



INVESTIGACIÓN SOBRE LA ABSORCIÓN DE CO₂ POR LOS CULTIVOS MÁS REPRESENTATIVOS

Prof. Micaela Carvajal

Profesora de Investigación
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

INVESTIGACION SOBRE LA ABSORCIÓN DE CO₂ POR LOS CULTIVOS
MÁS REPRESENTATIVOS DE LA REGIÓN DE MURCIA.

Cesar Mota, Carlos Alcaraz-López, María Iglesias, M.C. Martínez-Ballesta y Micaela Carvajal*.

Departamento de Nutrición Vegetal
CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas
30100-Espinardo, (Murcia), SPAIN

**Directora y coordinadora del trabajo: Prof. Micaela Carvajal.
E-mail: mcarvaja@cebas.csic.es*

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- El CO₂ atmosférico

Se denomina "efecto invernadero" al fenómeno por el que parte de la energía calorífica emitida por la corteza terrestre, es retenida y reflejada por determinados gases que forman parte de la atmósfera, impidiendo que se produzca un enfriamiento progresivo de la Tierra. Sin la actuación de estos gases, la vida tal como la conocemos no sería posible, ya que el calor emitido por el planeta se disiparía en el espacio produciendo unas temperaturas extremadamente bajas en la Tierra. Entre estos gases se encuentran el dióxido de carbono, el óxido nitroso y el metano, que, en su mayoría, son liberados por la industria, la agricultura, la ganadería y la combustión de combustibles fósiles. El desarrollo industrial alcanzado en nuestro planeta ha supuesto que la concentración de estos gases haya aumentado hasta un 30% desde el siglo pasado provocando que la propia naturaleza se encuentre limitada a la hora de equilibrar las concentraciones de dichos gases en la atmósfera.

De todos estos gases, el CO₂ cobra especial relevancia por su efecto sobre las condiciones climáticas del planeta debido a que es un gas de larga permanencia, es decir, es un gas que permanece activo en la atmósfera durante mucho tiempo. Así, por ejemplo, del CO₂ emitido a la atmósfera, sobre el 50% tardará 30 años en desaparecer, un 30% permanecerá varios siglos y el 20% restante durará varios millares de años (Solomon et al, 2007).

Las plantas tienen la capacidad de captar el CO_2 atmosférico y mediante procesos fotosintéticos metabolizarlo para la obtención de azúcares y otros compuestos que requieren para el normal desarrollo de su ciclo vital (Fig 1. Fotosíntesis, (1)). En general, se puede concluir que, las plantas, a través de la fotosíntesis, extraen el carbono de la atmósfera (en forma de CO_2) y lo convierten en biomasa. La biomasa al descomponerse se convierte en parte del suelo (en forma de humus) o en CO_2 (a través de la respiración de los microorganismos que procesan la biomasa (Fig. 1 (2)).

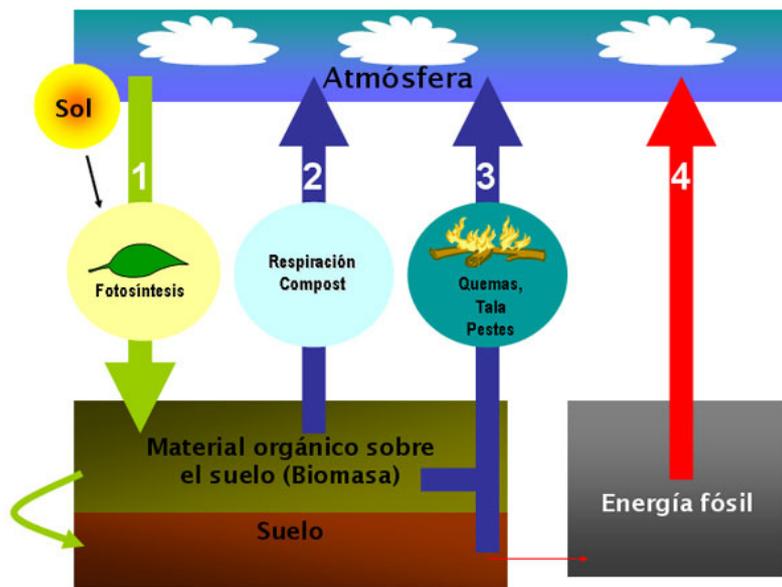


Figura 1. Ciclo del carbono. Fuentes de emisión y sumideros de CO_2

Existen diversos factores que influyen sobre la cantidad de carbono acumulado tanto en la biomasa de las plantas como en el suelo. La tala de árboles y la quema de material vegetal que se aplican en los procesos de conversión de bosques a tierras agrícolas o ganaderas y, también, en la explotación maderera, liberan el carbono acumulado en las plantas y en el suelo (Fig 1 (3)) y éste regresa a la atmósfera en forma de CO_2 .

En la actualidad, el exceso de CO_2 modifica en balance final del ciclo de carbono descrito anteriormente, influyendo de manera decisiva sobre las condiciones climáticas. Por una parte se produciría una captación del CO_2 de la atmósfera por parte de las plantas a través de la fotosíntesis. Por otra parte, la respiración de las plantas, las quemaduras y las tala para usos agrícolas

incrementan en la atmósfera la concentración de emisiones de CO₂, lo que unido a una tasa de deforestación alta y a las escasas medidas de reforestación aplicadas altera el balance entre emisión y captación. De esa manera la concentración de CO₂ en la atmósfera va aumentando. Estas emisiones netas del sector agrícola y forestal se suman a las emisiones de CO₂ que se generan al quemar combustibles fósiles en los sectores de transporte y generación de energía (Fig 1 (4)).

1.2.- Sumideros de Carbono

Se conoce como sumidero todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacena. Las formaciones vegetales actúan como sumideros de C por su función vital principal, la fotosíntesis. Mediante esta función, los vegetales absorben CO₂ que compensa tanto las pérdidas de este gas que se producen por la respiración como las emisiones producidas en otros procesos naturales (descomposición de materia orgánica).

La captación de CO₂ por los ecosistemas vegetales terrestres constituye un componente importante en el balance global de Carbono (C). A escala mundial se considera que la biosfera terrestre fija cerca de 2.000.000 toneladas/año (UNESA, 2005). Este valor es el resultante de la pequeña diferencia entre la absorción fotosintética de CO₂ y las pérdidas por respiración, por descomposición de la materia orgánica y por perturbaciones de diferente naturaleza. A este valor le se denomina producción neta de la biosfera (PNB), y es la cantidad que a largo plazo queda almacenada en el sumidero.

El CO₂ secuestrado por las plantas es el resultado de las diferencias entre el CO₂ atmosférico absorbido durante el proceso de la fotosíntesis y el CO₂ emitido por la atmosfera durante la respiración. Esta diferencia es convertida en biomasa y suele oscilar entre el 45-50 % del peso seco de la planta. Por lo tanto, mientras el crecimiento sea alto, la vegetación natural y los cultivos agrícolas se convierten en los sumideros de carbono. Teniendo esto en cuenta, la agricultura se puede convertir en un mecanismo efectivo para mitigar el incremento del CO₂ atmosférico.

El suelo

Para determinar el C secuestrado en los ecosistemas, hay que tener en cuenta el C estable incorporado al suelo. Si la acumulación de C en el suelo es un proceso más lento que la acumulación de la biomasa, la estabilidad del C en el suelo es mayor. Por lo tanto, la capacidad del suelo para almacenar C es importante debido al material vegetal acumulado en descomposición, pasando a denominarse C del humus. La poda de los árboles y las hojas caducas puede contar como pérdida de carbono del cultivo si se retira de la plantación o se quema, mientras que, si la poda se descompone naturalmente en el suelo, se convierte en un medio eficaz de inmovilización de CO₂ a largo plazo (Lal, 1997). De hecho, un año después de agregar los residuos vegetales a la tierra, la mayor parte del carbono vuelve a la atmósfera en forma de CO₂, sin embargo, de una quinta a una tercera parte del mismo permanece en el suelo, ya sea como biomasa viva o como el humus del suelo (Brady y Weil, 2004).

1.3.- La fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso metabólico fundamental para todos los organismos vivos ya que consiste en el empleo de la energía luminosa para biosintetizar los componentes celulares. La energía solar constituye no solamente la fuente energética para las plantas verdes y otros autótrofos fotosintéticos, sino también, en último término, la fuente energética para casi todos los organismos heterótrofos, mediante la actuación de las cadenas alimenticias de la biosfera. Además, la energía solar capturada por el proceso de fotosíntesis es la fuente de cerca del 90 % de toda la energía empleada por el hombre para satisfacer las demandas de calor, de luz y de potencia, ya que el carbón, el petróleo y el gas natural, que son los combustibles utilizados para la mayor parte de la maquinaria fabricada por el hombre, son productos de descomposición del material biológico generado hace millones de años por los organismos fotosintéticos.

La fotosíntesis es un proceso que ocurre en dos fases (Fig 2). La primera fase es un proceso que *depende de la luz* (reacciones luminosas o de luz). Esta fase requiere la energía directa de la luz para generar energía

química y reductora que serán utilizadas en la segunda fase. La fase independiente de la luz (*fase de oscuridad*), se realiza cuando los productos de las reacciones de luz son utilizados para, a partir del CO₂, formar enlaces covalentes carbono-carbono (C-C) de los carbohidratos mediante el Ciclo de Calvin. Este proceso de la fotosíntesis se produce en los cloroplastos de las células.

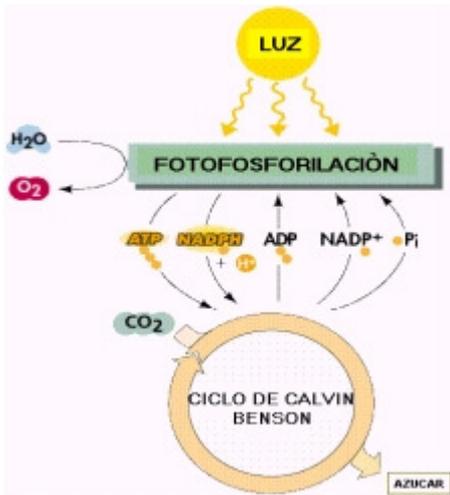
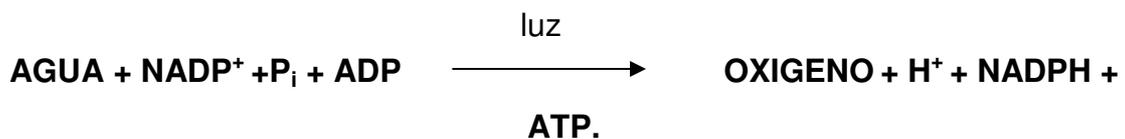


Figura 2. Esquema de la fotosíntesis

En las reacciones de luz, la captación de energía luminosa por los pigmentos que absorben la luz convirtiéndola en energía química (ATP) y poder reductor (NADPH), requiere de una molécula de agua. Como consecuencia, se libera O₂ molecular. La ecuación general para esta primera etapa de la fotosíntesis es por lo tanto la siguiente:



En la segunda fase de la fotosíntesis, los productos ricos en energía de la primera fase, el NADPH el ATP, se emplean como fuentes energéticas para efectuar la reducción del CO₂ y producir glucosa. Como consecuencia se produce de nuevo ADP y NADP⁺. Esta segunda etapa de la fotosíntesis se esquematiza en términos generales como:



Esta reacción se lleva a cabo por reacciones químicas convencionales, catalizadas por enzimas que no necesitan la luz.

En las reacciones de oscuridad, el CO_2 de la atmósfera (o del agua en organismos fotosintéticos acuáticos/marinos) es capturado y reducido por la adición de hidrógeno (H^+) para la formación de carbohidratos $[(\text{CH}_2\text{O})]$. La incorporación del dióxido de carbono en compuestos orgánicos, se conoce como fijación o asimilación del carbono. La energía usada en el proceso proviene de la primera fase de la fotosíntesis. Los seres vivos no pueden utilizar directamente la energía luminosa, sin embargo, a través de una serie de reacciones fotoquímicas, la pueden almacenar en la energía de los enlaces C-C de carbohidratos, que, más tarde, será liberada mediante los procesos respiratorios u otros procesos metabólicos.

Fijación de carbono en plantas C3, C4 y CAM.

Dependiendo del tipo de fijación de CO_2 , la planta tendrá un metabolismo distinto y por lo tanto, se clasifican en plantas C-3, C-4 ó CAM. En ellas, tanto la eficiencia del uso del agua y como la tasa de fijación de CO_2 es diferente.

Plantas C-3: Se caracterizan por mantener los estomas abiertos durante el día para permitir la fijación de CO_2 , lo que provoca una pérdida de agua por transpiración, de forma continua. Ante el riesgo de deshidratación ocasionado por un estrés ambiental, estas plantas producen un cierre estomático que provoca una gran disminución de la fotosíntesis.

Plantas C-4: Se caracterizan por tener los estomas abiertos de día. Como poseen intermediarios de bombeo de CO_2 en la célula, pueden permitirse un cierre de estomas imprevisto, siendo factible la continuidad del proceso fotosintético, gracias al reservorio de CO_2 .

Plantas CAM: Estomas abiertos por la noche. Las pérdidas de agua por transpiración se reducen enormemente. También poseen reservorio de CO_2 , con lo cual también pueden cerrar estomas sin que ello conlleve una disminución fotosintética.

Las propiedades de las plantas C-4 y CAM les permiten una supervivencia en entornos con déficit hídrico.

Cuadro 1. Algunas Diferencias entre Plantas C3, C4 y CAM

Especies Típicas de Importancia económica	C3 Trigo, cebada, pimiento,frutales, arroz, tomate..	C4 Maíz, sorgo, caña de Azúcar.	CAM Piña, chumbera
% de la flora mundial en numero de especies	89%	<1%	10%
Hábitat típico	Distribución amplia	Sitios cálidos y praderas	Sitios xéricos y epifíticos
Primer producto estable de la fijación de CO₂	PGA	Malato	Malato
Anatomía	Vaina del haz vascular no presente o sin cloroplastos	Vaina del haz vascular con cloroplastos (Kranz)	Suculencia celular o de los tejidos
Fotorrespiración	Hasta 40% de la fotosíntesis	No detectable	No detectable
Punto de compensación para la asimilación de CO₂	40-100 $\mu\text{l l}^{-1}$	0-10 $\mu\text{l l}^{-1}$	0-10 $\mu\text{l l}^{-1}$
[CO₂] intracelular en luz de día ($\mu\text{l l}^{-1}$)	200	100	10000
Frecuencia estomática (estomas mm⁻²)	40 - 300	100 - 160	1 - 8
EUA (g CO₂ fijado por kg H₂O transpirada)	1 - 3	2 - 5	10 - 40
Tasa máxima de crecimiento (g m⁻² d⁻¹)	5-20	40-50	0.2
Productividad máxima (ton ha⁻¹ año⁻¹)	10-30	60-80	Generalmente menor a 10*

1.4. Efecto de los estreses ambientales sobre la fijación de CO₂

Los estreses ambientales como la salinidad, la sequía, las altas o bajas temperaturas o la disminución de la radiación solar alteran la estructura y

metabolismo de las plantas, por lo tanto afectan a su crecimiento y su papel como secuestradores de CO₂ (Martínez-Ballesta et al., 2009). Estos factores ambientales, son variables clave que afectan al desarrollo de las plantas, dado que son esenciales en los procesos de absorción y transporte de agua y nutrientes. Por lo tanto, el efecto de esos estreses pueden tener numerosas consecuencias para los cultivos, variando tanto desde respuestas fisiológicas a corto plazo en las plantas de forma individual, como cambios a largo plazo en la estructura y función de las plantas. En numerosos estudios se ha mostrado que las plantas presentan frente a factores ambientales un amplio rango de respuestas que conducen normalmente a un déficit hídrico (Kimball et al., 2002).

Dado el carácter fuertemente desecante de la atmósfera, el control de las pérdidas de agua ha sido siempre un aspecto clave para las plantas. Por una parte, el flujo de agua a través de una planta debe ser suficiente para mantener la nutrición y la incorporación de CO₂. Y por otra, como la asimilación y la transpiración están estrechamente ligadas en casi todas las plantas, la disponibilidad de agua impone un límite máximo a la productividad (desarrollo) (Steudle and Peterson, 1998). Al mismo tiempo, para evitar la desecación de las partes aéreas, el flujo de agua que entra en la planta por las raíces ha de compensar la salida de agua por las hojas. Dado que los procesos fisiológicos son extremadamente sensibles al déficit hídrico, la conservación del agua para mantener potenciales hídricos razonablemente altos suele ser el principal problema en las zonas con climas cálidos y escasez de precipitaciones.

Con el aumento de las temperaturas puede inducirse un incremento de la fotorrespiración que es un mecanismo de protección del aparato fotosintético y que no conlleva fijación del CO₂ (Sofa et al., 2005). La acción combinada de los diferentes factores medioambientales (vapor de agua en la atmósfera y subida de las temperaturas) podría conducir a una mayor producción de biomasa, pero sólo si las plantas recibieran además un aporte de otros nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo o potasio (la acción antropogénica podría aportar nitrógeno a los ecosistemas naturales, ya que es un residuo de muchas de nuestras emisiones contaminantes).

Se estima que la fijación de CO₂ se verá incrementada en los próximos 60 años debido al aumento en la temperatura. Se espera que la fijación de CO₂ se incremente el 1% por cada °C en regiones donde la temperatura media anual es de 30 °C y el 10% en regiones donde la temperatura media anual es de 10 °C. Las tasas fotosintéticas subirían un 25-75%, en las plantas de fotosíntesis C3 (las más comunes en latitudes medias y altas), al duplicarse la concentración de CO₂. Los datos son menos concluyentes en el caso de las plantas cuya modalidad fotosintética es la C4, típica de lugares cálidos, siendo los intervalos de respuesta desde 0% hasta un 10-25% de incremento (UNESA, 2005).

Esta problemática implica la necesidad de realizar estudios que permitan conocer el efecto de las diferentes condiciones ambientales sobre la capacidad de captación de CO₂ y las necesidades hídricas y nutricionales de los cultivos.

1.5.- La agricultura en la Región de Murcia

La agricultura de la Región de Murcia tiene un peso medio en el PIB. Se trata de una de las agriculturas más rentables de España y de Europa debido a su alta productividad que está muy por encima de la media nacional. La agricultura murciana está orientada a la exportación, lo que implica el desarrollo de una industria agroalimentaria potente y una necesidad de red de comunicaciones de primer orden. Si a todo esto añadimos las actividades indirectas que genera la agricultura, ésta adquiere una importancia notable dentro de la economía regional.

Las excelentes condiciones climáticas de nuestra región, junto al uso intensivo de los avances de la revolución verde aumentan notablemente la rentabilidad de nuestra agricultura. La escasez de agua en la región se ha convertido en un factor limitante provocando que, en la actualidad, los regadíos dependan de las aguas subterráneas (que contienen un gran contenido salino debido a la sobreexplotación así como a la intrusión del agua del mar), ya que el trasvase Tajo-Segura se ha quedado insuficiente para cubrir las necesidades de la región.

Los productos hortícolas, en sus múltiples variedades, son los productos más importantes en la agricultura murciana: tomate, lechuga, pimiento, alcachofa, etc., aunque también tienen gran relevancia los cítricos (en especial el limón) y los cereales, seguido del viñedo, junto a otros productos arborícolas con una alta rentabilidad, como el almendro, el melocotonero, el ciruelo, etc.

En general, la explotación forestal tiene poca importancia económica, y ocupa poca superficie de la región. Se localiza, mayoritariamente, en las comarcas montañosas y no cubren las necesidades de la región. El bosque autóctono ha sufrido importantes ataques antrópicos, por lo que las principales especies forestales son los pinos de repoblación y los chopos en las riberas de los ríos.

Unas buenas prácticas agrícolas o una gestión sostenible de las fincas (no dejar el suelo descubierto, utilizar cantidades exactas de abono en el momento y en el lugar exacto, no quemar cosechas y reducir el arado) supondrían dejar de emitir millones de toneladas de gases de efecto invernadero. Por esto, se establece un código de buenas prácticas agrarias relativas a la protección del suelo, al mantenimiento de la materia orgánica y de la estructura del suelo y a la conservación de los hábitats y del paisaje, incluida la protección de los pastos permanentes. Este cambio en el modelo agronómico podría suponer un balance positivo de CO₂ en las superficies agrícolas. Con un conocimiento y gestión adecuados, este sector puede contribuir a la mitigación de estos gases mediante la adecuación del laboreo de la tierra, la promoción de la producción ecológica y el uso más eficiente de recursos en la maquinaria agrícola, convirtiéndose finalmente en eficiente

Por lo tanto, como parte de este proyecto, en este trabajo de investigación, se ha determinado la tasa de captación de CO₂ anual por los cultivos más representativos de la Región de Murcia basados en los datos de producción de biomasa y su contenido de carbono. Se han elegido aquellos cuyas hectáreas totales de regadío supongan una superficie mayor de 1000 Ha. Se ha calculado la captación de carbono por

plantas individuales, teniendo en cuenta únicamente la biomasa anual. De esta forma, se ha estimado el carbono fijado total o el CO₂.

2.- MATERIAL Y MÉTODOS

2.1.- Material vegetal y procesado

Para los estudios de captura de CO₂, en todas las especies analizadas se consideró únicamente la producción de biomasa anual de la planta o árbol, tanto de parte aérea (considerando el fruto) como de raíz (IPCC, 2003).

Hortícolas

Tomate, pimiento, sandía, melón, lechuga y brócoli

Se recolectaron al final de de su ciclo de cultivo. Tres planta de cada especie se extrajeron del suelo con una pala manual con cuidado de no romper las raíces secundarias y se introdujeron en bolsas de plástico de forma individual para su procesado en el laboratorio. Seguidamente se separaron en fruto, hoja, tallo y raíz y se pesaron para determinar su peso fresco. Posteriormente, se introdujeron en una estufa de aire caliente a 70°C hasta peso constante para determinar el peso seco. El proceso de secado puede variar dependiendo de la humedad y peso total de la muestra. Una vez obtenido el peso seco de cada muestra de las diferentes partes de la planta, se molieron en un molinillo de laboratorio, IKA modelo A10. El resultado fue muy homogéneo con partículas de 5 a 7mm de diámetro. El total de carbono se analizó tal y como se describe posteriormente.



Foto 1.- Muestreo y procesado de hortalizas

Cereales

Avena, cebada y trigo

Se recolectaron en campo un total de 10 muestras por cada especie, en fase de producción, realizando una extracción manual y un etiquetado en bolsas estancas hasta llegar al laboratorio, una vez allí se separaron en parte aérea y raíz para su posterior pesada y tratamiento estadístico del peso fresco de cada planta. Para determinar el peso seco se introdujeron las muestras en una estufa de aire caliente a 70°C durante 5 días aproximadamente y se pesaron en una balanza de laboratorio de precisión. El molido se realizó tal y como se expuso en el apartado anterior y la determinación de C tal y como se describe posteriormente.



Foto 2.- Procesado en el laboratorio de plantas de cereales

Frutales

Albaricoquero, ciruelo, melocotonero y uva de mesa

En el muestreo de árboles frutales se utilizó una metodología destructiva que consistió en el arranque por maquinaria pesada de tres árboles en producción de 17 años de edad, los cuales fueron troceados, utilizando una motosierra de gasolina, en tronco, ramas y raíz. Una vez hecho esto se practicó un deshojado manual completo, y un corte de las ramas jóvenes crecidas en el año en curso. El resto del tronco y ramas de años anteriores, se troceó para su posterior pesada. Se realizó un embolsamiento y etiquetado de las muestras representativas de cada órgano para su traslado al laboratorio. De forma similar se realizó el procesado con la raíz una vez limpiado de restos de suelo adherido. Las raíces crecidas en el año en curso se cortaron pesaron. Al igual que en la parte aérea, una muestra representativa se trasladó al laboratorio para su procesado.

Para el transporte del material de muestreo desde la finca de muestreo hasta la cooperativa, se utilizaron palops de 30kg y una transpaleta motorizada. En la cooperativa se pesaron las muestras por separado en una báscula de suelo compuesta por un puente de pesado de chapa de acero acanalada antideslizante, cuatro células de pesado móviles y un terminal de manejo.

El muestreo de los frutos se realizó de los frutos recolectados en la campaña. Una muestra representativa de los frutos se trasladó al laboratorio para la obtención del peso seco y el contenido de carbono total, tal y como se describe en los apartados anteriores. El total de cosecha de fruto se estimó de la media obtenida en todos los árboles en la parcela de muestreo.



Foto 3.- Muestreo y procesado de frutales

Cítricos

Limonero, naranjo, y mandarino

Para la evaluación la captura de CO₂ por cítricos y su cuantificación anual, se realizaron los muestreos en árboles de 15 años de edad. El sistema de extracción y arranque consistió en el abatimiento de los árboles, tanto la parte aérea como la raíz, mediante una pala Caterpillar 938G (135 kW). Tras el apeo de los árboles, la misma pala separaba 3 muestras sobre los que se realizaría la determinación del peso fresco. Por medio de una sierra mecánica se separaron las ramas (de las que previamente se habían recolectado los frutos), el tronco y la raíz (una vez eliminados los restos de suelo de la raíz) y

se procedió a su determinación de peso fresco como se describe en el apartado anterior. El total de cosecha de los frutos se estimó del total por árbol recogido en la/s cosecha/s anterior/es correspondientes a un año completo.

Una muestra representativa de cada órgano, junto a muestras de fruto, se recolectaron para su determinación de peso seco en el laboratorio como se ha descrito anteriormente.

Para la expresión del Carbono total capturado por árbol y por año, se consideró que la biomasa de hoja se renueva cada 3 años y que el peso total de la parte aérea y de la raíz está en una relación del 70/30 respectivamente de la biomasa total del árbol (Morgan et al., 2006). Las medidas se realizaron como se describe a continuación



Foto 4.- Muestreo y procesado de Cítricos

2.2.- Determinación de Carbono total.

El total de carbono se analizó en sub-muestras (alrededor de 2-3 mg PS) de hojas, tallos, frutos y raíces con un analizador de NC-Thermo Finnigan 1112 EA analizador elemental (Thermo Finnigan-, Milán, Italia).



Foto 5.- Analizador de carbono del CEBAS-CSIC

3.- RESULTADOS

3.1 Estimación de carbono y captación de CO₂ en plantas herbáceas

Los resultados de las estimaciones de CO₂ de las plantas herbáceas Tomate, pimiento, sandía, melón, lechuga y brócoli se muestran en las tablas de la 1 a la 6.

Las tablas recogen los valores medios de biomasa y captación de CO₂ anuales a partir del porcentaje de carbono de cada una de las fracciones de la planta en las que han sido divididas. Ya que se trata de plantas de crecimiento anual, el total de carbono se ha determinado en la planta completa, teniendo en cuenta la producción total de la planta de fruto y las podas.

En las plantas de tomate (Tabla 1) se observa un mayor contenido de carbono y captación de CO₂ que en las de pimiento (Tabla 2) ya que el tomate presenta una mayor biomasa que el pimiento. Sin embargo, cuando se calcula el total de carbono por hectárea, las diferencias entre estos dos cultivos se reducen debido a que la densidad del cultivo de pimiento es mayor (2,2 plantas m⁻²) frente a tomate (2 plantas m⁻²). En la actualidad coexisten una alta cantidad de distintas variedades de tomate en la región, y distintos tipos de cultivo. Para el estudio se eligió el tomate de ensalada (variedad Corvey) y cultivo en suelo

En la Tabla 3 se registran unos valores de absorción de CO₂ y contenido de carbono de sandía. Como puede observarse los valores por planta son muy similares a los de tomate. Sin embargo, el hecho de que la densidad de plantación sea menor hace que el total de C captado por hectárea sea menor. Cuando los datos de sandía se comparan con los de melón (Tabla 4), se observa que aunque los resultados de C absorbido por la planta de melón son mucho menores (aproximadamente la mitad), debido a la mayor cantidad de biomasa que presenta la sandía respecto a melón, el total por hectárea es similar por su la mayor densidad de plantación.

En la Tabla 5 se observa la diferencia de contenido de carbono en dos variedades de lechuga de interés agronómico. Como puede observarse en los valores por planta, estos son mucho mayores en la variedad Romana, debido a su mayor biomasa en peso seco. Sin embargo, entre estas variedades no existen grandes diferencias entre sus valores de captación de carbono por unidad de superficie, ya que Cogollo tiene un marco de plantación muy superior a Romana. En el cultivo de lechuga, cuando se calcula la cantidad de carbono por año y hectárea, se tiene en cuenta que anualmente se obtienen tres cosechas en nuestra región.

En la Tabla 6 perteneciente a dos variedades de Brócoli no hay grandes diferencias en la eficiencia de absorción de CO₂ por parte de ninguno de los cultivares respecto al otro aunque es algo mayor en el cultivar Naxos debido a que su biomasa es algo mayor. Como en el caso de la lechuga, cuando se calcula la cantidad de carbono por año y hectárea, se tiene en cuenta que anualmente se obtienen tres cosechas en nuestra región.

Los resultados obtenidos de coliflor (Tabla 7) son bastante altos comparados con la otra Brassica analizada, el brócoli. Estos resultados se deben principalmente a su mayor biomasa ya que la densidad de plantación es similar, de manera que los resultados de fijación de carbono por planta y por unidad de superficie son mayores.

Los mayores incrementos de captación de CO₂ para las plantas hortícolas se observaron en Alcachofa (Tabla 8). Este resultado se debe a su gran biomasa en peso seco. De esta forma, aunque la densidad de plantación de las plantas de alcachofa es baja, resulta en una mayor concentración de carbono por unidad de superficie.

Tabla 1. Valores modulares de carbono e incremento de CO₂ de las distintas fracciones de biomasa (g) en tomate

TOMATE	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL PLANTA	
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Planta ⁻¹	g CO ₂ Planta ⁻¹
Raíz	134	22,5	83,23	38,96	17,5	0,2	8,8	32,3
Tallo	1.434	296,8	79,30	40,36	240	2,4	120	440
Hojas	866	169,7	80,40	40,99	139	1,4	69,6	255
Fruto	3.394	510,8	84,95	46,05	470,4	4,7	235,2	862
Total	5.827	1.000			867	8,7	433	1.590

Densidad de plantación: 2 plantas m⁻²

Tabla 2. Valores modulares de carbono e incremento de CO₂ de las distintas fracciones de biomasa (g) en pimiento

PIMIENTO	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL PLANTA	
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Planta ⁻¹	g CO ₂ Planta ⁻¹
Raíz	53,4	30,3	43,23	43,15	28,8	0,3	13,1	48,0
Tallo	458	269,1	41,24	40,82	241,7	2,4	109,8	402,6
Hojas	519	305,6	41,12	31,14	209	2,1	95,2	349,1
Fruto	683	135	80,25	46,34	137,5	1,4	62,5	229,2
Total	1.713	740			617	6	281	1.029

Densidad de plantación: 2,2 plantas m⁻²

Tabla 3. Valores modulares de carbono e incremento de CO₂ de las distintas fracciones de biomasa (g) en sandía

SANDÍA	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL PLANTA	
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Planta ⁻¹	g CO ₂ Planta ⁻¹
Raíz	46,8	8,5	81,87	37,83	1,3	0,01	3,2	11,73
Tallo	2.369	285	87,99	39,29	45	0,5	112	411
Hojas	2.691	322	88,05	37,54	48	0,5	121	444
Fruto	15.989	398	97,51	42,71	68	1	170	623
Total	21.096	1.013			162	1,6	406	1.489

Densidad de plantación: 0,4 plantas m⁻²

Tabla 4 Valores modulares de carbono e incremento de CO₂ de las distintas fracciones de biomasa (g) en melón

MELÓN	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL PLANTA	
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Planta ⁻¹	g CO ₂ Planta ⁻¹
Raíz	23,6	5	80,53	39,69	2	0,02	2	7,3
Tallo	1071	134	87,47	33,62	45,1	0,5	45,1	165,4
Hojas	764	90	88,17	36,72	33	0,3	33,0	121,0
Fruto	2972	319	89,25	43,43	138,5	1,4	138,5	507,8
Total	4.831	549			219	2	219	802

Densidad de plantación: 1 planta/m²

Tabla 5 Valores modulares de carbono e incremento de CO₂ de las distintas fracciones de biomasa (g) en las distintas variedades de lechuga

COGOLLO	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL PLANTA	
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Planta ⁻¹	g CO ₂ Planta ⁻¹
Raíz	56,6	12,8	77,44	39,90	229,8	2,3	5,1	18,7
Tallo	96,6	6,1	93,70	36,75	100,9	1,0	2,2	8,1
Hojas	430,2	22,3	94,81	35,08	352,5	3,5	7,8	28,6
Total	583,4	41,2			682,7	6,8	15,1	55,4
LECHUGA	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL PLANTA	
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Planta ⁻¹	g CO ₂ Planta ⁻¹
Raíz	65,4	18,4	71,90	38,69	138,9	1,4	7,1	26,0
Tallo	185,2	12,6	93,17	37,91	93,1	0,9	4,8	17,6
Hojas	1121,5	65,8	94,13	35,79	459,2	4,6	23,5	86,2
Total	1372,1	96,8			691,2	6,9	35,4	129,8

Densidad de plantación. Cogollo: 15 plantas/m². Lechuga: 6,5 plantas/m²

Tabla 6. Valores modulares de carbono e incremento de CO₂ de las distintas fracciones de biomasa (g) en dos variedades de brócoli

BRÓCULI-PARTHENON	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL PLANTA	
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Planta ⁻¹	g CO ₂ Planta ⁻¹
Raíz	228,5	42,9	81,23	41,48	186,8	1,9	17,8	65,3
Tallo	600,9	63,0	89,52	41,50	274,5	2,7	26,1	95,7
Hojas	103,9	11,0	89,41	42,04	48,6	0,5	4,6	16,9
Inflorescencia	207,4	22,2	89,57	43,98	101,8	0,5	9,7	32,5
Total	1140,7	139,1			611,75	6,1	58,2	210,4
BROCULI-NAXOS	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL PLANTA	
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Planta ⁻¹	g CO ₂ Planta ⁻¹
Raíz	196,5	43,9	77,66	39,35	181,4	1,8	17,3	63,4
Tallo	848,5	101,7	88,01	40,00	427,1	4,3	40,7	149,2
Hojas	51,4	6,4	87,55	41,81	27,9	0,3	2,7	9,9
Inflorescencia	186,5	19,9	88,55	44,21	96,0	0,5	4,4	16,1
Total	1182,7	161,9			682,4	6,8	65,0	238,7

Densidad de plantación: 3,5 plantas/m²

Tabla 7. Valores modulares de carbono e incremento de CO₂ de las distintas fracciones de biomasa (g) en plantas de Coliflor

COLIFLOR	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL PLANTA	
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Planta ⁻¹	g CO ₂ Planta ⁻¹
Raíz	83,75	20,7	75,31	38,19	83,0	0,8	7,9	29,0
Tallo	235,35	24,1	89,76	36,27	97,2	1,0	8,7	31,9
Hojas	1.246,50	118,9	90,46	38,40	479,4	4,8	45,7	167,6
Inflorescencia	801,00	74,5	90,69	41,77	326,7	3,3	31,1	114,0
Total	2.366,60	238,2			986	9,9	93,4	342,5

Densidad de plantación: 3,5 plantas/m²

Tabla 8. Valores modulares de carbono e incremento de CO₂ de las distintas fracciones de biomasa (g) en plantas de Alcachofa

ALCACHOFA	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL PLANTA	
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Planta ⁻¹	g CO ₂ Planta ⁻¹
Raíz	827	277,5	66,5	42,20	82	0,8	117,1	429,4
Tallo	1281	397,5	69,0	39,00	108,5	1,1	155	568,3
Hojas	2281	439	80,7	39,15	120,3	1,2	171,6	629,2
Inflorescencia	598	146	75,7	42,33	43,2	0,4	61,8	226,6
Total	4987	1260			354	3,5	506	1.854

Densidad de plantación: 0,7 plantas/m²

3.2 Estimación de CO₂ y contenido de carbono en cereales

En las Tablas 9, 10 y 11 se exponen los gramos totales de carbono asimilado por planta anual y fracciones de biomasa de Avena, Cebada y Trigo, así como el total de CO₂ absorbido por estos cereales. Como puede observarse, las tres especies de cereales no registran grandes diferencias en los distintos valores de absorción de los tres cultivos cuando se realiza el cálculo por planta. Sin embargo, si estimamos la fijación de CO₂ por unidad de superficie, los valores son algo más bajos en cebada debido a la menor densidad de plantación.

Tabla 9. Valores anuales de absorción de CO₂ y carbono asimilado en plantas de Avena

AVENA	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL PLANTA	
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Planta ⁻¹	g CO ₂ Planta ⁻¹
Raíz	4,7	0,4	91,03	34,21	17,5	0,2	0,1	0,37
Parte aérea	18,5	6,7	63,89	42,02	360,4	3,6	2,8	10,27
Total	23,1	7,1			378	3,8	3,0	10,63

Densidad de plantación: 128 plantas/m²

Tabla 10. Valores anuales de absorción de CO₂ y carbono asimilado en plantas de Cebada

CEBADA	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL PLANTA	
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Planta ⁻¹	g CO ₂ Planta ⁻¹
Raíz	2,1	0,9	53,63	27,65	24,9	0,2	0,2	0,7
Parte aérea	61,8	7,9	87,29	42,73	300	3,0	3	12,3
Total	63,9	8,8			325	3,2	3,6	13,0

Densidad de plantación: 100 plantas/m²

Tabla 11. Valores anuales de absorción de CO₂ y carbono asimilado en plantas de Trigo

TRIGO	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL PLANTA	
	(g planta ⁻¹)	(g planta ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Planta ⁻¹	g CO ₂ Planta ⁻¹
Raíz	1,5	0,7	49,80	26,54	23,2	0,2	0,2	0,7
Parte aérea	16,8	6,7	60,23	42,26	354	3,5	2,8	10,3
Total	18,3	7,4			377,2	3,8	3,0	11,0

Densidad de plantación: 125 plantas/m²

3.3. Estimación de carbono y captación de CO₂ en árboles frutales

Los resultados de las estimaciones de CO₂ de los árboles Albaricoquero, ciruelo, melocotonero, nectarino, uva de mesa, limonero, naranjo y mandarina se muestran en las Tablas 12 a la 16.

Las tablas recogen los valores medios de biomasa y captación de CO₂ totales a partir del porcentaje de carbono de cada una de las fracciones de la planta en las que han sido divididas. El total de carbono se ha determinado en la planta completa, teniendo en cuenta la producción anual de fruto y el crecimiento anual de la planta.

En la tabla 12 se muestran los datos correspondientes al análisis del albaricoquero donde se observa un mayor contenido de carbono y captación de CO₂ por árbol que en el resto de los frutales de hueso, pero teniendo en cuenta que la densidad de plantación del albaricoquero es la mitad que la del resto de frutales de hueso, sería el melocotonero el que mayores índices por superficie obtendría (tabla 14). De hecho, si tuviéramos en cuenta solamente el contenido en carbono y la captación de CO₂ por unidad de superficie, el albaricoquero sería la especie con menores índices seguido por el ciruelo (tabla 13). Los valores más altos se producen para el melocotonero y nectarino (tabla 14 y 15). Hay que tener en cuenta que el ciruelo es el frutal de hueso con menor peso seco (biomasa) de los cuatro analizados, lo que indicaría una mayor capacidad de captación de CO₂ y de acumulación de carbono.

Los datos obtenidos para parras de uva de mesa (tabla 16) muestran que a pesar de tener aproximadamente la mitad de peso seco que el nectarino, obtiene valores similares en los índices de acumulación de carbono por unidad de superficie. Por otra parte, cuando se comparan los índices de acumulación de C y de captación de CO₂ por parra con los datos obtenidos de los frutales de hueso muestra valores muy inferiores (hasta un 75% de disminución si comparamos con el albaricoquero).

Tabla 12. CO₂ total acumulado por árbol anualmente, por fracción de biomasa en Albaricoquero.

ALBARICOQUERO	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL ÁRBOL	
	(g árbol ⁻¹)	(g árbol ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Árbol ⁻¹	g CO ₂ Árbol ⁻¹
Raíz	25.217	15.130	40,00	43,04	132,8	1,3	6.512	23.870
Ramas	10.185	6.057	40,53	46,74	57,8	0,6	2.831	10.381
Hojas	12.081	5.074	58,00	45,13	46,7	0,5	2.290	8.396
Fruto	125.000	18.588	85,13	64,5	174,3	1,7	8.545	31.331
Tronco	10.297	6.134	40,53	46,74	58,5	0,6	2.867	10.512
Total	182.780	50.983			470,1	4,7	23.045	84.498

Densidad de plantación: 0,0204 árboles/m²

Tabla 13. CO₂ total acumulado por árbol anualmente, por fracción de biomasa en Ciruelo.

CIRUELO	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL ÁRBOL	
	(g árbol ⁻¹)	(g árbol ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Árbol ⁻¹	g CO ₂ Árbol ⁻¹
Raíz	12.600	7.840	37,78	48,21	215,0	2,2	3.780	13.859
Ramas	2.882	1.487	48,40	47,09	39,9	0,4	700	2.568
Hojas	1.737	722	58,43	42,41	17,5	0,2	306	1.123
Frutos	75.000	10.583	85,89	49,38	297,9	3,0	5.226	19.161
Tronco	4.792	2.355	50,86	47,09	63	1	1.109	4.066
Total	97.011	22.987			633.3	6.3	11.121	40.777

Densidad de plantación: 0,057 árboles/m²

Tabla 14. CO₂ Total acumulado por árbol anualmente, por fracción de biomasa en Melocotonero.

MELOCOTONERO	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL ÁRBOL	
	(g árbol ⁻¹)	(g árbol ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Árbol ⁻¹	g CO ₂ Árbol ⁻¹
Raíz	15.308	9.832	35,77	48,02	268,9	2,7	4.721	17.312
Ramas	4.200	2.259	46,22	45,56	58,9	0,6	1.029	3.773
Hojas	11.700	5.005	57,22	44,13	125,9	1,3	2.209	8.099
Frutos	78.000	8.182	89,51	46,84	218,5	2,2	3.833	14.053
Tronco	7.273	3.911	46,22	45,56	101,6	1,0	1782	6.534
Total	116.481	25.122			773.8	7.7	13.574	49.771

Densidad de plantación: 0,057 árboles/m²

Tabla 15. CO₂ total acumulado por árbol anualmente, por fracción de biomasa en Nectarina.

NECTARINA	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL ÁRBOL	
	(g árbol ⁻¹)	(g árbol ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Árbol ⁻¹	g CO ₂ Árbol ⁻¹
Raíz	13.308	8.548	35,77	48,02	234,0	2,3	4.105	15.052
Ramas	3.200	1.721	46,22	45,56	41,9	0,4	784	2.875
Hojas	9.700	4.150	57,22	44,13	52	0,5	1.831	6.714
Frutos	75.000	9.608	87,19	49,01	299,2	3	4.709	17.266
Tronco	5.273	2.836	46,22	45,56	80	0,8	1.292	4.738
Total	106.481	26.862			739,8	7	12.721	46.644

Densidad de plantación: 0,057 árboles/m²

Tabla 16. Valores anuales de absorción de CO₂ y carbono asimilado en parra de Uva de mesa.

UVA DE MESA	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL ÁRBOL	
	(g árbol ⁻¹)	(g árbol ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Árbol ⁻¹	g CO ₂ Árbol ⁻¹
Raíz	6.242	2.788	55,33	44,98	103	1,0	1.254	4.599
Ramas	3.615	1.387	61,62	45,89	52,2	0,5	637	2.335
Hojas	5.187	1.737	66,58	46,18	65,8	0,7	802	2.941
Frutos	47.500	6.992	85,28	47,17	270,4	2,7	3.298	12.093
Tronco	1.624	800	50,74	45,89	30	0	367	1.347
Total	64.168	13.704			521.4	5.2	6.358	23.315

Densidad de plantación: 0,082 plantas/m²

3.4 Estimación de CO₂ en cítricos

En cada tabla correspondiente a los cítricos (Tablas 17-19) se ofrecen las toneladas totales según clases y fracciones de biomasa, así como el total de CO₂ asimilado anualmente por árbol.

En el caso de los cítricos es el limonero (tabla 17) el que consigue valores superiores, no sólo al compararlos con los del resto de los cítricos sino también cuando se compara con el resto de especies arbóreas. En este caso, el limonero muestra mejores índices de captación y acumulación tanto por árbol (debido a que tiene mayor biomasa que el resto de especies) como por superficie. En general parece el cultivo con mayor capacidad de fijación de CO₂. El naranjo (tabla18) presenta valores muy inferiores al limonero pero similares en general a los frutos de hueso, mientras que el mandarino mostró valores inferiores al resto (tabla19).

Tabla 17. Valores anuales de absorción de CO₂ y carbono asimilado en árboles de Limonero

LIMONERO	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL ÁRBOL	
	(g árbol ⁻¹)	(g árbol ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Árbol ⁻¹	g CO ₂ Árbol ⁻¹
Raíz	26.833	13.953	48,00	43,87	174,9	1,7	6.121	22.446
Ramas	17.000	8.898	47,66	44,23	112,4	1,1	3.935	14.430
Hojas+Tallos	36.667	15.576	57,52	43,30	192,7	1,9	6.744	24.729
Frutos	200.000	26.540	86,73	42,51	322,3	3,2	11.282	41.368
Tronco	4.330	2.266	47,66	44,23	28,6	0,3	1.080	3.960
Total	284.830	67.233			831	8,3	29.163	106.933

Densidad de plantación: 0,028 árboles/m²

Tabla 18. Valores anuales de absorción de CO₂ y carbono asimilado en árboles de Naranja

NARANJO	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL ÁRBOL	
	(g árbol ⁻¹)	(g árbol ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Árbol ⁻¹	g CO ₂ Árbol ⁻¹
Raíz	7.555	2.420	67,97	44,13	44,8	0.4	1.068	3.916
Ramas	6.217	3.362	45,93	44,13	62.3	0.6	1.483	5.439
Hojas+Tallos	8.893	3.945	55,64	40,80	67.6	0.7	1.610	5.902
Frutos	100.000	20.568	82,86	41,90	362.0	3.6	8.618	31.599
Tronco	2.845	1.538	45,93	44,13	28.5	0.3	679	2.489
Total	133.510	31.833			565.2	5.6	13.458	49.345

Densidad de plantación: 0,042 árboles/m²

Tabla 19. Valores anuales de absorción de CO₂ y carbono asimilado en árboles de Mandarino

MANDARINO

MANDARINO	Peso fresco	Peso seco	Humedad	%C	Total C	Total C	TOTAL ÁRBOL	
	(g árbol ⁻¹)	(g árbol ⁻¹)	%	(% Peso seco)	(g m ⁻² año ⁻¹)	(T ha ⁻¹ año ⁻¹)	g C Árbol ⁻¹	g CO ₂ Árbol ⁻¹
Raíz	2.858	957	66,52	44,98	17,9	0,2	430,5	1578,5
Ramas	1.050	632	39,78	44,98	11,8	0,1	284,4	1042,8
Hojas+Tallos	4.667	2.239	52,02	40,57	37,8	0,4	908,4	3330,8
Frutos	80.000	15.496	80,63	43,50	280,8	2,8	6740,8	24716,3
Tronco	435	262	39,78	44,98	5	0,05	118	432
Total	89.010	19.587			353	3,5	8.482	31.101

Densidad de plantación: 0,042 árboles/m²

A modo de resumen, se exponen las Figuras 3 y 4 donde se pueden comparar el C fijado anual de los distintos cultivos tanto por unidad de superficie (m^2 en Figura 1) como por planta o árbol (Figura 2). En ésta última, se han separado árboles del resto de los cultivos por su diferente escala. Puede observarse que el 50% de los cultivos tanto hortícolas como arbóreos fijan más del 500 g de carbono por m^2 , es decir, más de 1800 g de CO_2 por m^2

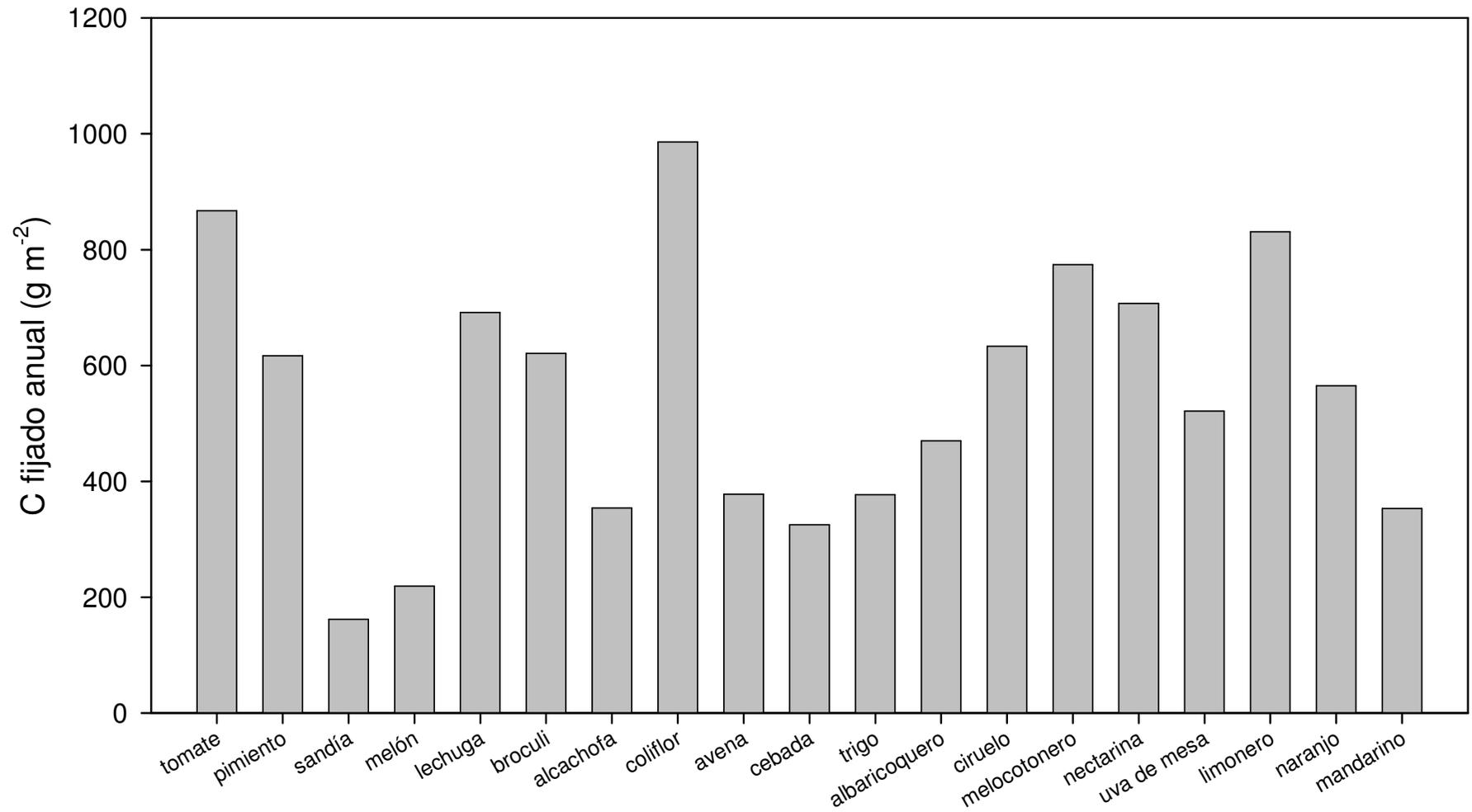


Figura 3. Carbono total anual fijado por cada uno de los cultivos estudiados expresado por unidad de superficie (m²)

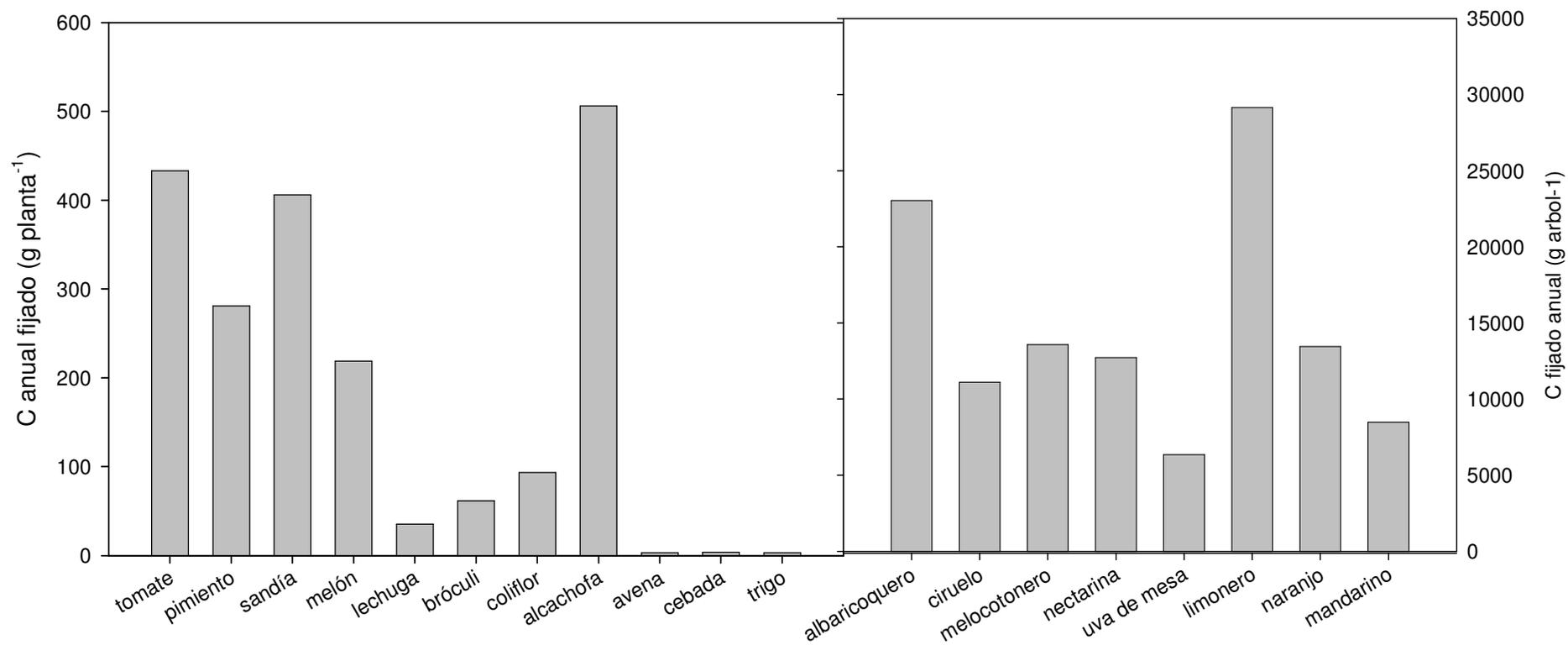


Figura 4. Carbono total anual fijado por cada uno de los cultivos estudiados expresado por planta o árbol.

4.- DISCUSIÓN

Los datos presentados en este trabajo han sido obtenidos de especies vegetales agrícolas de la Región de Murcia. Los muestreos se han realizado en distintas zonas de la Región donde el cultivo resulta más representativo. De esta forma, aunque en otras zonas el crecimiento o las variedades sean diferentes, se ha plasmado la generalidad en el conjunto de nuestra Región.

En este trabajo se han presentado los datos de captación de CO₂ por planta para poder comparar entre especies agrícolas, pero para una mayor consideración de los balances en el cálculo total hay que tener en cuenta los resultados por hectárea junto al conocimiento de la densidad de plantación.

En general, de los datos obtenidos de este trabajo podemos afirmar que de los cultivos hortícolas analizados, la alcachofa es el más eficiente en su captación de CO₂ seguido de tomate y sandía (Figura 1). Sin embargo, cuando se analizan los resultados por unidad de superficie, es la coliflor el cultivo más eficiente y la alcachofa pasa a ser de los menos eficientes junto a la sandía y melón. Los cereales cuando se analizan por planta individual son muy eficientes en la fijación de CO₂ superando a todos los valores obtenidos en las plantas hortícolas. Sin embargo, cuando se analizan por superficie, los resultados descienden a valores muy bajos.

Dentro de los frutales de hueso analizados, el melocotón y el nectarino son los más eficientes fijadores de CO₂ por unidad de superficie cultivada, seguidos del ciruelo y, en último lugar, el albaricoquero. A pesar de que el albaricoquero es el que mejor índice de fijación de CO₂ muestra por árbol, su eficiencia se ve disminuida debido a que marco de plantación (7mx7m) que se utiliza para su cultivo es muy superior al del resto de cultivos de frutales de hueso (3,5mx5m). Por otra parte, si tenemos en cuenta que la relación Kg. de Carbono/ Kg. materia seca es muy similar para todas las especies, nos indica que, además del marco de plantación, la capacidad vegetativa de las especies es un factor que afecta a la capacidad de fijación de CO₂ por la planta. Por ejemplo, el ciruelo se cultiva con el mismo marco de plantación que el

melocotón o el nectarino, sin embargo, la capacidad de fijación de CO₂ se ve disminuida respecto a los demás debido a que tiene un menor desarrollo vegetativo.

Entre todas las especies arbóreas analizadas en este trabajo es el limonero el que mostró mayor índice de captación de CO₂, tanto en función de la superficie como por árbol. En este caso el factor más relevante para la captación del CO₂ es el gran desarrollo vegetativo que alcanza el limonero a lo largo de su vida, convirtiéndose en árboles más frondosos, con mayor superficie foliar y, por lo tanto, con mayor capacidad de captación de CO₂. En la agricultura moderna, el naranjo y el mandarino se cultivan con un porte mucho menor que el limonero. Sin embargo, a pesar de que su marco de plantación es menor, sus índices de captación de CO₂ resultan muy inferiores a los de éste, e, incluso, a los del melocotón y el nectarino, teniendo éstos un peso seco inferior al naranjo. En este caso, el factor limitante para la captación de CO₂ por la planta es el marco de plantación utilizado para el correcto cultivo del naranjo.

Por último, el cultivo de uva de mesa presenta más que aceptables índices de absorción de CO₂ comparándolos con los obtenidos del resto de especies si tenemos en cuenta que es el cultivo con menor biomasa de todos los estudiados. En este caso la captación de CO₂ se ve favorecida por la alta densidad de cultivo (3,5mx3,5m).

Un dato a tener en cuenta es la cantidad de desechos que se obtienen de cada cultivo y el uso que se hace de ellos. Por ejemplo, el material vegetal obtenido de las podas de los cultivos arborícolas al descomponerse podría suponer una fijación de Carbono en el suelo de un 20-35% del contenido en C de la poda en un año (Brady y Weil, 2004). Esta práctica mejoraría las condiciones del suelo y reduciría las emisiones de CO₂ a la atmósfera, ya que la quema de rastrojos y de restos de cultivo o podas de los mismos, no sólo es una actividad contaminante por generar CO₂ sino que, además, empobrece los suelos de los cultivos debido a, entre otros factores, a eliminación de pequeños insectos y microorganismos en las capas superiores del suelo (Blanco-Roldan y Cuevas, 2002). Por otra parte, habría que tener en cuenta la posibilidad de

utilizar estos desechos como materia prima para la obtención de energías renovables como por el ejemplo, el biodiesel. Si unimos los desechos de las podas a los generados en la manipulación y/o transformación de los productos hortofrutícolas en las industrias (piel, pulpa, huesos y semillas de los frutos) obtendríamos un volumen realmente importante para su transformación en materias primas para la obtención de biodiesel, aromas, piensos para ganado y/o agua, tanto para riego como agua purificada (Biodisol.com, 2009). Todos estos subproductos aumentarían la eficiencia ecológica de los cultivos, y daría lugar a una agricultura sostenible en su totalidad.

Por otro lado en cada cultivo se ha de tener en cuenta el tipo de fertilización. El uso masivo de fertilizantes químicos en la agricultura intensiva ha aumentado la preocupación por el declive de la fertilidad de los suelos y el aumento de la emisión de gases de efecto invernadero. El agotamiento de los nutrientes del suelo es resultado del incremento de presión sobre las tierras agrícolas, dando lugar a un mayor flujo de salida de nutrientes no compensados (Wopereis et al., 2006). Esta es la razón de que los aportes orgánicos sean necesarios para garantizar que los sistemas intensivos no pongan en peligro la sostenibilidad del uso de la tierra. Sin embargo, los pequeños productores son reacios a utilizar desechos orgánicos o compost debido a la incertidumbre sobre sus beneficios y seguridad. De hecho, una desventaja de la producción del cultivo orgánico es que las cosechas son normalmente más bajas comparadas con una producción convencional (Mäder et al., 2002; Dumas et al., 2003) porque los fertilizantes orgánicos proporcionan nutrientes no tan rápido como los fertilizantes minerales y no suministran una proporción equilibrada de nutrientes (Båth, 2000; Kirchmann et al., 2002; Gunnarsson, 2003). Por lo tanto, plantas cultivadas con fertilizantes orgánicos normalmente crecen de forma más lenta comparado con plantas que han sido fertilizadas con nutrientes minerales fácilmente disponibles (Robertson et al., 2000). Aunque no se ha demostrado de forma concluyente que los productos orgánicos sean mas nutritivos que los cultivados de manera convencional (Winter, 2006) si que se ha observado que la fertilización orgánica produce una reducción de emisión de gases de efecto invernadero (Matson et al., 1990). Los fertilizantes de la agricultura pueden ser considerados como la fuente

antropogénica más importante de N₂O, que supone el 70% de los gases de efecto invernadero (Bouwman 1994; Watson et al., 1992).

Los cálculos del presente trabajo, indican también las posibles direcciones políticas si se quiere incrementar el índice de captura del CO₂ atmosférico. Por un lado, se ha de propiciar una mayor extensión de cubierta vegetal con agricultura en zonas donde la cubierta natural es escasa y por otro, hay que tener en cuenta que mayores aportes hídricos van a determinar un incremento en la biomasa agrícola. En este sentido, el clima semi-desertico de gran parte de la Región de Murcia produce altos incrementos en la evapotranspiración y por consiguiente mayores requerimientos hídricos (Cubasch et al., 2001).

5.- CONCLUSIONES FINALES

Como se ha podido desprender del trabajo presentado, dependemos de las plantas para contrarrestar el efecto invernadero. Por lo tanto, la solución al cambio climático pasa necesariamente por la conservación de la mayor cantidad posible de zonas con vegetación. Debemos optimizar su capacidad de captación con la mejora de las prácticas agronómicas y con la utilización de los subproductos. Por otro lado, la alta *capacidad de adaptación* que poseen las plantas y que les ha permitido resistir grandes cambios a lo largo de miles de millones de años, ha de utilizarse como base para estudios científicos que nos permitan evaluar la situación de nuestra agricultura en las condiciones climáticas futuras.

Por todo ello, los resultados encontrados inciden sobre la necesidad de conservar los sistemas agrícolas de nuestra Región con mayores aportes hídricos que determinarán un incremento en la biomasa agrícola y por lo tanto una mayor captación de CO₂ atmosférico. Todo ello con el compromiso de reutilizar los subproductos para obtener energía, fertilizantes e incluso el agua retenida en los órganos o tejidos de la planta no utilizados.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las siguientes empresas o agrupaciones, su disposición a la toma de muestras, ayuda técnica y asesoramiento en todo momento de este estudio: LANGMEAD FARMS, Finca experimental del CEBAS-CSIC, JOSÉ PEÑALVER FERNÁNDEZ, CDTA EL MIRADOR, MORTE QUILES, FRUTAS ESTHER, PATRICIO PEÑALVER AZNAR, FRUTAS TORERO, APROEXPA y FECOAM

BIBLIOGRAFÍA

- Båth, B. (2000) Matching the availability of N mineralisation from green-manure crops with the N-demand of field vegetables, PhD Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Biodisol.com (2009) <http://www.biodisol.com/biocombustibles/investigadores-la-upv-crean-un-proceso-para-reutilizar-los-desechos-de-los-citricos-usados-para-zumos-energias-renovables-biocombustibles-investigacion-e-innovacion/>
- Blanco-Roldán, G., Cuevas, S. (2002). La importancia de la maquinaria para la poda y manejo de restos. *Vida Rural*. 1 de Febrero de 2002, 56-58.
- Bouwman, A. F. (1994) *Direct Emission of Nitrous Oxide from Agricultural Soils* (Report No. 773004004, National Institute of Public Health and Environmental protection, Bilthoven, the Netherlands)
- Brady, N.C. and Weil, R.R. (2004). *Elements of the Nature and Properties of Soils*, 2/E. Ed. Pearson Prentice Hall, N.J.
- Cubasch U, Meehl GA, Boer GJ et al. (2001) Projections of future climate change. In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Houghton JT), pp. 525–582. Cambridge University Press, Cambridge.
- Dumas Y., Dadomo M., Di Lucca G., Grolier P. (2003) Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes, *J. Sci. Food Agric.* 83, 369–382.
- Gunnarsson S. (2003) Optimisation of N release – Influence of plant material chemical composition on C and N mineralization, PhD Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. (2003). Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner.
- Kimball B.A., Kobayashi K., Bindi M. (2002) Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment, *Adv. Agron.* 77, 293–368.
- Kirchmann H., Johnston A. E. J., Bergström L. F. (2002) Possibilities for reducing nitrate leaching from agricultural land, *Ambio* 31, 404–408
- Lal R. (1997). Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil Tillage Res* 43:81–107
- Mäder P., Fliessbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P., Niggli U. (2002) Soil fertility and biodiversity in organic farming, *Science* 296, 1694–1697.
- Martínez-Ballesta, M.C., Lopez-Perez, L. Muries, B, Muñoz-Azcarate, O., Carvajal, M. (2009) Climate change and plant water balance. The role of aquaporins. *Sustainable Agricultural Reviews* (E. Lichtfouse, Ed.) Vol 2, 71-89.
- Matson, P.A., Naylor, R. Ortiz-Monasterio I. (1999) Integration of environmental, agronomic, and economic aspects of fertilizer management. *Science* 280: 112-115.
- Morgan, K.T., Scholberg J.M.S., Obreza T.A. Wheaton T.A. Size, (2006) Biomass, and Nitrogen Relationships with Sweet Orange Tree Growth J. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 131(1):149–156..
- Robertson GP, Paul EA and Harwood R, (2000). Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289:1922–1925
- Sofa, A., Nuzzo, V., Palese, A.M., Xiloyannis, C., Celano, G., Zukowsky P., Dichio. B. (2005) Net CO₂ storage in Mediterranean olive and peach orchards. *Sci. Hortic.* 107:17–24.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy,

- J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood y D. Wratt. (2007): Technical Summary. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge y New York: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller ed. Pp, 25.
- Steudle E., Peterson C. (1998) How does water get through roots? *J. Exp. Bot* 49, 775-788.
- UNESA, (2005). Forestación y Reforestación. Sumideros de Carbono. En: *Metodologías para la Implementación de los Mecanismos flexibles de Kioto – Mecanismo de Desarrollo Limpio en Latinoamérica*. Rivero Torre, Pedro, León, Gonzalo, Eichhamer, Wolfgang, Deputy, Gázquez Mateos, José Luis, González Santaló, José Miguel, Ferrando Bravo, Gerardo, Cisneros Gárate, Pablo, Pérez Pallarés, Diego. Capítulo 8.
- Watson, R. T., L. G. Meiro Filho, E. Sanhueza, A. Janetos, (1992) in *Climate Change 1992—The Supplementary Report to the Intergovernmental Panel on Climate Change Scientific Assessment* (Cambridge Univ. Press, New York, 1992), pp. 25–46.
- Winter C.K., Davis S.F. (2006) Organic foods, *J. Food Sci.* 71, R117–R124.
- Wopereis M.C.S., Tamélokpo A., Ezui K., Gnakpénou D., Fofana B., Breman H. (2006) Mineral fertilizer management of maize on farmer fields differing in organic inputs in the West African savanna, *Field Crop. Res.* 96, 355–362.