado un cambio en la productividad del terreno.

## **2– Materiales y Métodos**

### **2.1- Medida del intercambio neto de CO<sub>2</sub> del ecosistema**

La productividad primaria neta se ha determinado con la técnica micrometeorológica de eddy covariance (EC, o correlación de remolinos, Baldocchi et al., 1988) en dos fincas de naranjos: Villa Antonia (16 ha) con árboles de más de 30 años (variedad Navelina) y Casa Mulero (30 ha) con árboles de unos diez años (variedad Navel Powell). La altura media correspondiente de los árboles es unos 4 m y 2,5 m y la distancia de plantación es 7 m x 4 m. Las dos fincas están ubicadas en el término municipal de Pozo Estrecho (latitud 37°71' N; longitud -0°98' O), Murcia. Ambas se equiparon con un anemómetro sónico tridimensional para medir la velocidad

y dirección del viento (R2, Gill Solent, Lymington, UK) y con un IRGA de respuesta rápida (InfraRed Gas Analyzer, Licor 7200, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA) para medir la concentración de vapor de agua y de  $\text{CO}_2$  del aire (Figura 1 a). Estas variables dan acceso a calcular los flujos de  $\text{CO}_2$ , de calor sensible y de evapotranspiración. El sistema se ha colocado sobre una torre ubicada a una altura de 2 m por encima de la altura de los árboles, con un área de influencia (conocida como *huella* o *footprint*) sobre la superficie de medida de unas 8 hectáreas para los naranjos adultos y de 7 para los naranjos jóvenes. Más detalles sobre las instalaciones se presentan en el Anejo 1.

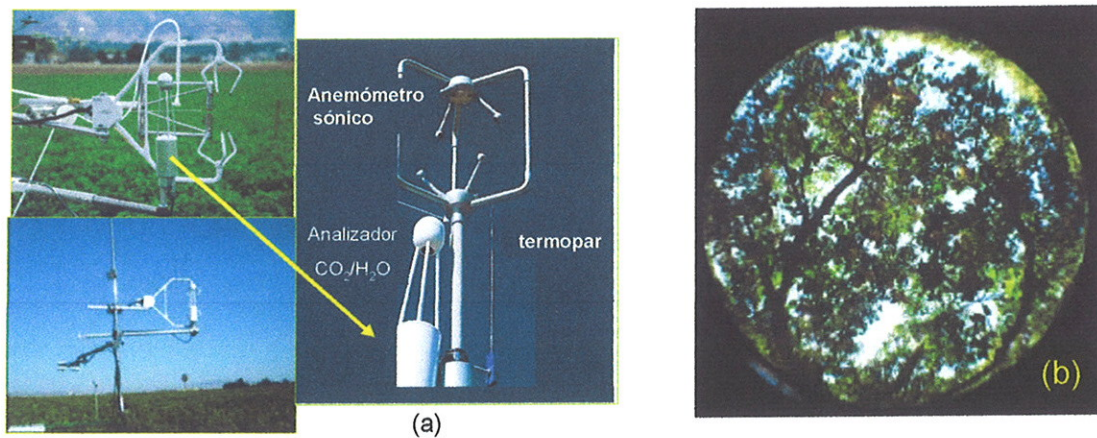


Figura 1. (a) Sistema de medidas Eddy correlation instalado en la finca de naranjos Villa Antonia del Campo de Cartagena. (b) Seguimiento de la fracción de vegetación y de la superficie foliar del cultivo con fotos hemisféricas utilizando el programa Can-Eye desarrollado por el INRA (Francia).

La evolución de la superficie foliar después de la poda en Octubre se está siguiendo con el LAI-2200 (Plant Canopy Analyzer Licor, Inc. Lincoln, NE, US). También se están haciendo estimaciones de superficie foliar y de fracción de vegetación con fotos hemisféricas utilizando el programa Can-Eye desarrollado por el INRA (Figura 1 b).

Los periodos de medida en continuo de captación de  $\text{CO}_2$  se han llevado a cabo:

- desde Julio de 2009 hasta finales de 2011 en la parcela de naranjos adultos (Villa Antonia). Estas medidas se siguen realizando en la actualidad.

- desde Julio de 2009 hasta Agosto de 2011 en la parcela de naranjos jóvenes (Casa Mulero). La torre de flujo se ha cambiado de lugar en el otoño 2011. En la actualidad, está instalada y operacional desde Diciembre 2011 en una finca de mandarinos, en el municipio de Balsicas.



Los datos brutos registrados cada media hora de flujo de CO<sub>2</sub> han sido tratados de la forma siguiente:

- Tests de coherencia entre variables medidas
- Estimación de los datos ausentes (“missing data”) con técnicas de relleno de huecos (“gap filling”)
- Cálculo de las medias diarias de PPN sobre los periodos siguientes;
  - 24 horas (PPN)
  - Noche (radiación solar < 10 W m<sup>-2</sup>). Esta media corresponde a la *respiración del ecosistema (suelo + vegetación) en periodo nocturno*, R<sub>NOC</sub>.
  - Día (radiación solar > 10 W m<sup>-2</sup>). Esta media corresponde a la *producción primaria en periodo diurno*, PPD.

Obviamente, tenemos:

$$PPN = PPD + R_{NOC}$$

donde R<sub>NOC</sub> es negativo. Cuando PPD es superior a R<sub>NOC</sub>, la superficie actúa como sumidero neto de CO<sub>2</sub>. Cuando PPD es inferior a R<sub>NOC</sub>, la superficie actúa como emisor neto de CO<sub>2</sub>.

## 2.2. Medida de la respiración del suelo

### 2.2. Medida de la respiración del suelo

La medida de tasa de emisión de CO<sub>2</sub> del suelo (R<sub>s</sub>) y la tasa de evaporación (E<sub>s</sub>) se realizaron con un sistema portátil de medida de intercambio gaseoso CIRAS 2® (PP Systems, Hitchin, Hertfordshire, UK), incorporando un analizador de gas por infrarrojo (IRGA). Se utilizó una cámara de suelo SRC1 (PP Systems, Hitchin, Hertfordshire, UK) con un área de medida de 78 cm<sup>2</sup> y un volumen de 1170 cm<sup>3</sup>, que mide en sistema cerrado. Las variables de salida del sistema son: la tasa de respiración (g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), la tasa de evaporación del suelo (E<sub>s</sub>, g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>).

Simultáneamente se realizaron medidas de temperatura del suelo (T<sub>s</sub>, °C) y contenido volumétrico del agua (θ, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). La temperatura del suelo se midió con una sonda Pt-100 portátil (Selvise Pro TT, JRI, France) entre los 5 y 10 cm de profundidad del suelo; y el contenido volumétrico del agua en el suelo se midió con una sonda de humedad TDR (Theta Probe, Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK) a 5 cm de profundidad.

Las medidas de las variables medioambientales se realizaron a lo largo de tres transeptos paralelos a la línea de plantación (Figura 4). Tres medidas en el transepto

correspondiente a la línea de goteros (Z1-3) situada entre dos árboles, dos en el transepto situado a 1 m de la línea de goteros y a 1 m del centro del pasillo (Z4-5) y tres en el transepto situado en la mitad del pasillo, a 2 metros de la línea de goteros (Z6-8). Las medidas se han hecho cada 15 días. En invierno se **ha** medido la evolución de todas las variables a lo largo de un día.

La determinación del contenido de carbono y nitrógeno del suelo se realizó a partir del análisis en laboratorio de muestras de suelo tomadas entre 0-15 cm profundidad. Se realizaron ensayos de muestras tomadas en el periodo de primavera y de invierno en 2011, en la finca de naranjos adultos. Los análisis de carbono se realizaron a partir de la oxidación de la materia orgánica mediante un ataque ácido con dicromato potásico. Después se valoró el exceso de dicromato con sal de Morh. Los análisis de nitrógeno se realizaron por el método Kjeldahl.

Los valores ponderados de  $T_s$ ,  $\theta$ ,  $E_s$  y  $R_s$  para los tres transeptos se han calculado como sigue:

$$X_{\text{ponderado}} = V_{1-3} \times SP_{1-3} + V_{4-5} \times SP_{4-5} + V_3 \times SP_{6-8}$$

siendo  $V_n$  la variable estudiada en cada transepto y  $SP_n$  la proporción de superficie atribuida a cada uno.

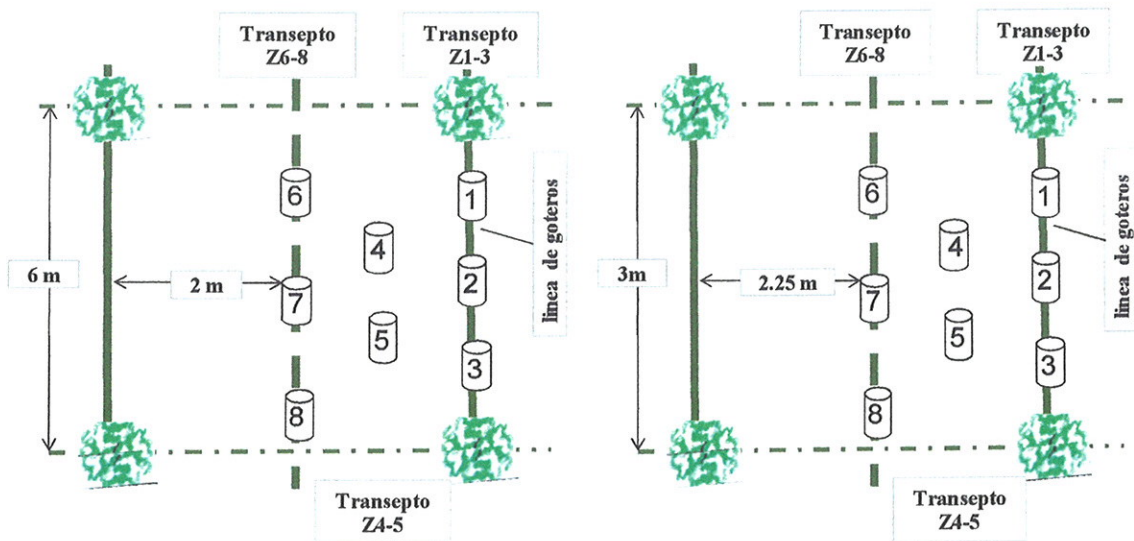


Figura 2. Vista en planta de los transeptos en los que se han realizado las medidas en las dos parcelas (plantación adulta, izquierda y plantación joven, derecha). Las medidas 1-2-3 se realizan en la línea de goteros entre dos árboles consecutivos; 4-5 en la zona intermedia entre la línea de gotero y el centro de la calle; y 6-7-8 en el centro de la calle.

Para la parcela de naranjos adultos,  $SP_{1-3}$  se ha considerado igual a un 20%, calculada en base a una anchura de 80 cm a lo largo de la línea de goteros.  $SP_{4-5}$  se

consideró igual a un 40%, calculada en base a una anchura de 1.6 m a lo largo de la calle. SP<sub>6-8</sub> (=40%) se calculó en base a una anchura de 1.6 m en el centro de la calle.

Para la parcela de naranjos jóvenes, SP<sub>1-3</sub> se ha considerado igual a un 15%, calculada en base a una anchura de 70 cm a lo largo de la línea de goteros. SP<sub>4-5</sub> (=30%) se calculó en base a una anchura de 1.4 m a lo largo de la calle y SP<sub>6-8</sub> (=55%) se calculó en base a una anchura de 2.4 m en el centro de la calle.

### 3 – Síntesis de los resultados

#### 3.1. Producción Primaria Neta y sus componentes

##### 3.1.1. Evolución mensual de PPN, PPD y R<sub>NOC</sub> sobre el periodo de medida

Los resultados indican un relativo paralelismo de la captación de las dos plantaciones, con valores generalmente inferiores en la plantación joven con respecto a la plantación adulta, sea para PPN (Fig. 3), PPD (Fig. 4) o R<sub>NOC</sub> (Fig. 5). Sin embargo, las operaciones culturales de poda realizadas en la plantación adulta – mientras que no hubo poda en la plantación joven, a nuestro conocimiento – llevaron a comportamientos diferentes de las dos plantaciones en las semanas siguientes a la poda.

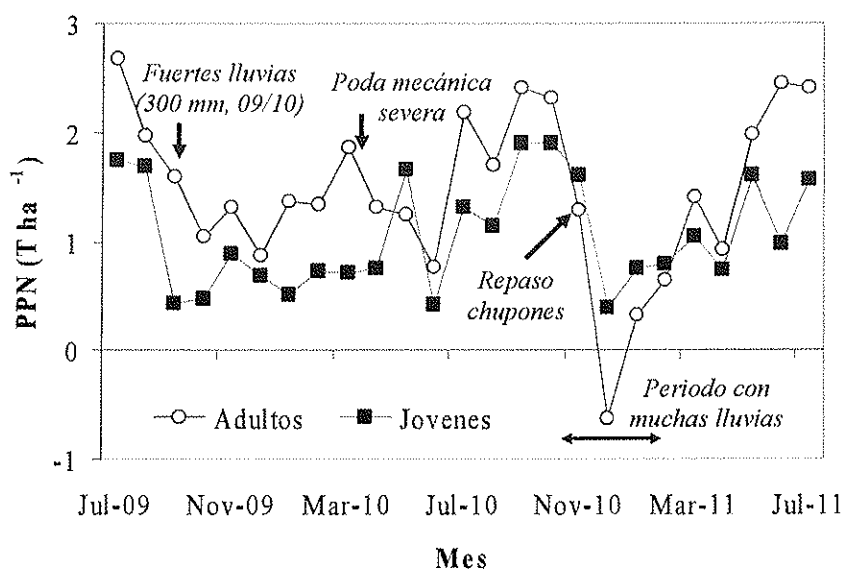


Figura 3. Producción primaria neta (PPN, T ha<sup>-1</sup>) a escala mensual en las dos parcelas de naranjos. Periodo Julio 2009-Julio 2011.

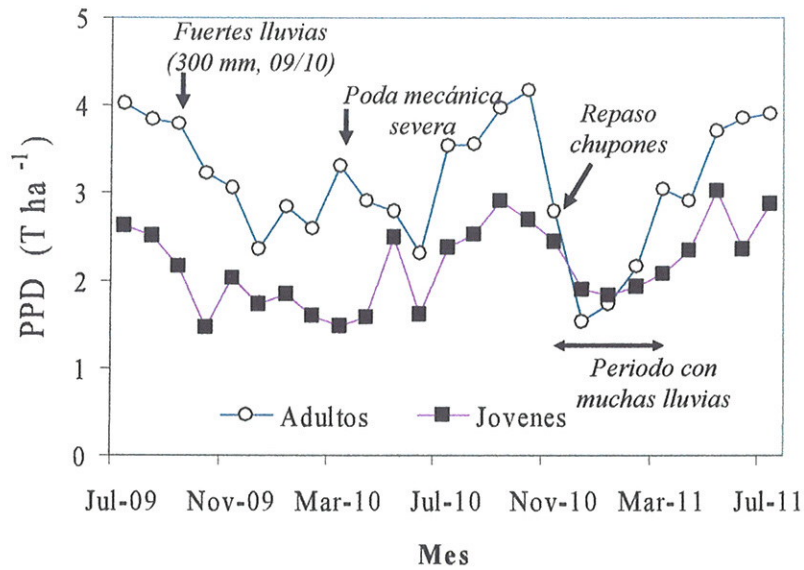


Figura 4. Producción primaria diurna (PPD,  $T ha^{-1}$ ) a escala mensual en las dos parcelas de naranjos. Periodo Julio 2009-Julio 2011.

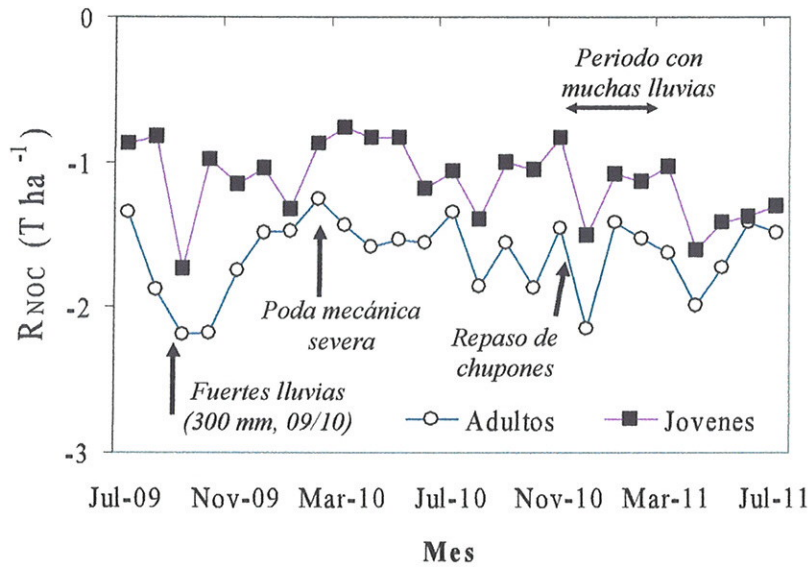


Figura 5. Respiración nocturna del ecosistema ( $R_{NOC}$ ,  $T ha^{-1}$ ) a escala mensual en las dos parcelas de naranjos. Periodo Julio 2009-Julio 2011.

Esta influencia de la poda y su posterior descomposición es especialmente notable en la producción primaria diurna (PPD, Fig.4), donde se puede notar que la poda severa de Marzo 2010 se ha traducido por un descenso notable de PPD. Este descenso se puede atribuir:

- en parte a la respiración de los desechos de poda (ver el impacto sobre  $R_{NOC}$ , Fig.5)

-y por otra parte a un menor índice foliar, que se repercute en una menor fotosíntesis a escala de la plantación en periodo diurno

Otro resultado destacable es la similitud de la respuesta de las plantaciones a lluvias intensas (Septiembre 2009, con cerca de 250 mm a final de mes) que se ha traducido por una disminución notable de PPN y PPD en el mes siguiente (Octubre 2009) en las dos plantaciones. Remarcable también es el invierno de 2010-11, periodo caracterizado por una alta frecuencia de lluvias de intensidad baja-media, que han mantenido una humedad elevado de suelo en las dos parcelas durante prácticamente todo el invierno. La consecuencia fue unos valores bajos de PPN, consecutivos al aumento importante de la respiración del suelo,  $R_s$ , (ver sección siguiente 3.2). Notar que el único valor negativo de PPN en los 24 meses de observación se ha obtenido durante este periodo (PPN =  $-0.62 \text{ T ha}^{-1}$ , en Diciembre 2010).

### 3.1.2. Balance anual de PPN, $R_{NOC}$ y PPD

Se ha determinado a escala anual los valores de PPN, PPD y  $R_{NOC}$  sobre dos años consecutivos (Año 1: 07/2009 - 06/2010; Año 2: 07/2010 - 06/2011) para cada plantación (Tabla 1, Figs. 6a-b).

Tabla 1. Valores anuales ( $\text{T ha}^{-1}$ ) de PPN, PPD y  $R_{NOC}$  en las dos plantaciones

	<b>PPN</b>	<b>PPD</b>	<b><math>R_{NOC}</math></b>
<b>Plantación adulta</b>			
Año 1	17.39	37.04	-19.66
Año 2	17.01	36.96	-19.91
<b>Media</b>	<b>17.20</b>	<b>37.00</b>	<b>-19.78</b>
<b>Plantación joven</b>			
Año 1	10.69	23.11	-12.43
Año 2	14.17	28.39	-14.50
<b>Media</b>	<b>12.43</b>	<b>25.75</b>	<b>-13.47</b>

Para la plantación adulta, la captación neta anual de  $\text{CO}_2$  (PPN) es muy similar en los dos años, alcanzando más de  $17 \text{ T ha}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ . Son también muy similares las cantidades de  $\text{CO}_2$  fijadas durante el periodo diurno ( $\text{PPD} = 37 \text{ T ha}^{-1}$ ), lo que



representa más del doble de la captación neta. La cantidad de CO<sub>2</sub> emitida por el ecosistema durante la noche ( $R_{NOC} \approx -20 \text{ T ha}^{-1}$ ) es ligeramente superior a la PPN.

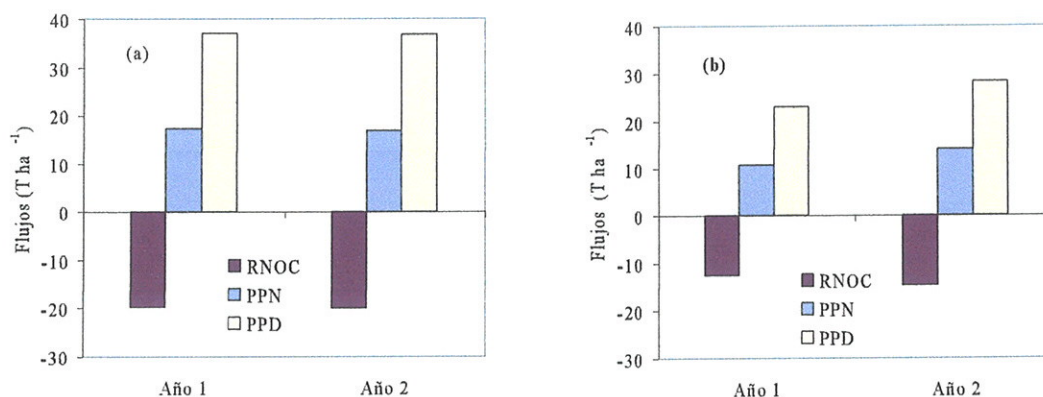


Figura 6. Valores anuales de captación neta de CO<sub>2</sub> (PPN), captación diurna (PPD) y respiración nocturna del ecosistema ( $R_{NOC}$ ) en las dos parcelas de naranjos: (a) plantación adulta (b) plantación joven. Año 1 = Julio 2009-Junio 2010; Año 2 = Julio 2010-Junio 2011.

Para la plantación joven, la captación neta anual de CO<sub>2</sub> es más elevada en el segundo año ( $PPN \approx 14.2 \text{ T ha}^{-1}$ ) que en el primer año ( $PPN \approx 10.6 \text{ T ha}^{-1}$ ), lo que traduce el crecimiento importante de los árboles jóvenes que aún no han alcanzado su potencial máximo en términos de captación neta de CO<sub>2</sub>. Incrementan también las cantidades de CO<sub>2</sub> fijadas durante el periodo diurno ( $PPD = 28.4 \text{ T ha}^{-1}$  frente a  $23.1 \text{ T ha}^{-1}$ ), y la respiración nocturna ( $R_{NOC} \approx -14.5 \text{ T ha}^{-1}$  frente a  $-12.4 \text{ T ha}^{-1}$ ). Notar que en este caso también, las cantidades de CO<sub>2</sub> emitidas durante la noche son del mismo orden de magnitud que la PPN. Estas cifras demuestran el papel preponderante de los procesos de respiración en el balance de carbono de los ecosistemas y en su capacidad de sumidero.

En valores acumulados sobre los dos años, la plantación adulta ha captado cerca de  $37,5 \text{ T ha}^{-1}$ , frente a los  $24,8 \text{ T ha}^{-1}$  de la plantación joven, con una evolución temporal relativamente similar para las dos plantaciones (Fig. 7). Notar la ralentización de la captación de CO<sub>2</sub> durante el invierno 2010-2011, debido al aumento de la respiración del ecosistema en respuesta a la fuerte humedad del suelo consecutiva a un invierno bastante lluvioso. El descenso ha sido más acusado en la plantación adulta, en la que se ha practicado una poda de chupones que ha podido repercutir en una mayor tasa de respiración.

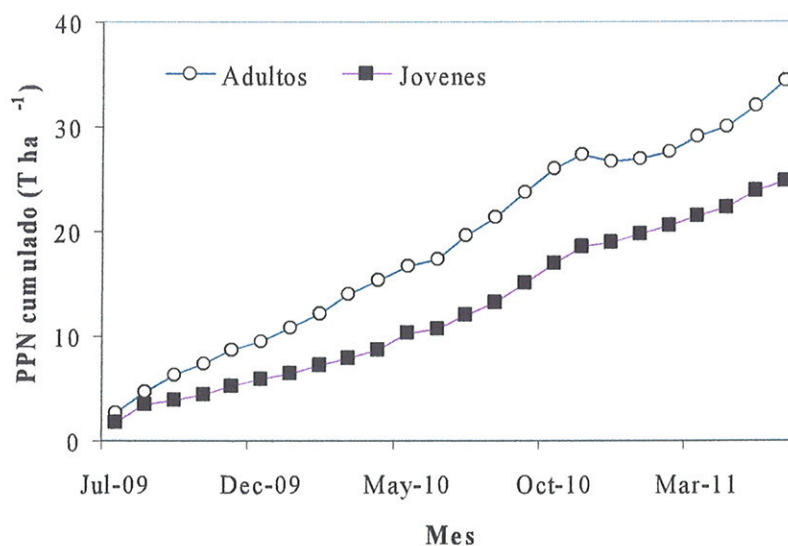


Figura 7. Valores acumulados de la captación neta de CO<sub>2</sub> por las plantaciones, periodo Julio 2009-Junio 2011.

### 3.2. Análisis de los factores actuando sobre la respiración del suelo

#### 3.2.1. Contenido de carbono y de nitrógeno del suelo

La determinación del contenido de carbono y nitrógeno del suelo, realizada en la parcela de naranjos adultos, no muestra diferencias significativas entre periodos analizados (invierno y primavera) ni entre transectos para los parámetros siguientes: materia orgánica total, materia orgánica oxidable y nitrógeno que alcanzan unos valores medios de  $3,02 \pm 0,28\%$ ;  $2,29 \pm 2,24\%$  y  $0,14 \pm 0,02\%$  respectivamente. Tampoco se obtuvieron diferencias significativas entre periodos ni transectos para el carbono total y carbono oxidable, siendo los valores medios de  $1,73 \pm 0,18\%$   $1,33 \pm 0,14\%$  respectivamente. Para la relación C/N existen diferencias entre primavera e invierno para el transecto Z1-3 (zona de los goteros), con un valor de  $14,37 \pm 0,41\%$  en primavera frente a  $11,40 \pm 1,09\%$  en invierno; lo que indica una mayor secuestro de carbono en este periodo. Para el periodo de invierno se obtuvieron diferencias entre el transecto Z1-3 y Z6-8, con valores de  $11,40 \pm 1,09\%$  frente a  $13,17 \pm 1,37\%$  respectivamente.

En la Figura 8 se muestra la evolución de la respiración del suelo durante un día de invierno (06/12/2011) para los diferentes transeptos. Se observa una diferencia de la respiración entre el centro de la calle y la línea de gotero durante todo el día, siendo superior en el centro de la calle. Esto puede ser debido a que en la capa superficial del suelo hay mayor actividad microbiana debido a la descomposición de materia orgánica depositada tras la poda. Sin embargo, en los otros dos transeptos de medida (Z1-3 y Z4-5) los valores de  $R_s$  no difieren entre ellos, siguiendo una tendencia similar a lo largo del día, con una variabilidad mucho menor.

Al integrar los valores promedio de la evolución diaria de la respiración de suelo, realizada en naranjos adultos el día 6 de diciembre de 2011 (Figura 8), obtenemos los siguientes valores de  $R_s$  acumulados entre las 8 y las 16 h (TU): 2,36  $g_C m^{-2}$ , 4,19  $g_C m^{-2}$ , 11,04  $g_C m^{-2}$  para Z1-3, Z4-5 y Z6-8, respectivamente. Si hacemos la media ponderada de estos valores obtenemos que el valor integrado de la respiración entre las 8 y las 16h es igual a 7.87  $g_C m^{-2}$ .

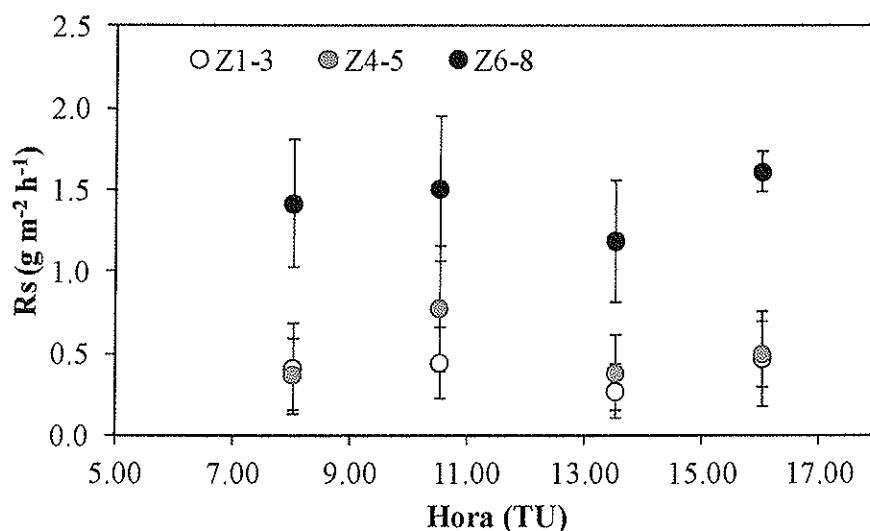


Figura 8. Evolución de la respiración del suelo durante un día de invierno (06/12/2011) para los diferentes transeptos en los naranjos adultos.

### 3.2.2. Distribución y variabilidad espacial de la respiración del suelo ( $R_s$ )

En 2010,  $R_s$  tiende a aumentar en la zona del pasillo en la finca de naranjos adultos (Figura 9, izquierda), debido a una mayor actividad microbiana que provoca la descomposición de la poda depositada en el pasillo. Sin embargo, en la finca de naranjos jóvenes, sin depósito de poda en el pasillo,  $R_s$  tiende a disminuir con el contenido de agua en el suelo, obteniendo valores más bajos de respiración en la zona seca del pasillo (Figura 9, derecha).

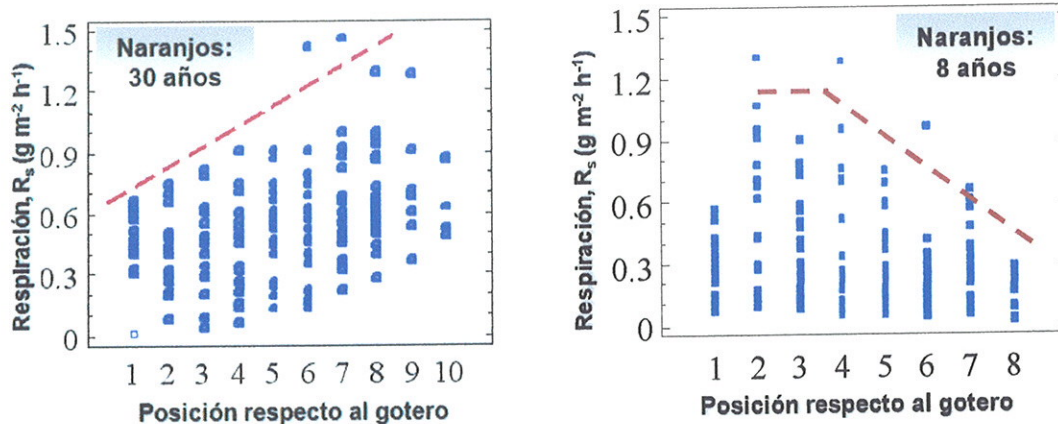


Figura 9. Valores de respiración del suelo ( $g_{CO_2}\ m^{-2}\ h^{-1}$ ) para las diferentes posiciones respecto al gotero en la finca de naranjos adultos (izquierda) y la finca de naranjos jóvenes (derecha), para el año 2010. Las líneas discontinuas representan el límite superior de la respiración en cada finca.

Para el año 2011, el comportamiento de  $R_s$  ha sido diferente del observado el año anterior (Figura 10). En la finca de naranjos adultos se han registrado valores puntuales de  $R_s$  superiores a los de 2010 en la línea de gotero y con mayor variabilidad. Sin embargo, en la finca de naranjos jóvenes  $R_s$  alcanza menor variabilidad entre las diferentes zonas de estudio, siendo la tasa de respiración menor que el año anterior. Además, en 2011 se comenzaron a incluir los restos de poda en la zona de la calle, por lo que se hacen más complejas la interpretación y comparación de los datos entre los años 2010 y 2011.

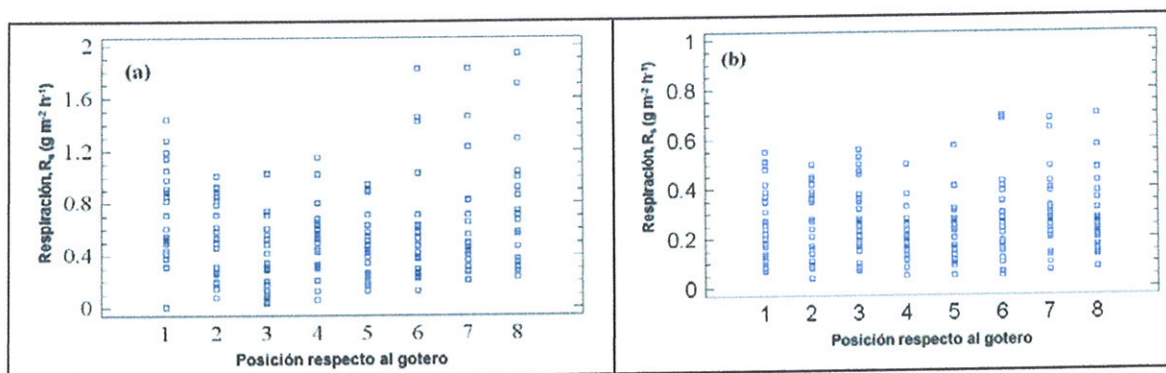


Figura 10. Valores de respiración del suelo ( $g\ m^{-2}\ h^{-1}$ ) para las diferentes posiciones respecto al gotero en la finca de naranjos adultos (a) y la finca de naranjos jóvenes (b), para el año 2011.



### 3.2.3. Relaciones entre $R_s$ y variables del suelo

En la finca de naranjos jóvenes,  $R_s$  se ha estimado a partir de la temperatura y la humedad del suelo (o la evaporación) con cierta precisión ( $R^2=0,75$ ;  $RMSE=0,10 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Las zonas cercanas a la línea de goteros muestran una fuerte respuesta a la temperatura, con valores de  $Q_{10}$  muy altos ( $=5$ ) debido a la respiración de las raíces y a la fertilización. En el pasillo los valores  $Q_{10}$  son mucho más bajos (1,08) (Figura 11). En la gama de humedad del suelo estudiada,  $R_s$  alcanza un máximo para  $\theta = 0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , por encima del cual disminuye sensiblemente debido, probablemente, a un déficit de oxígeno.

En el caso de los naranjos adultos, la existencia de periodos con fuerte actividad de descomposición de materia orgánica (residuos de poda), añade una complejidad suplementaria.

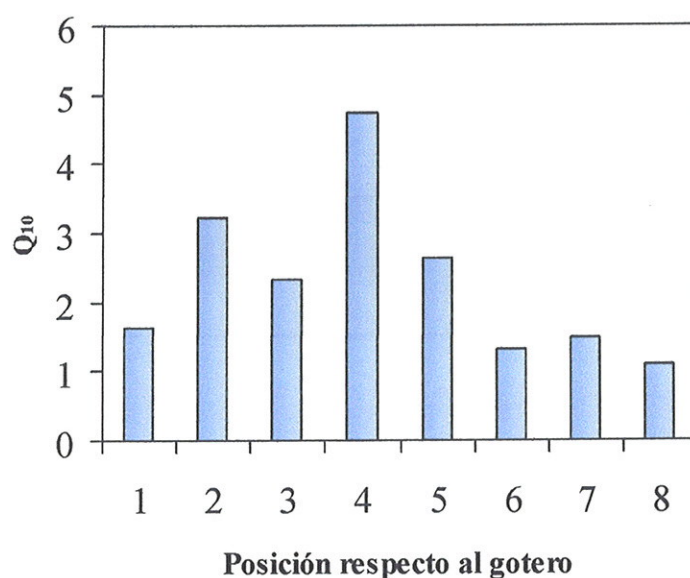


Figura 11. Valores de  $Q_{10}$  para las diferentes posiciones respecto al gotero en la finca de naranjos jóvenes.

En los naranjos jóvenes para el año 2010, se obtuvo una fuerte respuesta de la respiración del suelo a la temperatura ( $Q_{10} = 4,75$ ) (Figura 12a) en zonas donde hay mayor contenido de agua y probablemente mayor densidad de raíces. Sin embargo,  $R_s$  es prácticamente insensible a  $T_s$  ( $Q_{10} = 1,08$ ) (Figura 12b) en zonas secas y con menor densidad radicular.

En 2011 la respuesta de la respiración a la temperatura en general fue menor. Para el transecto intermedio (Z4-5) fue más baja ( $Q_{10}=1,26$ ; Figura 12 d). Una posible justificación puede ser una menor pluviometría en 2011. La lluvia acumulada en 2010



fue de 362 L/m<sup>2</sup> mientras en que 2011 fue de 210 L/m<sup>2</sup>. Para la zona de los goteros (Z1-3) los valores de Q<sub>10</sub> en 2010 fueron de Q<sub>10</sub>=2,25 (Figura 13a) frente a los valores observados en 2011 (Q<sub>10</sub>=1,62 para Z3) (Figura 12c).

Si hacemos la hipótesis de que la densidad de raíces es baja en el transepto Z6-8, las diferencias entre la respiración de la calle y la línea de gotero y entre la respiración de la calle y el transepto Z4-5, nos dan una indicación del impacto de la temperatura en la respiración radicular (Figura 13a). Estas diferencias se han calculado para 2010 año en el que no se incorporaron los restos de poda al suelo en la zona de la calle. En 2011, se observa un descenso de la respiración en la línea de gotero y en la zona Z4-5 (Figura 13b).

Se propone una estimación de R<sub>s</sub> en función de la temperatura del suelo y del contenido volumétrico de agua en el suelo a partir de la ecuación:

$$R_s = R_s(T_r) \cdot Q_{10} \left( \frac{T - T_r}{10} \right) \cdot \left[ a \theta_s \left( \frac{b \theta_s^2}{-c \theta_s} \right) \right]$$

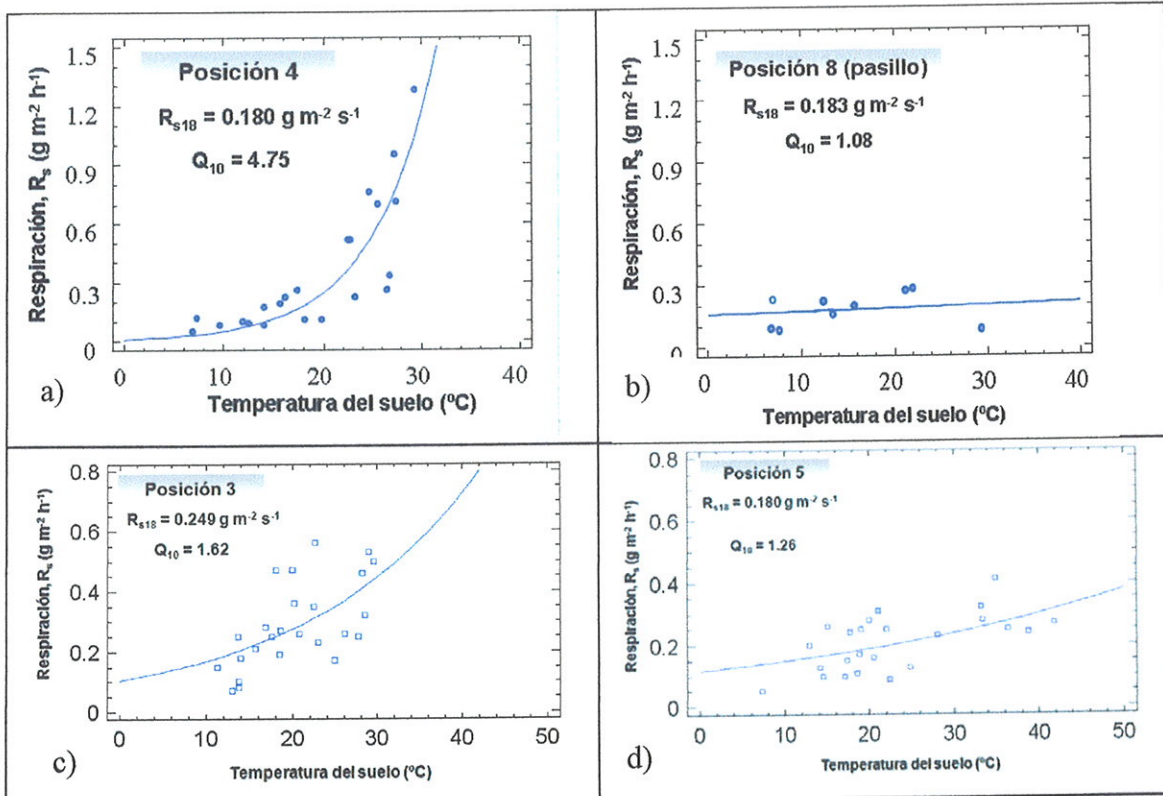
siendo R<sub>s</sub>(T<sub>r</sub>) = a la respiración calculada a una la temperatura de referencia T<sub>r</sub>. Los valores calculados para los parámetros de la ecuación son: a=7,81, b=8,44 y c=0,86 para el año 2010, con un R<sup>2</sup> de 0.77 y un error estándar de 0.19

También se puede obtener una buena estimación de R<sub>s</sub> utilizando la evaporación del suelo en lugar de θ:

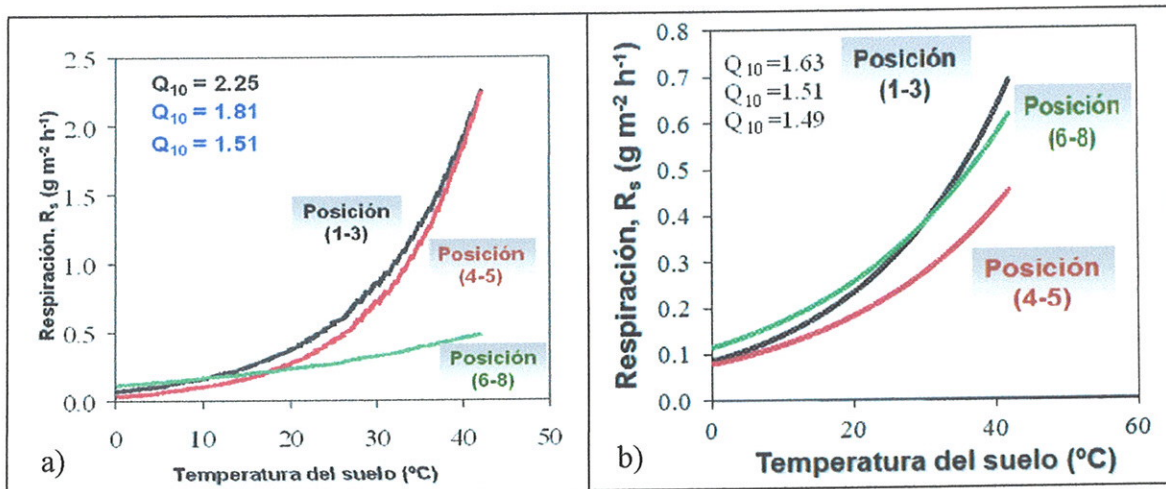
$$R_s = R_{s18} \cdot Q_{10} \left( \frac{T_s - 18}{10} \right) \cdot (a' + b' \cdot E_s) \quad )$$

con a' = 0.523 y b' = 0.00377

Se presenta en el anejo A2 un análisis más detallado de los valores ponderados de R<sub>s</sub> en función de diferentes variables edáfoclimáticas que afectan a R<sub>s</sub> (temperatura y humedad de suelo, tasa de evaporación del suelo, precipitaciones).



Figuras 12. Respuesta de  $R_s$  a la temperatura para los naranjos jóvenes. a) año 2010 posición 4; b) año 2010 posición 8; c) año 2011, posición 3 y d) año 2011, posición 5.



Figuras 13. Curvas de respiración en función de la temperatura para los naranjos jóvenes, en los diferentes transectos de medida; a) año 2010 y b) año 2011.

## 4 --Conclusión

El presente estudio demuestra que el potencial de sumidero de CO<sub>2</sub> de plantaciones de naranjos regados es elevado. Para plantaciones adultas, con podas regulares, el potencial parece haberse estabilizado alrededor de 17 a 18 T ha<sup>-1</sup>. Para plantaciones jóvenes (8 años al principio del estudio), este potencial sigue aumentando sustancialmente de un año al otro, pasando de 10.6 a 14.2 T ha<sup>-1</sup>, indicando que están aún lejos de haber alcanzado su potencial máximo de de sumidero.

Dentro de los otros resultados relevantes, cabe destacar la clara influencia de la poda y de su posterior descomposición, siendo esta influencia especialmente notable en la producción primaria diurna, PPD. Esta disminución de PPD, y entonces de PPN, se puede atribuir en parte a la respiración de los desechos de poda y por otra parte a un menor índice foliar, que se repercute en una menor fotosíntesis a escala de la plantación en periodo diurno. El efecto de la poda puede tener un alcance relativamente largo, hasta 2 a 3 meses, dependiendo de la rapidez del proceso de descomposición, que puede ser acelerado por las lluvias y/o las altas temperaturas.

Otro resultado destacable es la similitud en las dos plantaciones de la respuesta de PPN a los eventos de lluvia.. Estos “pulsos” de respiración creados por el humedecimiento de las capas superficiales del suelo - eventualmente asociados a la descomposición de la litera y hojarasca - ritman la dinámica de captación de CO<sub>2</sub> de los ecosistemas en regiones semiáridas como Murcia. Cuando estos pulsos se repiten de forma regular y prolongada, como en el invierno 2010-11, la PPN puede alcanzar valores negativos, como observado en el mes de Diciembre 2010 en la plantación adulta. En este mes, la combinación de una poda con una sucesión de lluvias de intensidad media-baja ha probablemente tenido un efecto de sinergia en cuanto al aumento de la respiración del ecosistema.

En fin, las medidas de respiración del suelo que se han realizado y su posterior análisis en función de variables edafoclimáticas han demostrado la gran variabilidad espacial de esta componente, debida principalmente a la localización del riego. A esta variabilidad espacial se añade una gran variabilidad temporal, debida a eventos singulares como lluvias y podas. Estos aspectos espaciotemporales hacen especialmente complejas la tarea de modelización de la respiración del suelo en este tipo de agrosistema (regadío, y por consiguiente, la modelización de la captación neta de CO<sub>2</sub> en agrosistemas de regadío.

## Bibliografia

- Aubinet, M., Moureaux, C., Bodson, B., Dufranne, D., Heinesch, B., Suleau, M., Vancutsem, F., Vilret, A. 2009. Carbon sequestration by a crop over a 4-year sugar beet/winter wheat/seed potato/winter wheat rotation cycle. *Agricultural Forest Meteorology* 149, 407–418.
- Baldocchi, D.B., Hicks, B.B., Meyers, T.P., 1988. Measuring biosphere–atmosphere exchange of biologically related gases with micrometeorological methods. *Ecology* 69, 1331–1340.
- Baldocchi, D. D. 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rate of ecosystem: past, present and future. *Global Change Biology*, 9, 479–492.
- Grossman, Y.L., DeJong, T.M., 1998. Training and pruning system effects on vegetative growth potential, light interception and cropping efficiency in peach trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 123 (6), 1058–1064.
- Janssens, I.A., Freibauer, A., Ciais, P., Smith, P., Nabuurs, G.J., Folberth, G., Schalamadinger, B., Hutjes, R.W.A., Ceulemans, R., Schulze, E.D., Valentini, R., Dolman, H., 2003. Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12% of European anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions. *Science* 300, 1538–1542
- Liguori, G., Gugliuzza, G., Inglese, P. 2009. Evaluating carbon fluxes in orange orchards in relation to planting density. *Journal of Agricultural Science* 147, 637–645.
- Mirás-Avalo, J.M., Egea, G., Nicolás, E., Génard, M., Vercambre, G., Moitrier, N., Valsesia, P., González-Real, M.M., Bussi, C., Lescourret, F. 2011. QualiTree, a virtual fruit tree to study the management of fruit quality. II. Parameterisation for peach, analysis of growth-related processes and agronomic scenarios. *Trees Structure and Function* 25, 785–799.
- Kimmins, J.P., 1997. *Forest Ecology*. Pearson Prentice Hall, NJ.
- Robertson, G.P., Paul, E.A., Harwood, R.R., 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture, contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289 (5486), 1922–1925.
- Sofa, A., Nuzzo, V., Palese, A.M., Xiloyannis, C., Celano, G., Zukowskyj, P., Dichio B. 2005. Net CO<sub>2</sub> storage in mediterranean olive and peach orchards. *Scientia Horticulturae* 107, 17–24.
- West, T.O., Marland, G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems, and Environment* 91, 217-232



## ANEJO A.1

### La técnica de correlación de remolinos

El sistema completo de “Correlación de Remolinos” (Eddy Covariance, EC) lleva asociada una torre con sensores de radiación global solar incidente y reflejada (albedómetro formado por dos piranómetros), de radiación de onda larga (pirgeómetros para medir la radiación atmosférica y la radiación emitida por la superficie) y pirradiómetros para medir la radiación neta (Figura A1.1, a, b, c). También se han instalado radiotermómetros (Figura A1.1, d) para medir la temperatura de superficie de las plantas y del suelo y placas de flujo de calor enterradas en el suelo (HFP01; Hukseflux, Delft, Holanda) para medir el flujo de calor por conducción.

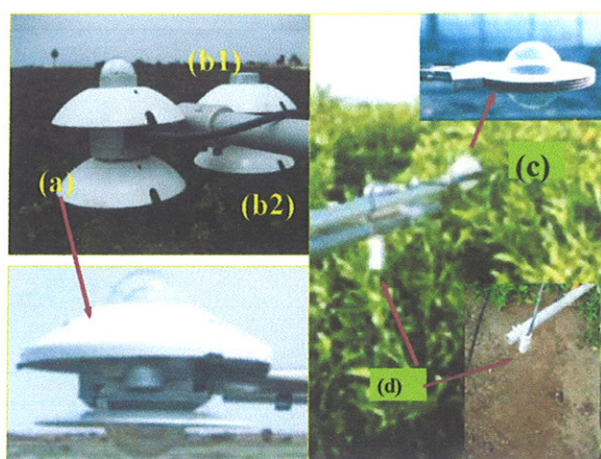


Figura A1.1. (a) Sensores de radiación global solar incidente y reflejada (albedómetro), (b) de radiación de onda larga (pirgeómetros para medir la (b1) radiación atmosférica y la radiación emitida por la superficie (b2)) y (c) de radiación neta. (d) Medida de la temperatura de superficie con radiotermómetros.

La técnica de correlación de remolinos consiste en tomar muestras a elevada frecuencia de intercambios turbulentos del aire en la atmósfera. Los movimientos ascendentes/descendentes del aire forman remolinos que transportan cantidad de movimiento y, al mismo tiempo, calor sensible, vapor de agua y  $\text{CO}_2$ . Con este muestreo de alta frecuencia se puede determinar el intercambio neto, de un determinado escalar (vapor de agua,  $\text{CO}_2$  u otro gas), entre la superficie estudiada (suelo, vegetación) y la atmósfera (Baldocchi et al, 2003). El flujo de  $\text{CO}_2$  medido por las instalaciones de EC incluye la contribución de la *vegetación más la del suelo*. En términos científicos, se habla del Intercambio Neto de  $\text{CO}_2$  del Ecosistema (INE, g, kg, Tn de  $\text{CO}_2$  por unidad de superficie y de tiempo). En inglés, se conoce como ‘Net Ecosystem Exchange’ (NEE).

La medida directa del flujo de  $\text{CO}_2$  ( $F_c$ ) con el método de EC se basa en la relación:



$$\overline{F_c} \approx \rho \overline{w'q'}$$

donde  $w'$  y  $c'$  representan respectivamente las fluctuaciones de velocidad vertical y de concentración de CO<sub>2</sub> y  $\rho$  es la densidad del aire húmedo. En la práctica,  $F_c$  se determina midiendo las fluctuaciones  $w'$  y  $c'$  (Figura A1.2) y calculando después el valor promedio de la correlación cruzada de las fluctuaciones sobre un periodo apropiado de tiempo, que suele ser del orden de 15-30 minutos, e incluso de una hora o más.

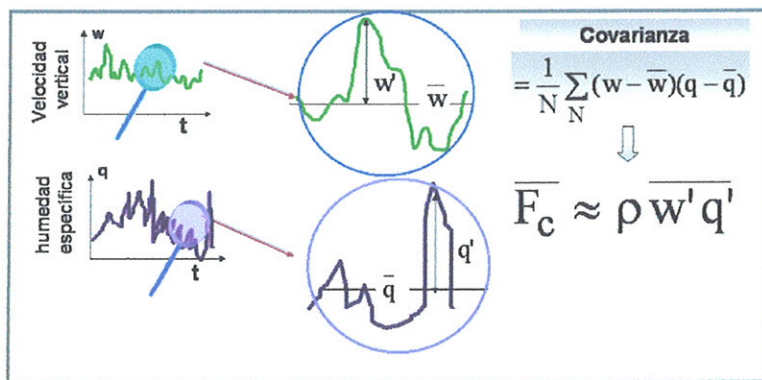


Figura A1.2  
Intercambio neto de CO<sub>2</sub> del ecosistema ( $F_c$ ), calculado con la técnica de Eddy covariance a partir de la covarianza entre la fluctuación vertical del viento ( $w'$ ) y la fluctuación vertical de la concentración de CO<sub>2</sub> del aire ( $q'$ ).

## ANEJO A2

### **Análisis de la respiración del suelo $R_s$ en función de variables edafoclimáticas**

La Tabla A2.1 recapitula los valores ponderados de las tasas de respiración ( $R_s$ ) y de evaporación del suelo ( $E_s$ ), de la temperatura ( $T_s$ ) y del contenido volumétrico de agua en el suelo ( $\theta$ ) en los tres transectos del suelo y para las cuatro temporadas del año 2011 en la finca de naranjo adultos. Se dan también las precipitaciones (lluvia) acumuladas en cada temporada.

#### **Naranjos adultos**

Se observa una variación anual más acusada de la respiración en el transecto Z1-3, que corresponde a la línea de gotero, con valores máximos de  $R_s$  de  $0.809 \pm 0.216 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  en verano y mínimos en invierno ( $0.243 \pm 0.164 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Entre la calle y la línea de gotero (Z4-5), la respiración sigue una evolución anual similar a la del bulbo húmedo. Conforme aumenta la distancia al bulbo húmedo, aumenta la variabilidad de las medidas. En el pasillo (Z6-8), la respiración no disminuye tanto en invierno como en Z1-3, sin embargo, coincidiendo con las épocas de mayor precipitación se producen mayores variaciones de  $R_s$ . En todos los periodos, se observan diferencias significativas de  $R_s$  entre los diferentes transectos (Z1-3, Z4-5 y Z6-8). También son significativas las diferencias de contenido en humedad del suelo ( $\theta$ ) entre los diferentes transectos (Tabla A.2.1). La diferencia de contenido en humedad del suelo entre 2010 y 2011 pueden deberse a una disminución de las lluvias que disminuyen la humedad en los transectos Z4-5 y Z6-8.

La tasa de evaporación ( $E_s$ ,  $\text{W m}^{-2}$ ) a lo largo de la línea de gotero (Z1-3) sigue una evolución similar en los dos años de estudio, con valores medios en invierno del orden de  $15 \text{ W m}^{-2}$  y en verano de  $25 \text{ W m}^{-2}$ . La tasa de evaporación máxima se ha medido en Junio de 2010 ( $46 \text{ W m}^{-2}$ ). En el transecto Z4-5, se observa una mayor variabilidad de  $E_s$ , mientras que en el centro de la calle (Z6-8)  $E_s$  está claramente influenciada por las lluvias. En periodos sin lluvia, como el verano de 2011, las tasa de evaporación del suelo es prácticamente despreciable.

En verano, se observan diferencias significativas de  $T_s$  entre los diferentes transectos de medida (Tabla A.2.1). La temperatura del suelo aumenta al aumentar la

distancia con respecto a la línea de goteros, debido a una disminución significativa de  $\theta$ , y de la tasa de evaporación.

En general, los valores medios de temperatura de suelo obtenidos en 2011 fueron más elevados ( $17,7 \pm 6,40^\circ\text{C}$ ) que en 2010 ( $16,5 \pm 5,93^\circ\text{C}$ ), debido esencialmente a una reducción de las lluvias durante 2011.

En otoño e invierno de 2011, la temperatura del suelo fue similar en los tres transeptos. En cambio, en primavera y verano del mismo año la temperatura más elevada se alcanzó en el transepto Z6-8 ( $20,03 \pm 2,75^\circ\text{C}$  y  $29,57 \pm 5,03^\circ\text{C}$ , respectivamente, Tabla A2.1), con valores significativamente más altos que en los otros dos transeptos, debido a la disminución de lluvias durante esos periodos en comparación con el año anterior. Analizando cada transepto a lo largo de los cuatro periodos de 2011, solo se obtuvieron diferencias significativas entre los cuatro periodos para el transepto Z6-8 (centro calle). Para los transeptos Z1-3 y Z4-5, no se obtuvieron diferencias significativas entre otoño y primavera.

Las precipitaciones disminuyeron considerablemente en verano de 2011 con respecto al mismo periodo en 2010 ( $39,4 \pm 0,2$  mm y  $10,2 \pm 0,2$  mm, respectivamente). Esto explica las diferencias observadas entre los valores ponderados de  $\theta$  para los tres transeptos, con valores significativamente más bajos en el verano de 2011 que en el 2010 (Tabla x2). No existen valores ponderados de  $\theta$  en invierno de 2010 para poder comparar con el invierno de 2011, pero la cantidad de lluvia en ese periodo fue la mitad del año anterior ( $160,6 \pm 0,2$  mm en 2010 y  $76,8 \pm 0,2$  mm en 2011). La única variable que no presenta diferencias significativas entre los dos años de estudio fue la temperatura. Por lo tanto, las diferencias entre los valores ponderados globales de  $R_s$  y de  $E_s$  en 2010 y 2011 en la finca de naranjos adultos se deben sobre todo a diferencias de  $\theta$ .

Tabla A2.2. Comparación de los valores medios, correspondientes a los tres transeptos de tasa de respiración ( $R_s$ ) y de evaporación del suelo ( $E_s$ ), de temperatura del suelo ( $T_s$ ), y de contenido volumétrico de agua en el suelo (teta) entre el año 2010 y el año 2011 en la finca de naranjos adultos. Los valores de  $R_s$ ,  $E_s$  y de teta corresponden a valores ponderados con respecto a la superficie del suelo.

Periodo	Año	$R_s$ ( $g\ m^{-2}\ h^{-1}$ )	$E_s$ ( $g\ m^{-2}\ h^{-1}$ )	$T_s$ ( $^{\circ}C$ )	Lluvia (mm)	Teta ( $m^3\ m^{-3}$ )
Invierno	2010	0.245±0.053 a	14.85±4.54 a	9.42±1.30 a	160.6±0.2	-
	2011	0.382±0.073 b	15.13±3.45 a	10.44±1.48 a	76.8±0.2	0.307±0.013
Primavera	2010	0.573±0.121 a	33.72±8.34 a	17.94±2.12 a	74.8±0.2	0.312±0.037 b
	2011	0.712±0.097 b	31.16±5.27 a	18.13±1.31 a	49.2±0.2	0.262±0.024 a
Verano	2010	0.626±0.114 b	35.25±7.05 b	24.01±1.48 a	39.4±0.2	0.340±0.051 b
	2011	0.490±0.069 a	23.24±4.79 a	26.59±2.01 a	10.2±0.2	0.222±0.013 a
Otoño	2010	0.548±0.086 a	32.69±12.72 b	14.94±1.98 a	86.8±0.2	0.283±0.030 a
	2011	0.472±0.230 a	23.21±6.82 a	16.15±1.57 a	73.6±0.2	0.288±0.042 a
Misma letra en la columna significa que no hay diferencias significativas al 95% (Test Tukey HSD).						
*: total acumulado de la lluvia (mm) en cada periodo.						

Tabla A2.1. Tasas de respiración ( $R_s$ ) y de evaporación del suelo ( $E_s$ ), valores de temperatura de suelo ( $T_s$ ), de lluvia y de contenido volumétrico de agua en el suelo ( $\theta$ ) para los tres transeptos estudiados a lo largo del año 2011 en la finca de naranjo adultos.

Periodo	Transecto	$R_s$ ( $g\ m^{-2}\ h^{-1}$ )	$E_s$ ( $g\ m^{-2}\ h^{-1}$ )	$T_s$ ( $^{\circ}C$ )	$\theta$ ( $m^3\ m^{-3}$ )	Lluvia <sup>a</sup> (mm)
Invierno	Z1-3	0.306±0.165 a A	22.37±12.58 a A	10.4±2.30 a A	0.336±0.034 a AB	76.84±0.2
	Z4-5	0.334±0.175 a A	21.35±14.27 a A	10.64±2.71 a A	0.290±0.015 b A	
	Z6-8	0.679±0.349 b AB	26.01±12.40 a AB	10.53±2.42 a A	0.318±0.011 ab A	
	media	0.382±0.073	15.13±3.85	10.44±1.48	0.307±0.013	
Primavera	Z1-3	0.809±0.216 a B	29.48±6.16 a AB	17.35±1.91 a B	0.229±0.042 a A	49.2±0.2
	Z4-5	0.723±0.229 b B	27.95±11.85 a B	17.24±1.91 a B	0.264±0.042 b A	
	Z6-8	0.809±0.35 b A	33.07±9.74 a C	20.03±2.75 b B	0.233±0.042 b B	
	media	0.712±0.097	31.16±5.27	18.13±1.31	0.262±0.024	
Verano	Z1-3	0.619±0.209 a C	40.88±6.98 a B	25.46±1.31 a C	0.328±0.066 a A	10.2±0.2
	Z4-5	0.564±0.144 a B	26.52±10.90 b B	24.58±1.3 a C	0.167±0.022 b B	
	Z6-8	0.335±0.078 b B	11.55±7.25 c A	29.57±5.03 b C	-	
	media	0.490±0.069	23.24±4.79	26.59±2.01	0.222±0.013	
Otoño	Z1-3	0.243±0.164 a A	32.13±23.10 a A	15.98±3.23 a B	0.371±0.032 a B	73.6±0.2
	Z4-5	0.459±0.188 a A	23.48±13.72 a B	16.37±2.96 a B	0.282±0.059 b A	
	Z6-8	0.407±0.190 b A	19.60±7.85 a B	16.33±2.75 a D	0.256±0.089 b AB	
	media	0.472±0.232	23.21±6.82	16.15±1.57	0.288±0.042	

Se señalan diferencias significativas al 95% (Test Tukey HSD) entre transeptos (minúsculas) y entre periodos para un mismo transecto (mayúsculas).  
<sup>a</sup>: total acumulado de la lluvia (mm) en cada periodo.



## Naranjos jóvenes

En la finca de naranjos jóvenes se observó la temperatura más elevada en el transepto Z4-5 en el año 2011 ( $36,71 \pm 4,56$  °C) (Tabla A2.3). La temperatura mínima se alcanzó en el año 2010 en la zona de goteros (transepto Z1-3 con  $10,92 \pm 1,69$  °C). Se observan diferencias significativas de  $T_s$  en los periodos de primavera y verano entre el bulbo húmedo y el resto de transeptos. Si analizamos cada transepto por separado, también existen diferencias significativas, entre los diferentes periodos, en todos los transeptos de medida (Tabla A2.3).

Se encuentran diferencias significativas de  $\theta$  entre los transeptos Z1-3 y Z6-8 en todas las estaciones del año, salvo en otoño en el que existen diferencias entre el transepto Z4-5 y el resto de zonas de medida. Comparando los diferentes periodos, para un mismo transepto, existen diferencias significativas de  $\theta$  entre todos los periodos para Z1-3, Z4-5 y Z6-8 en 2011 (Tabla A2.3). Sin embargo, no existen diferencias significativas de tasa de evaporación entre transeptos de medida en primavera. Las medidas realizadas en los transeptos Z6-8 y Z4-5 siguen una evolución similar en 2011, sin diferencias significativas en primavera, verano y otoño, a diferencia del bulbo húmedo en el que no hay diferencias significativas con el resto de transeptos en primavera de 2011 (Tabla A2.3). En las épocas con ausencia de lluvia, se obtienen los valores más bajos de  $E_s$  y en periodos de precipitaciones aumenta la evaporación con una desviación considerable.

Se observa una disminución de  $R_s$  entre 2010 y 2011, con valores superiores el primer año de estudio ( $0,532 \pm 0,224$  g m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), con valores máximos en verano y mínimos en invierno ( $0,108 \pm 0,035$  g m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>). Existen diferencias significativas en  $R_s$  entre la zona de goteros (Z1-3) y el centro de la calle (Z6-8) para los periodos de invierno y verano de 2011 (Tabla A2.3). Si comparamos los valores observados de cada transepto por separado en 2011, se observa que no existen diferencias significativas entre el invierno y el otoño para los tres transeptos, y entre el verano y la primavera, excepto en el transepto Z6-8 en 2011 (Tabla A2.3).

Tabla A2.3. Valores de tasa de respiración ( $R_s$ ) y de evaporación del suelo ( $E_s$ ), de temperatura de suelo ( $T_s$ ), de lluvia y de contenido volumétrico de agua en el suelo ( $\theta$ ) para los tres transeptos estudiados a lo largo del año 2011, para naranjos jóvenes.

Periodo	Transecto	$R_s$ ( $g\ m^{-2}\ h^{-1}$ )	$E_s$ ( $g\ m^{-2}\ h^{-1}$ )	$T_s$ ( $^{\circ}C$ )	$\theta$ ( $m^3\ m^{-3}$ )	Lluvia <sup>a</sup> (mm)
Invierno	Z1-3	0.153±0.066 a A	37.32±10.34 ab AB	11.86±3.67 a A	0.297±0.054 a A	76.84±0.2
	Z4-5	0.165±0.069 a A	53.04±22.50 a A	14.36±5.21 a A	0.331±0.021 b A	
	Z6-8	0.253±0.064 b A	35.02±20.29 b A	14.30±5.07 a A	0.252±0.022 b A	
	media	0.205±0.040	39.79±11.57	13.17±3.13	0.281±0.016	
Primavera	Z1-3	0.373±0.147 a B	38.03±15.42 a AB	21.66±2.68 a B	0.209±0.063 a B	49.2±0.2
	Z4-5	0.281±0.146 a B	42.74±23.76 a A	25.22±4.16 b B	0.197±0.039 ab B	
	Z6-8	0.393±0.156 a B	38.50±16.03 a A	24.38±4.42 ab B	0.170±0.028 b B	
	media	0.353±0.094	39.48±10.89	24.12±2.66	0.186±0.021	
Verano	Z1-3	0.339±0.096 a B	44.20±20.82 a B	28.63±2.02 a C	0.232±0.063 a B	10.2±0.2
	Z4-5	0.246±0.062 b AB	11.82±6.59 b B	36.71±4.56 b C	0.131±0.010 b C	
	Z6-8	0.254±0.057 b A	13.29±6.19 b B	34.86±5.32 b C	0.128±0.031 b B	
	media a	0.262±0.038	17.66±4.86	34.18±3.13	0.141±0.019	
Otoño	Z1-3	0.216±0.081 a A	30.44±12.13 a A	16.97±3.99 a D	0.237±0.069 a B	73.6±0.2
	Z4-5	0.173±0.048 a A	20.29±7.19 b B	18.69±4.15 a D	0.151±0.039 b C	
	Z6-8	0.242±0.198 a C	21.36±10.50 b B	19.24±4.40 a D	0.222±0.046 a A	
	media	0.214±0.109	22.68±6.91	18.75±2.68	0.195±0.032	

Se señalan diferencias significativas al 95% (Test Tukey HSD) entre transeptos (minúsculas) y entre periodos para un mismo transecto (mayúsculas).

<sup>a</sup>: total acumulado de la lluvia (mm) en cada periodo.

Si se comparan los valores ponderados de todas las variables estudiadas durante los dos años de estudio (Tabla A2.4), se observan diferencias significativas de  $\theta$  en todos los periodos, sin contar el invierno, periodo en el que no existen datos. Los valores ponderados de  $R_s$ ,  $E_s$  y  $\theta$  en verano difieren significativamente entre 2010 y 2011. Sin embargo, en invierno existen diferencias significativas solamente entre los valores de  $E_s$  de 2010 y 2011, mientras que en otoño y primavera, no existen diferencias significativas para ningún parámetro salvo para  $\theta$ , como ya se ha comentado anteriormente. Al igual que lo observado en la finca de naranjos adultos, la temperatura no presenta diferencias significativas entre los diferentes años de estudio.

Cabe resaltar que, a pesar de que existen diferencias significativas entre los valores de  $\theta$  observados en 2010 y 2011, la cantidad de agua en el suelo es inferior a la medida en naranjos adultos. Esto explica en parte que se observen menores diferencias entre las tasas de  $R_s$  y  $E_s$  medidas en los dos años

Tabla A2.4. Comparación de los valores medios, correspondientes a los tres transeptos, de tasa de respiración ( $R_s$ ) y de evaporación del suelo ( $E_s$ ), de temperatura del suelo ( $T_s$ ), y de contenido volumétrico de agua en el suelo ( $\theta$ ) entre el año 2010 y el año 2011 en la finca de naranjos jóvenes. Los valores de  $R_s$ ,  $E_s$  y de  $\theta$  corresponden a valores ponderados con respecto a la superficie del suelo.

Periodo	Año	$R_s$ ( $g\ m^{-2}\ h^{-1}$ )	$E_s$ ( $g\ m^{-2}\ h^{-1}$ )	$T_s$ ( $^{\circ}C$ )	Lluvia <sup>a</sup> (mm)	$\theta$ ( $m^3\ m^{-3}$ )
Invierno	2010	0.169±0.060 a	25.37±5.26 a	11.98±1.30 a	160.6±0.2	-
	2011	0.205±0.040 a	39.79±11.57 b	13.17±3.13 a	76.8±0.2	0.281±0.016
Primavera	2010	0.381±0.157 a	51.65±22.40 a	26.35±2.45 a	74.8±0.2	0.156±0.030 a
	2011	0.353±0.094 a	39.48±10.89 a	24.12±2.66 a	49.2±0.2	0.186±0.021 b
Verano	2010	0.352±0.107 b	37.56±14.76 b	28.10±3.08 a	39.4±0.2	0.181±0.042 b
	2011	0.262±0.038 a	17.66±4.86 a	34.18±3.13 a	10.2±0.2	0.141±0.019 a
Otoño	2010	0.200±0.073 a	22.98±8.87 a	16.74±5.88 a	86.8±0.2	0.181±0.022 a
	2011	0.214±0.109 a	22.68±6.92 a	18.75±2.68 a	73.6±0.2	0.195±0.032 b

Misma letra en la columna significa que no hay diferencias significativas al 95% (Test Tukey HSD).  
<sup>a</sup>: total acumulado de la lluvia (mm) en cada periodo.



## PARTE 2

### “Efecto de los factores edafoclimáticos en el balance de carbono de cultivos frutales en distintas zonas de la Región de Murcia”



#### **Han contribuido a los trabajos de terreno y laboratorio y a la redacción:**

:- Alejandro Pérez Pastor, Rafael Domingo Miguel, Profesores del Área de Producción Vegetal de la ETSIA-UPCT

.- José M<sup>a</sup> de la Rosa Sánchez, M<sup>a</sup> Rosario Conesa Saura, Raúl Zornoza becarios ETSIA-UPCT

*Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA)  
Departamento de Producción Vegetal  
Paseo Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena*

## **“Efecto de los factores edafoclimáticos en el balance de carbono de cultivos frutales en distintas zonas de la región de Murcia”**

### **1. Objetivos**

El Proyecto 2 que está llevando a cabo la UPCT en el marco del programa “Less CO<sub>2</sub>” de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de la Región de Murcia tiene como objetivo global establecer una metodología no destructiva, fiable y representativa de la estimación del balance neto de carbono en explotaciones frutícolas de la Región de Murcia, caracterizadas por una escasa disponibilidad de agua para el riego y un suelo con altos contenidos en carbonato cálcico y bajo contenido en materia orgánica; y de esta manera profundizar en el papel que la agricultura murciana ejerce en el calentamiento global de la atmósfera.

### **2. Metodología y protocolo experimental**

El estudio se desarrolló en una explotación comercial de nectarinos extratempranos (*Prunus pérsica*. L) cv. Flanoba, ubicada en el término municipal de Molina de Segura (Murcia). Los árboles presentaban 7 años de edad al inicio del estudio, con un marco de plantación de 5,5 m x 3,5 m, y regados con riego por goteo a partir de 2 laterales por hilera de árboles y 6 emisores por árbol de 2 L h<sup>-1</sup>. La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y pluviometría anual promediaron un valor de 1.360 mm·año<sup>-1</sup> y 235 mm·año<sup>-1</sup>, respectivamente. El suelo de textura franco-arcillosa era pobre en materia orgánica. El agua de riego procedente de pozo presentó una conductividad eléctrica en torno a 2,5 dS m<sup>-1</sup>. La dosis de riego se determinó semanalmente.

#### **Medida del carbono desprendido por la respiración del suelo (CRS)**

La respiración del suelo es una medida del CO<sub>2</sub> liberado por los microorganismos del suelo y por las raíces de la vegetación en el proceso de mineralización y descomposición de la materia orgánica. Por tanto, es una medida directa de las pérdidas de carbono en forma de CO<sub>2</sub> en el sistema agrícola. Para la determinación del carbono desprendido por la respiración del suelo, se utilizó un medidor de respiración de suelos (ACE Automatic Soil CO<sub>2</sub> Exchange System). Este medidor determina el incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> que tiene lugar en el interior de la cámara del equipo, con respecto al valor inicial del aire en el lugar de medida.

Se realizaron medidas semanalmente y evoluciones diarias a partir de 4 puntos de muestreo: 1) junto al gotero, 2) a 50 cm de distancia del gotero, 3) en la zona central de la calle, con restos de poda y 4) sin ellos.

#### **Medida del carbono asimilado por la planta por la fotosíntesis neta (Pn)**

La fotosíntesis neta (Pn) fue obtenida con un sistema portátil de medida de intercambio gaseoso CIRAS 2® (PP System, Hitchin, Hertfordshire, UK), incorporando un analizador de gas por infrarrojo (IRGA). La concentración de CO<sub>2</sub> se controló utilizando un sistema de inyección del CIRAS 2® (Figura 17) y cilindros de CO<sub>2</sub> comprimidos. Las medidas se realizaron con una frecuencia semanal a concentración

ambiente de CO<sub>2</sub> (350 ± 5 μmol mol<sup>-1</sup>) en la parte soleada de los árboles y en hojas seleccionadas limpias y sanas pertenecientes al tercio medio de las ramas.

### Medida de la biomasa de la planta

Para estimar el dióxido de carbono secuestrado por el cultivo durante un año (C<sub>anual</sub>) se realiza un balance de carbono en el sistema suelo-árbol. El balance puede realizarse estimando el carbono asimilado por la fotosíntesis neta (C<sub>Pn</sub>) y el desprendido por la respiración del suelo (C<sub>RS</sub>) (Ecuación 1). También puede realizarse el balance determinando el incremento de carbono del árbol (C<sub>árbol</sub>) y del suelo (C<sub>suelo</sub>) en un año y el carbono asimilado por la fruta (C<sub>F</sub>) (Ecuación 2).

$$C_{anual} = C_{Pn} - C_{RS} + C_F \quad \text{[Ecuación 1]}$$

$$C_{anual} = \Delta C_{árbol} + \Delta C_{suelo} + C_F \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Donde:

$$\Delta C_{árbol} = C_{árbol\ final} + C_{árbol\ inicial}$$

$$\Delta C_{suelo} = C_{suelo\ final} + C_{suelo\ inicial}$$

Los restos de poda no se tienen en cuenta ya que al depositarse en el suelo no salen del sistema suelo-planta. En cambio, si son retirados y quemados se cuentan como una salida de carbono a la atmósfera.

Los restos de poda no se tienen en cuenta ya que al depositarse en el suelo no salen del sistema suelo-planta. En cambio, si son retirados y quemados se cuentan como una salida de carbono a la atmósfera.

Tanto la fotosíntesis neta como la respiración del suelo dependen de variables tales como estación del año, momento del día, temperatura, radiación y humedad del suelo, entre otras. Además, para estimar la fotosíntesis neta es necesario conocer la superficie foliar y la respiración de la parte aérea del árbol. Para la respiración del suelo se tienen que diferenciar, dentro del marco de plantación, superficies de respiración homogéneas (bulbo húmedo, zona intermedia y zona seca) donde se han de tomar las medidas cuantificando su peso respecto al marco de plantación. Todo esto se traduce en la necesidad de realizar muchas medidas en diferentes días del año y a diferentes horas del día. Además, al influir tantas variables se asume un error en los resultados que en ocasiones puede ser excesivo.

En cambio, si el balance de carbono se realiza usando la segunda ecuación sólo se necesita conocer la producción de fruta anual, el aumento de biomasa del árbol y el incremento de carbono en el suelo. La manera más exacta de determinar la biomasa del árbol es talándolo y pesando cada órgano. Sin embargo, este método es destructivo y ocasiona un elevado coste al agricultor. Por tanto, se pretende desarrollar un método para estimar el aumento de biomasa sin necesidad de talas.

El incremento de biomasa se estima de forma independiente para cada órgano, por lo que el árbol se divide en parte aérea (tronco, ramas principales, ramas y hojas) y en parte subterránea (raíces).



- **Parte aérea**

En árboles adultos, la biomasa procedente de hojas no aumenta con los años, ya que se van cayendo y pasan a formar parte de la materia orgánica del suelo. Por otra parte, con la poda de otoño se deja cada año la misma cantidad de ramas finas, con lo que el incremento en este tipo de tejidos se considera nulo año tras año. Así, el incremento de biomasa de la parte aérea ( $\Delta B_{PA}$ ) de los diferentes cultivos es debido al incremento de biomasa del tronco ( $\Delta B_T$ ) más el de las ramas principales ( $\Delta B_{RP}$ ), lo que llamamos esqueleto del árbol (**Ecuación 3**).

$$\Delta B_{PA} = \Delta B_T + \Delta B_{RP} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

La biomasa de estos tejidos se determina a partir del volumen de los mismos. El volumen se estima a partir de muchas medidas de diámetros y longitudes de ramas y tronco. Cada valor de diámetro es la media de dos diámetros perpendiculares en idéntica sección del tronco o rama. Los puntos de medida de los diámetros están marcados al objeto de poder realizar sucesivas medidas en los mismos sitios. El volumen de una rama es la suma del volumen de todos sus tramos. Para estimar el volumen de cada tramo se ajustó al correspondiente a un tronco de cono.

A partir del volumen de madera ( $V_m$ ) se determina el peso fresco ( $P_f$ ) multiplicando por la densidad del tejido ( $\rho_t$ ) previamente determinada:

$$P_f = V_m \cdot \rho_t \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Para pasar de peso fresco ( $P_f$ ) de madera a peso de carbono ( $P_C$ ) se multiplica por el porcentaje de peso seco ( $P_{s_i}$ ) y por la riqueza de carbono de cada tejido ( $\Pi_i$ ):

$$P_C = P_f \cdot P_{s_i} \cdot \Pi_i \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Existe una estrecha relación entre el diámetro del tronco y el tamaño total del árbol y por tanto el carbono del árbol. Por esta razón es importante monitorizar el diámetro del tronco. La evolución del diámetro del tronco (FDT) fue medida a partir de la lectura de sensores lineales de desplazamiento variable e inducción diferencial LVDT (Linear Variable Displacement Transducer). Los sensores LVDT se componen de 2 partes esenciales: el cuerpo y la varilla móvil. Una extremidad de esta varilla se encola al tronco y éste, al moverse durante el día, desplaza la varilla dentro del cuerpo (bobina) y modifica el campo magnético, generando una tensión de salida que se traduce en un desplazamiento. Dichos sensores se ubicaron en portasensores, compuestos por una aleación de Ni y Fe de coeficiente de dilatación térmica cercano a cero (Katerji et al., 1994). Los sensores se instalaron por encima del punto de injerto y en el lado norte de los árboles. Las medidas quedaban registradas, cada 15 minutos, en un datalogger (Campbell Scientific, Logan, UT, USA) y un multiplexor modelo AM25T.

El crecimiento de brotes se midió en ramas marcadas de unos 20-30 cm de longitud, orientadas según los cuatro puntos cardinales. Una vez iniciada la brotación, se midió semanalmente la longitud de la rama principal y de los brotes laterales, así como el diámetro de la base. Las medidas de longitud se realizaron con una cinta métrica y las de diámetro con un calibre digital.

La dinámica del crecimiento del fruto se determinó a partir de medidas semanales del diámetro ecuatorial, desde el cuajado hasta la recolección, usando un calibre digital en los árboles testigo de cada tratamiento.

Se realizó la poda de otoño (fructificación), verano (mantenimiento). Las ramas de poda de cada árbol testigo fueron separadas y pesadas en campo. Los restos de poda se dejaron en las calles al objeto de incrementar el carbono del suelo.

La recolección se realizó atendiendo a criterios de calidad y necesidades de mercado. La producción fue evaluada pesando y contando los frutos recolectados en los árboles testigo de cada bloque y tratamiento. El peso medio del fruto se determinó a partir de la relación del peso de la fruta entre el número de frutos por árbol. En muestras de 10 frutos árbol<sup>-1</sup> tomadas de cada bloque y repetición, se realizaron medidas del porcentaje de peso seco y contenido de carbono de los frutos.

- **Parte subterránea**

Por otra parte, la determinación de la biomasa de la parte subterránea de forma no destructiva se puede obtener por ecuaciones alométricas que relacionan la biomasa de la parte aérea con la biomasa de la parte subterránea del árbol. De esta forma podemos considerar que la biomasa del suelo es del orden de 10 al 40% de la biomasa aérea). Para obtener estas ecuaciones se realizan muestreos de la zona radicular de los árboles objeto de estudio.

Para el estudio del patrón radical de árboles adultos se diseñó una malla tridimensional, centrada en un único cuadrante del marco de plantación. En cada punto se recogieron muestras de suelo (47,12 cm<sup>3</sup>), cada 15 cm, hasta la profundidad de 120 cm, utilizando un tubo Veihmeyer.

La separación de raíces y tierra se completó tras sucesivos lavados a través de un tamiz de 0,5 mm. Finalmente se calculó el peso medio del sistema radicular de los nectarinos objeto de estudio.

### **3. RESULTADOS**

La tabla 1 muestra los valores medios de 2 ciclos (2009-2010 y 2010-2011) de fotosíntesis neta (Pn) y respiración del suelo (Rs) para cada periodo fenológico del cultivo. Los nectarinos realizan la fotosíntesis desde marzo a noviembre (periodo en el que el árbol tiene hojas), obteniéndose valores máximos ( $\approx 12,37 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) durante la fase de crecimiento del fruto. Esto es explicable por la gran demanda de fotoasimilados de los frutos en este periodo. En cambio, la respiración del suelo nunca es nula y alcanza valores máximos en otoño, coincidiendo con una gran actividad radicular del cultivo. Esto nos indica que en invierno y posiblemente en otoño el sistema suelo-planta desprende más carbono mediante la respiración del suelo que el que asimila con la fotosíntesis.



Tabla 1.-Promedio en cada periodo fenológico de respiración del suelo (Rs) y tasa de fotosíntesis neta (Pn).

	Rs ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Pn ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
Crecimiento del fruto	1.92	12.37
Poscosecha temprana	2.12	8.27
Poscosecha tardía	2.97	6.72
Parada invernal	0.66	0

Por otra parte, la asimilación de carbono por la planta está correlacionada con el crecimiento vegetativo (diámetro de tronco), variables climáticas (temperatura), condiciones del suelo (humedad) y técnicas de cultivo (depósito de restos de poda, laboreo...). A partir de estas correlaciones se puede cuantificar el efecto de las variables ambientales en el balance neto de carbono y establecer una relación que permita modelizar el carbono secuestrado en función de las condiciones ambientales y manejo del cultivo.

Así, en la figura 1 se muestra el estrecho ajuste encontrado ( $r = 0,9806^{***}$ ) entre los diámetros de tronco y el C del esqueleto del árbol (tronco más ramas principales) que es el carbono más estable en la planta ya que no se extrae en las podas.

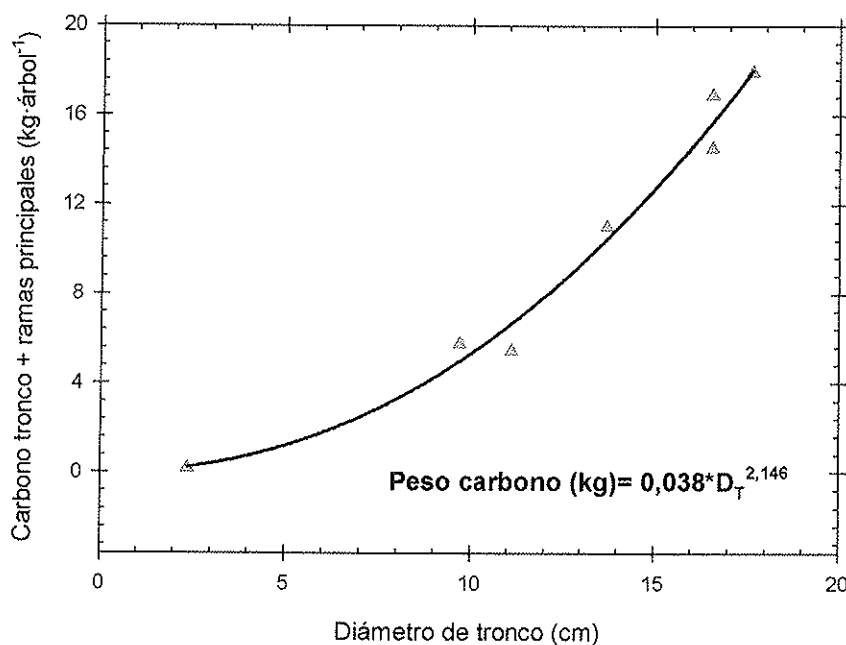
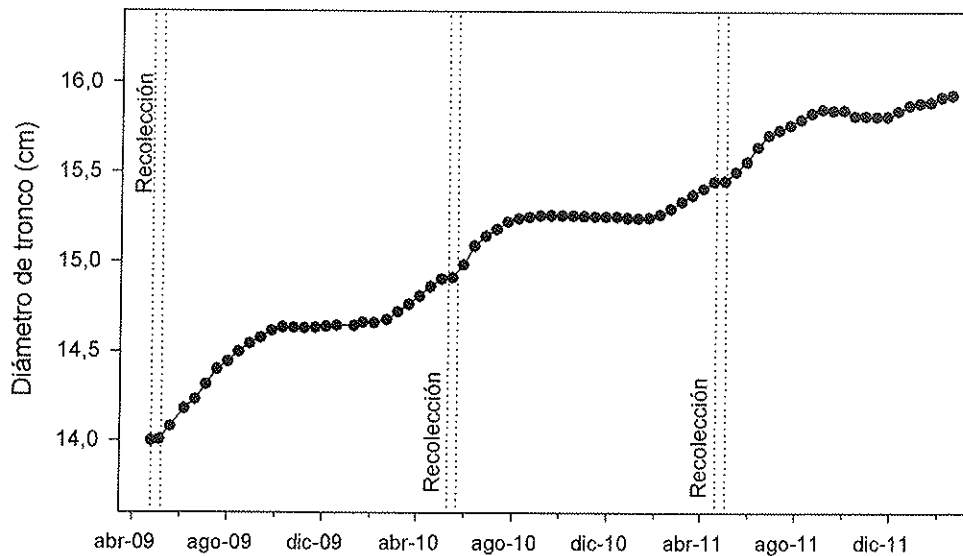


Figura 1.- Correlación entre carbono del esqueleto del árbol (tronco y ramas principales) y diámetro del tronco.

Por otra parte, los sensores LVDT nos dan información continua del crecimiento del tronco. Así se puede determinar con precisión la evolución del diámetro de tronco a lo largo del tiempo. En la figura 2 se puede observar los diferentes periodos de crecimiento del tronco y por tanto del árbol. Durante la parada invernal (entre octubre y enero) el crecimiento es nulo o negativo, a partir de febrero el tronco empieza a crecer hasta que durante la maduración de la fruta y debido a la competencia por fotoasimilados de frutos, el tronco deja de crecer durante 2-3 semanas. Después de recolectar la fruta el tronco vuelve a crecer rápidamente hasta agosto que disminuye la velocidad de crecimiento para en octubre dejar de crecer.



**Figura 2.-** Evolución del diámetro de tronco a lo largo del periodo experimental. Cada punto representa la media de 6 medidas realizadas con sensores LVDT.

Con la información obtenida de la evolución del diámetro de tronco más la relación entre el carbono del árbol y el diámetro de tronco (**Figura 1**) se estima la evolución del carbono en el esqueleto del árbol (**Figura 7.A**).

También se ha de tener en cuenta el crecimiento de los frutos y de los brotes, así como las extracciones de carbono en el árbol mediante aclareos de frutos, recolecciones y podas. En la figura 3 se representa la evolución del crecimiento del fruto, en diámetro ecuatorial y peso fresco. El crecimiento del fruto se caracteriza por ser muy constante ( $\approx 1\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ ) y tener lugar en un corto periodo de tiempo ( $\approx 50$  días). En este periodo la planta incrementa su carbono debido al aumento de tamaño de los frutos hasta que son retirados para pasar al mercado con lo que el árbol disminuye su contenido de carbono durante la recolección (**Figura 7.D**).

Se contabilizó la producción de cada año (**Figura 4**) y se determinó el porcentaje de peso seco de la fruta y el contenido de carbono de la misma a fin de poder determinar el carbono extraído en la cosecha.

El crecimiento en longitud de los brotes tiene lugar entre abril y julio (**Figura 5**). El periodo de máximo crecimiento tiene lugar entre mayo y junio. A partir de julio solamente se produce crecimiento secundario, en grosor.

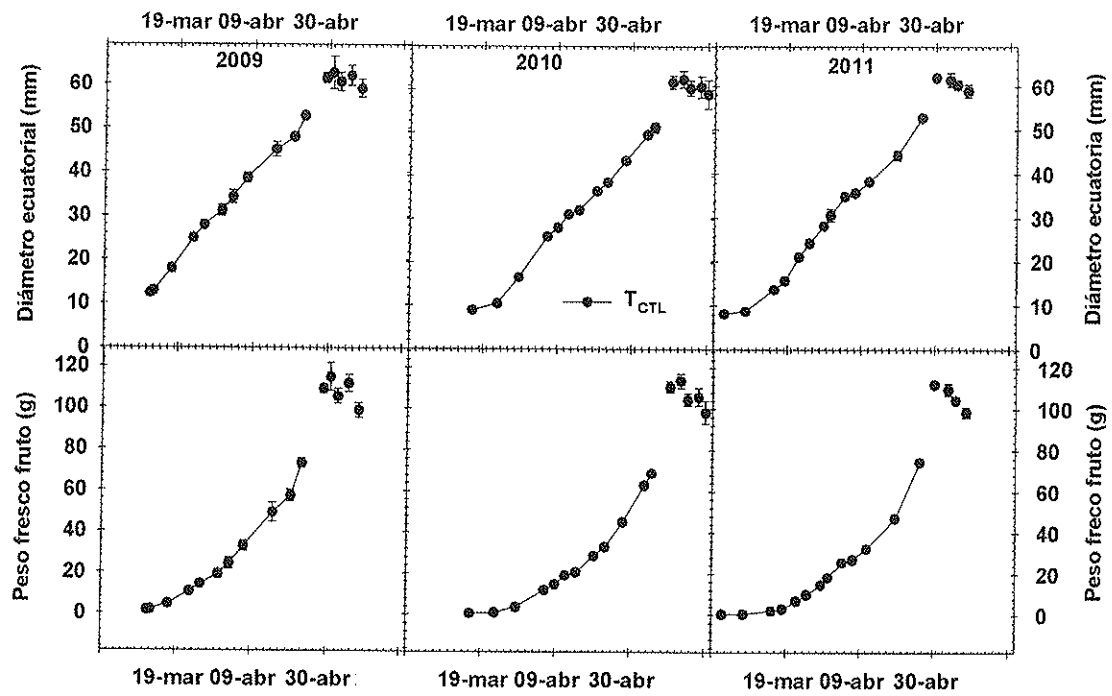


Figura 3.- Crecimiento del fruto en diámetro ecuatorial (arriba) y peso medio (abajo) de tres años.

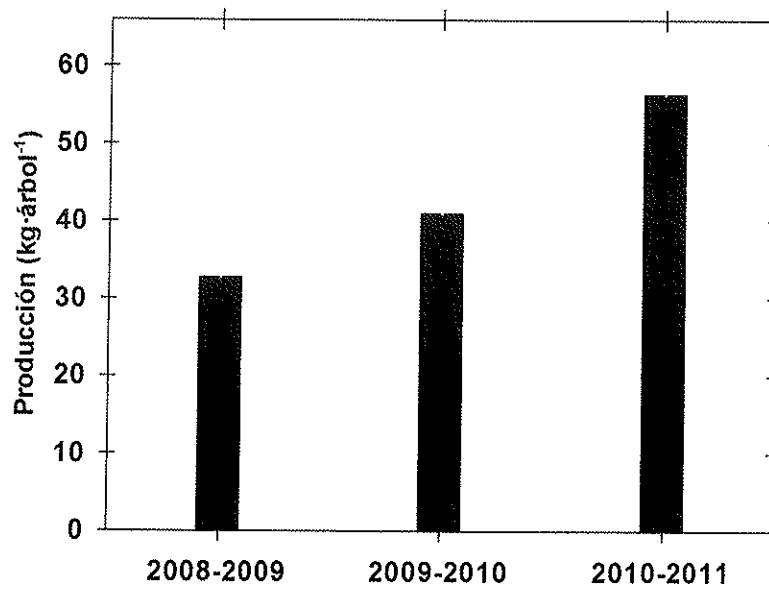


Figura 4.- Producción de fruta en cada año de cultivo.

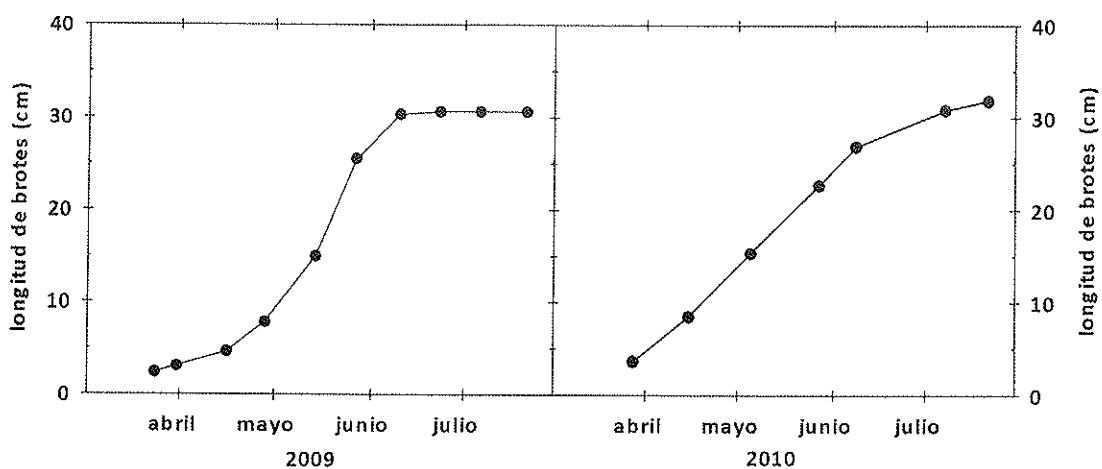


Figura 5. Crecimiento de brotes en 2009 (izquierda) y 2010 (derecha).

También se ha contabilizado el peso de la madera extraída en las podas (Figura 6). Todos los años se realizan al menos dos podas, una de verano y otra en otoño. Además, en el primer año se realizó una poda adicional antes de la cosecha en la que se eliminaron chupones a fin de facilitar la aireación de la fruta. Cada poda supone una disminución del carbono en la planta (Figura 7.C) aunque no se considera una salida del sistema suelo-planta mientras que los restos de poda no se retiren del suelo del cultivo.

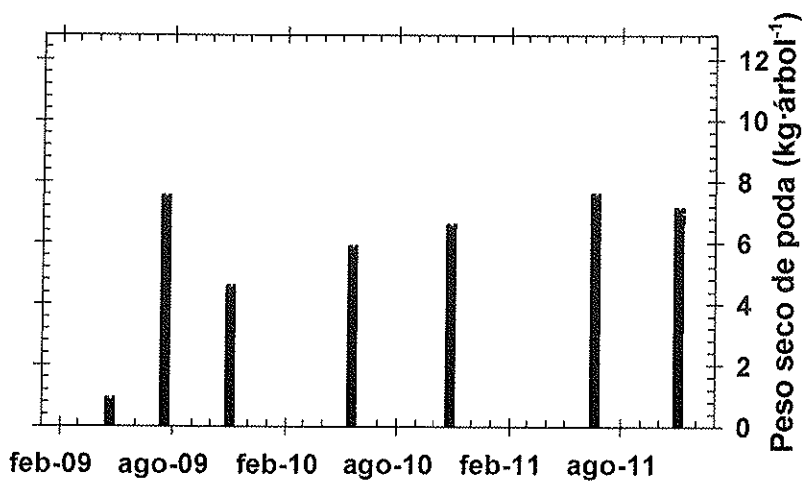
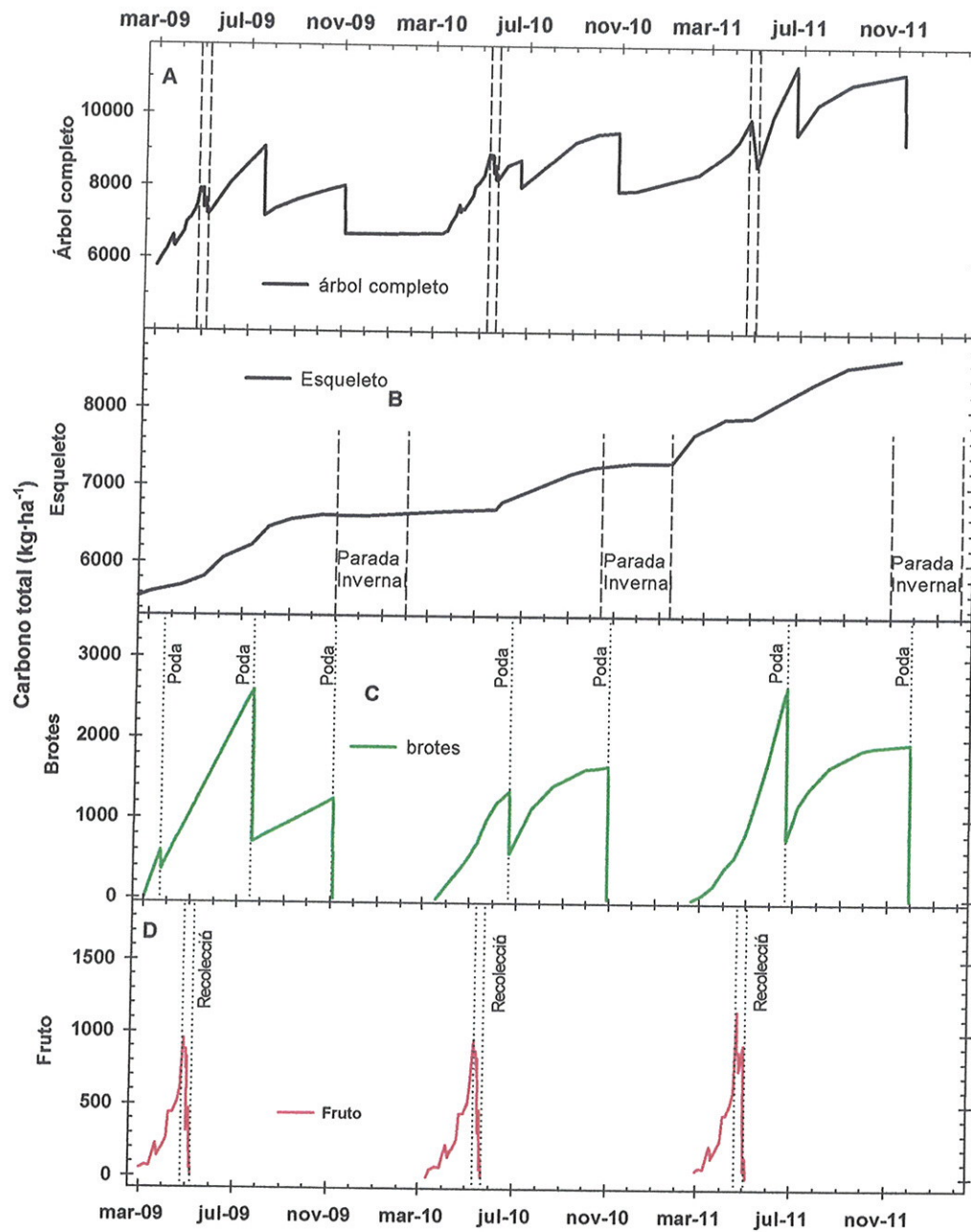


Figura 6.- Peso seco de material vegetal extraído en las diferentes podas.

En la Figura 7 se observa que el C fijado aumenta en las fases de crecimiento del árbol y disminuye con las podas realizadas (Figura 7.C) y con la pérdida de carbono en forma de fruto destinadas al mercado (Figura 7.D).

Durante el periodo estudiado los nectarinos han captado un promedio de  $5288 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de C de la atmósfera. Este carbono asimilado ha sido destinado en un 30,4% al crecimiento productivo y en un 69,6 % al crecimiento vegetativo (20,8% tronco y ramas principales, 53,4% crecimiento de brotes del año y 8,9% crecimiento de raíces) (Tabla 2). Así, el  $\text{CO}_2$  fijado por 100 ha de este cultivo durante un año es equivalente al

CO<sub>2</sub> desprendido anualmente por 1.226 coches diesel con un consumo medio de 6 L·100 km<sup>-1</sup> de gasóleo y que recorrieran anualmente 10.000 km.



**Figura 7.-** Evolución del contenido en carbono de los diferentes órganos del árbol: (A) parte aérea completa; (B) esqueleto del árbol (tronco, ramas principales y ramas del año anterior); (C) brotes del año; (D) frutos. Las líneas de puntos representan extracciones de carbono por podas, aclareos de fruta o recolección.

**Tabla 2.-** Incremento de carbono en diferentes tejidos de la planta en dos ciclos de cultivo.

	Carbono (kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )		
	2009-2010	2010-2011	Promedio
<b>Tronco y ramas principales</b>	1090	1108	1099
<b>Brotos</b>	3352	2297	2825
<b>Fruta</b>	1429	1787	1608
<b>Raíces</b>	533	409	471
<b>Total</b>	<b>6404</b>	<b>5601</b>	<b>5288</b>

#### 4. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El balance de C estimado ha resultado positivo, debido al constante crecimiento del árbol, al tratarse de un arbolado joven, y a que los restos de poda y aclareos de fruto se incorporaron al suelo, disminuyendo la pérdida de C por respiración del suelo. Del mismo modo se han determinado los momentos del año en que la fijación del C por parte de los frutales es más importante y efectiva.

Los esfuerzos dedicados en los últimos años a reducir la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y mitigar los efectos del cambio climático han sido cuantiosos. Si se considera importante reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, es igualmente importante incrementar los sumideros de carbono, de manera que el CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera sea secuestrado en fracciones de carbono estable. Los agrosistemas tienen un gran potencial como sumidero de carbono, al fijar el CO<sub>2</sub> en forma de biomasa, que además puede incorporarse en el suelo como fracciones de carbono recalcitrante.

Con la optimización de esta metodología ambientalmente sostenible y viable económicamente, se conseguirá determinar la capacidad de los sistemas leñosos de regadío de la Región de Murcia para fijar el CO<sub>2</sub> y acumularlo en formas más estables.