

INICIATIVAS PARA UNA ECONOMÍA BAJA EN CARBONO



CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y AGUA

www.lessco2.es

**ETIQUETADO DE CARBONO EN LAS
EXPLORACIONES Y PRODUCTOS AGRÍCOLAS.
LA INICIATIVA AGRICULTURA MURCIANA
COMO SUMIDERO DE CO₂**

**CARBON LABELLING OF FARMS
AND AGRICULTURAL PRODUCTS.
THE INITIATIVE MURCIAN AGRICULTURE
AS A CO₂ SINK**

Realizado en Murcia, diciembre de 2010

Coordinación de la edición:

Consejería de Agricultura y Agua
Francisco Victoria Jumilla

Autores:

Consejería de Agricultura y Agua
Francisco Victoria Jumilla

Asistencias técnicas para el proyecto

Isabel Costa Gómez
Teresa Castro Corbalán
Ramón García Cárdenas
M^a Carmen Romojaro Casado
M^a Luisa Mesa del Castillo Navarro
José María Egea Sánchez

**Centro de Edafología y Biología Aplicada
del Segura del Consejo Superior
de Investigaciones Científicas (CEBAS-CSIC)**

Micaela Carvajal
César Mota
María Iglesias
Carlos Alcaraz-López
M.C. Martínez-Ballesta

Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)

Alain Baille
Alejandro Pérez-Pastor
Bernardo Martín Gorriz
Pedro Nortes Tortosa
María Milagros González Real
Gregorio Egea Cegarra
M^a del Rosario Conesa Saura
José María de la Rosa Sánchez
Raul Zornoza Belmonte
María Isabel Corbalán Rodríguez
Ángel Faz Cano
María Ángeles Muñoz García
Rafael Domingo Miguel

Universidad de Murcia (UMU)

Alfonso Ros Barceló
Juan Guerra Montes
Pedro Sánchez Gómez
José María Egea Fernández

**Instituto Murciano de Investigación
y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA)**

Francisco Moisés del Amor Saavedra
Javier Mirete García
M. Carmen Piñero Zapata
Miguel Marín Miñano

Imprime: Jiménez Godoy, S.A.

Depósito Legal: MU-1.794-2010

ISBN: 978-84-693-6838-1

PRESENTACIÓN

La agricultura es un sector estratégico porque produce alimentos, genera riqueza y empleo, fija la población rural, y es la principal actividad conservacionista del medio ambiente. La agricultura murciana es, además, una actividad competitiva, poco subvencionada y eminentemente exportadora, principalmente en frutas y hortalizas, sector que exporta el 20% del total nacional. Los 40 millones de árboles frutales que hay en la Región actúan como un auténtico sumidero de CO₂, una característica que hemos querido aprovechar para comprometernos con un tejido productivo ambientalmente responsable y conectado con las demandas sociales de los consumidores europeos.

La Administración regional puso en marcha la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂; un acuerdo voluntario y un instrumento idóneo para colaborar con el consumidor, las grandes cadenas de supermercados y el resto de partes interesadas en contribuir de forma responsable a la conservación del medio ambiente, en un momento en que la inquietud de los nuevos retos y cambios ambientales está modificando los esquemas de funcionamiento de los mercados.

Los trabajos comenzaron hace más de dos años cuando vimos que, por nuestras condiciones climáticas y por la eficiencia de la agricultura regional, la mayor parte de los cultivos podían actuar como sumidero neto de CO₂. Esta característica, además del beneficio ambiental que aportaba, podía convertirse en una ventaja competitiva de la agricultura regional y en un valor añadido para nuestros productos. De esta forma, surgió la idea de desarrollar esta iniciativa pionera, cuya puesta en marcha ha supuesto un importante esfuerzo.



Antonio
Cerdá Cerdá
*Consejero
de Agricultura y Agua
de la Región
de Murcia*

PRESENTATION

Agriculture is a strategic sector because it produces food, creates wealth and employment, maintains the rural population, and is the leading environmental conservation activity. Agriculture in Murcia is, in addition, a competitive activity, lightly subsidised and eminently exportable, particularly in terms of the fruit and vegetables industry, which exports 20% of the national total. The 40 million fruit trees in the region act as an authentic CO₂ sink, and we have sought to take advantage of this characteristic and commit ourselves to an environmentally responsible production model more in touch with the social demands of European consumers.

The regional administration has launched the initiative Murcian agriculture as a CO₂ sink. This is a voluntary agreement and a suitable instrument for collaboration with the consumer, the big supermarket chains and other parties interested in contributing in a responsible manner to the conservation of the environment, at a time when concerns over new challenges and environmental changes are altering the ways in which markets function.

This work began more than two years ago when we saw that because of our climatic conditions and the efficiency of our regional agriculture, most of the crops could act as a net CO₂ sink. This characteristic, in addition to the environmental benefits it brought, could be transformed into a competitive advantage for regional agriculture and added value for our products. And so it was that the idea to develop this pioneering initiative emerged, the implementation of which has required great effort.

Throughout 2009 we carried out, together with research centres including the universities of Murcia and Cartagena,



A lo largo de 2009 realizamos, junto con centros de investigación como las universidades de Murcia y Cartagena, el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario, los trabajos de base para determinar la fijación de CO₂ por los cultivos.

Hemos aprobado la Orden que regula dicha iniciativa y la marca asociada, y, con personal propio de la Consejería, además de dirigir todo el trabajo de investigación aplicada, se ha determinado el balance de carbono asociado a cada cultivo en una serie de explotaciones agrícolas representativas de nuestra comunidad. Gran parte de este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de las organizaciones agrarias de la Región FECOAM, APOEXPA y PROEXPORT.

El pasado mes de febrero, en la feria hortofrutícola de más proyección internacional, Fruit Logistica 2010, que se celebra en Berlín, el presidente de la Región de Murcia, con la presencia del secretario de Estado de Medio Rural y Agua, y el embajador de España en Alemania, presentó la puesta en funcionamiento de este distintivo de excelencia ambiental y los resultados obtenidos.

Este libro muestra el trabajo técnico y científico que ha sido necesario para desarrollar este instrumento de mercado al servicio de la sociedad y del medio ambiente con el que creemos que la Región de Murcia aporta importantes y beneficiosas novedades en un tema de plena actualidad a nivel europeo, como es el etiquetado de carbono de los alimentos.

the Centre for Edaphology and Applied Biology of the National Research Council, and the Murcia Institute for Agricultural and Food Research and Development, the basic work required to determine the CO₂ fixation of crops.

We have endorsed the order regulating this initiative and the associated label, and with the regional ministry's own staff, in addition to directing all the applied research work, the carbon balance associated with each crop in a number of representative farms from our community has been determined. Much of this work has been made possible thanks to the collaboration of the region's agricultural organisations: FECOAM, APOEXPA and PROEXPORT.

Last February, at Fruit Logistica 2010, the leading international fresh fruit and vegetable trade fair held in Berlin, the regional president of Murcia, in the presence of the secretary of state for Rural Affairs and Water, and the Spanish ambassador to Germany, presented the launch of this emblem of environmental excellence and the results obtained.

This book presents the scientific and technical work which has been necessary in order to develop this market instrument at the service of society and the environment, with which we believe that the region of Murcia contributes significant and beneficial developments in an issue of great relevance throughout Europe, that of the carbon labelling of food.



| | | |
|-----|---|-----|
| 1 | INTRODUCCIÓN/INTRODUCTION | 7 |
| 2 | ETIQUETADO DE CARBONO EN LAS EXPLOTACIONES Y PRODUCTOS AGRÍCOLAS. LA INICIATIVA AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO ₂ | 11 |
| | CARBON LABELLING OF THE AGRICULTURAL PRODUCTS.THE INITIATIVE MURCIAN AGRICULTURE AS A CO ₂ SINK | 37 |
| 3 | INVESTIGACIÓN APLICADA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FIJACIÓN DE CO ₂ POR LOS CULTIVOS AGRÍCOLAS..... | 63 |
| 3.1 | Investigación sobre la absorción de CO ₂ por los cultivos más representativos de la Región de Murcia | 65 |
| 3.2 | Evaluación de la fijación de carbono en la agricultura de la Región de Murcia | 93 |
| 3.3 | Dinámica de captación de CO ₂ por cultivos de naranjo en la Región de Murcia..... | 141 |
| 3.4 | Metodología no destructiva para la obtención del balance neto de carbono en cultivos leñosos de la Región de Murcia | 157 |
| 3.5 | Estudio comparativo de la fijación del CO ₂ en la vegetación natural de un transecto fitoclimático frente a cultivos hortofrutícolas de la Región de Murcia | 183 |
| 4 | METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO ₂ EQUIVALENTE EN EXPLOTACIONES AGRARIAS | 211 |
| 5 | RESULTADOS DE BALANCES DE CARBONO REALIZADOS EN EXPLOTACIONES AGRÍCOLAS DE LA REGIÓN DE MURCIA | 223 |
| 5.1 | Balance de carbono en cultivos de agricultura intensiva..... | 225 |
| 5.2 | Balance de carbono en cultivos de agricultura ecológica | 277 |



| | |
|--|-----|
| 6 ANEXO. ORDEN DE 20 DE NOVIEMBRE DE 2009, DE LA CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y AGUA, POR LA QUE SE DESARROLLA LA INICIATIVA AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO ₂ Y SE ESTABLECE LA OBTENCIÓN Y EL USO DEL ANAGRAMA-SELLO LESSCO2 IDENTIFICADOR DE LOS COMPROMISOS ADQUIRIDOS EN EL MARCO DE LA MISMA (BORM N° 273, DE 25 DE NOVIEMBRE DE 2009). SE PUEDE CONSULTAR EN WWW.LESSCO2.ES..... | 291 |
| APPENDIX. DECREE DATED NOVEMBER 20TH 2009, BY THE REGIONAL MINISTRY OF AGRICULTURE AND WATER, AUTHORISING THE DEVELOPMENT OF THE INITIATIVE MURCIAN AGRICULTURE AS A CO ₂ SINK AND ESTABLISHING THE CREATION AND USE OF THE LOGO-STAMP LESSCO2 TO IDENTIFY THE COMMITMENTS SET OUT BY THE INITIATIVE | 311 |

1 INTRODUCCIÓN

Una gestión eficiente de los cultivos puede conducir a un almacenamiento neto de CO₂, una vez descontadas las emisiones necesarias para su producción, es decir, a un balance positivo de CO₂.

La agricultura murciana, por su eficiencia y benignidad de su clima, se caracteriza por una escasa dependencia de factores energéticos. Por eso, muchos de los cultivos tienen un balance de carbono positivo (comportándose como sumidero de CO₂) incluso teniendo en cuenta las emisiones derivadas del procesado y transporte de los productos al centro de Europa.

La Región ha querido aprovechar esta característica. Para ello, ha puesto en marcha la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂, conformada como un acuerdo voluntario. La iniciativa permite canalizar y hacer visibles el mayor número de esfuerzos individuales para colaborar en la mitigación del cambio climático, aportando cada uno su capacidad para actuar como sumidero.

En este libro, un amplio grupo de técnicos y de investigadores que participamos en el desarrollo e implantación de esta iniciativa hemos tratado de recopilar los trabajos con los que hemos contribuido.

En el capítulo 2, se recoge una visión general de esta iniciativa. El texto legal, que ha sido publicado en el Boletín Oficial de la Región de Murcia (Nº 273), el día 25 de noviembre de 2009, mediante Orden de 20 de noviembre de 2009, de la Consejería de Agricultura y Agua, por la que se desarrolla la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ y se establece la obtención y uso del anagrama-sello LessCO2 identificador de los compromisos adquiridos en el marco de la misma, se recoge en el anexo.

El capítulo 3 del libro se dedica a recopilar las investigaciones y trabajos técnicos concretos que han permitido su puesta en marcha así como las líneas de investigación que todavía siguen abiertas.

1 INTRODUCTION

Efficient management of crops can lead to a net storage of CO₂, once the emissions necessary for their production have been discounted; in other words, a positive CO₂ balance.

By virtue of its efficiency and the benign nature of its climate, the agriculture of Murcia is characterised by its scant dependence on energy factors. For this reason, many of the crops have a positive carbon balance (meaning that they act as CO₂ sinks), even when taking into account the emissions deriving from the processing and transporting of the products to central Europe.

The region has sought to take advantage of this characteristic. To that end, it has set in motion the initiative Murcian agriculture as a CO₂ sink, which is a voluntary agreement. The initiative promotes the channelling and heightened visibility of as many individual actions as possible as a contribution to the mitigation of climate change, with each one contributing their ability to act as a carbon sink.

In this book, those of us who formed the broad group of technicians and researchers who participated in the development and implementation of this initiative have tried to bring together the work to which we contributed.

In the chapter 2 provides an overall view of this initiative. The legal text was published in the Official Newsletter of the Murcia Region (Nº 273) on November 25th 2009, through the decree dated November 20th 2009 by the regional Ministry of Agriculture and Water authorising the initiative Murcian agriculture as a CO₂ sink and establishing the creation and use of the logo-stamp LessCO2 to identify the commitments of the initiative, which are set out in an appendix.

The chapter 3 of the book is dedicated to gathering the specific research and technical work which has enabled its implementation, as well as that research which remains ongoing.

The awareness regarding climate change which exists among consumers in Europe has led a number of supermar-



La sensibilidad alcanzada en relación al cambio climático por los consumidores de Europa ha llevado a numerosas cadenas de supermercados a pedir a los productores de los alimentos expuestos en sus estanterías que suministren información sobre las emisiones de CO₂ que han sido necesarias para producirlos. Es lo que se ha denominado como huella de carbono.

La figura de la huella de carbono empieza a utilizarse más allá del ejercicio voluntario de las empresas. Así, por ejemplo, la Asamblea General francesa aprobó la Ley Grenelle 2 (Ley nº 2010-788), el 12 de julio de 2010, que desarrolla instrumentos para obligar a que los bienes y servicios, entre ellos los alimentos, contemplen su huella de carbono.

Hasta ahora, en el mercado se había desarrollado un solo tipo de etiquetas o marcas relacionadas con el CO₂, mostrando sólo las emisiones o huella de carbono de productos y servicios, ignorando que algunos productos como son los agrícolas pueden retirar CO₂ de la atmósfera en determinadas fases de su proceso.

La marca LessCO₂ asociada a la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ inaugura un segundo grupo entre el conjunto de marcas relacionadas con el CO₂. Esta etiqueta permite hacer público el resultado final o balance de CO₂ de un producto agrícola, calculado a partir de la capacidad fotosintética de fijar CO₂ que tienen los cultivos.

Para poder calcular el balance de carbono de un producto agrícola, es necesario conocer, además de las emisiones de CO₂ equivalente necesarias para su producción, la cantidad total de CO₂ que ha fijado el cultivo, información que hasta ahora no estaba disponible en la bibliografía, razón por la que, en el marco de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ ha sido necesario coordinar un proyecto de investigación científica¹ en el que han participado centros

ket chains to ask the producers of the foodstuffs displayed on their shelves to provide information regarding the CO₂ emissions necessary for their production. This is what is meant by the term carbon footprint.

The French General Assembly approved the Grenelle 2 Law (Law Number 2010-788), on July 12th 2010, which develops instruments to oblige goods and services, including foodstuffs, to consider their carbon footprint.

Until now, in the market a single type of labelling or branding associated with CO₂ had been introduced, only displaying the emissions or carbon footprint of products and services and ignoring the fact that some products, such those of the agricultural sector, can remove CO₂ from the atmosphere during certain stages in their development.

The LessCO₂ logo associated with the Murcian agriculture as a CO₂ sink initiative introduces a second group to the ensemble of labels associated with CO₂. This label enables the publicising of the final result or CO₂ balance of an agricultural product, calculated on the basis of the photosynthetic ability of crops to fix CO₂.

In order to calculate the carbon balance of an agricultural product, it is necessary to know, in addition to the CO₂ equivalent emissions necessary for its production, the quantity of CO₂ which the crop has fixed, and until now this information has not been available in the bibliography. For this reason, within the framework of the Murcian agriculture as a CO₂ sink initiative, it has been necessary to coordinate a scientific research project¹ in which the region's official research centres and public universities have participated. The results of this research are included in the subsection "Research Applied to Determine the CO₂ Fixation of Agricultural Crops".

In order to calculate the CO₂ equivalent emissions a number of actual trials have been performed by staff from the de-

1. El CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Universidad Politécnica de Cartagena, Universidad de Murcia y el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario.

1. CEBAS-Spanish National Research Council, Polytechnic University of Cartagena, University of Murcia, and the Murcia Institute for Agricultural and Food Research and Development.

oficiales de investigación y las universidades públicas de la Región. Los resultados de estas investigaciones se recogen en el apartado “Investigación aplicada para la determinación de la fijación de CO₂ por los cultivos agrícolas”.

Para calcular las emisiones de CO₂ equivalente se han realizado numerosos ensayos reales, por personal del Departamento de Cambio Climático de la Administración ambiental de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, en explotaciones agrícolas representativas para cada uno de los cultivos, distribuidos por todo el territorio regional. Si a la fijación de CO₂ realizada por los cultivos se le restan las emisiones de CO₂ equivalente, se obtienen los balances de carbono. El apartado “Balance de carbono en cultivos de agricultura intensiva” se dedica a estos aspectos.

Por último, se ha querido extender la iniciativa a la agricultura ecológica. Los resultados obtenidos se contemplan en el apartado “Balance de carbono en cultivos de agricultura ecológica”.

Francisco Victoria Jumilla
Coordinador del proyecto

partment of climate change of the environmental administration of the Autonomous Community of Murcia, in representative farming operations for each crop, spread across the entire region. If the CO₂ equivalent emissions are subtracted from the CO₂ fixation of the crops, the carbon balance is obtained. The subsection “Carbon Balance in Intensive Agricultural Crops” is dedicated to these issues.

Finally, we have tried to extend the initiative to organic farming. The results obtained are provided in the subsection “Carbon Balance in Organically Farmed Crops”.

Francisco Victoria Jumilla
Project coordinator

**ETIQUETADO DE CARBONO EN LAS EXPLOTACIONES Y PRODUCTOS AGRÍCOLAS.
LA INICIATIVA AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO₂**

ETIQUETADO DE CARBONO EN LAS EXPLOTACIONES Y PRODUCTOS AGRÍCOLAS. LA INICIATIVA AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO₂

Francisco Victoria Jumilla*, Isabel Costa Gómez**, Teresa Castro Corbalán**, Ramón García Cárdenas**,
M^a Carmen Romojaró Casado**, M^a Luisa Mesa del Castillo Navarro**

*Director del proyecto y coordinador del Observatorio Regional del Cambio Climático. **Asistencias técnicas para el proyecto

1. CAMBIO CLIMÁTICO: PROBLEMA AMBIENTAL QUE MÁS PREOCUPA A LOS EUROPEOS

El cambio climático es uno de los principales retos ambientales que se le plantean a medio y largo plazo a la mayor parte de los países para alcanzar un desarrollo sostenible. Las causas que originan la alteración del clima

están íntimamente ligadas a nuestro modelo de producción y consumo basado en la utilización de combustibles fósiles. El conocimiento sobre las consecuencias previstas, que alcanzarán en diferente medida a todos los ámbitos de la sociedad y la economía, ha rebasado el ámbito científico y ha sido ampliamente difundida en los diferentes medios de comunicación. La preocupación por los impactos previstos es ya una constante en la opinión pública. Según el Eurobarómetro¹ publicado en noviembre de 2009, el cambio climático es el segundo problema que más preocupa a los ciudadanos de la Unión Europea, por delante de la crisis económica.

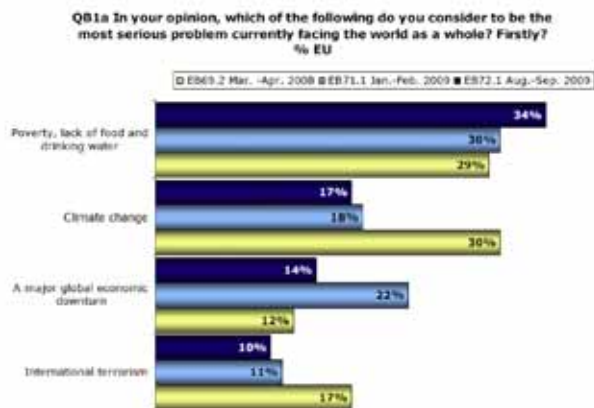


Figura 1. Respuesta de los ciudadanos europeos ante la pregunta ‘en su opinión, qué problema es el más serio al que se enfrenta actualmente el mundo?’

2. CARÁCTER GLOBAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los gases de la atmósfera son prácticamente transparentes a la radiación de onda corta, la más energética de la radiación solar. Una vez que ésta atraviesa la atmósfera calienta la superficie terrestre. Durante la noche la tierra se enfría irradiando esa energía, pero ya en forma de radiaciones con longitud de onda más larga para las que no son tan transparentes determinados gases (son los llamados gases de efecto invernadero, GEI, que constituyen el 1% de los gases que componen la atmósfera, entre ellos el CO₂ y

1. Europeans' attitudes towards climate change (Special Eurobarometer 322 / Wave 72.1 - TNS Opinion & Social), publicado en noviembre de 2009 por la Comisión Europea.

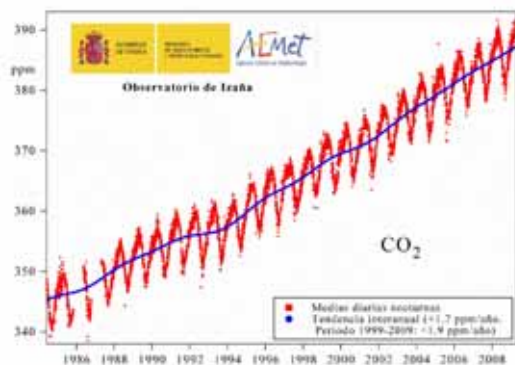


Figura 2. Cambios en la concentración de CO₂ en la atmósfera desde 1984 a 2010. Observatorio Atmosférico de Izaña. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España.

el metano) y reflejan de nuevo la energía hacia la superficie terrestre. Este proceso, semejante al que se origina en un invernadero agrícola, ha mantenido, durante miles de millones de años, la temperatura de la superficie terrestre en niveles adecuados para la vida, ya que se estima que sin este efecto la temperatura de la tierra sería 30° C inferior.

Este efecto invernadero ha aumentado considerablemente en las últimas décadas, debido al incremento en la atmósfera de estos gases como consecuencia de la actividad humana. Fundamentalmente por la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso del suelo (la eliminación de superficie vegetal que actúa removiendo o retirando CO₂ de la atmósfera).

La mayor parte de la capacidad de efecto invernadero de la atmósfera (un 53%²) es provocada por el dióxido de carbono.

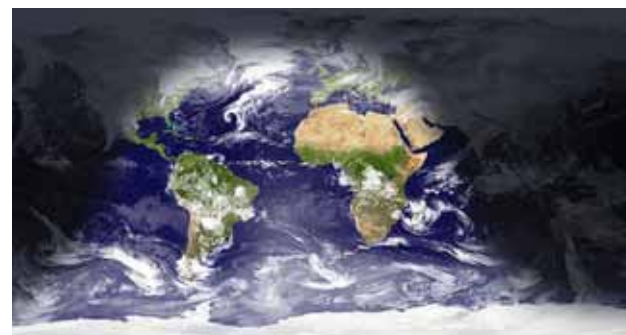


Figura 3. Desde que David Keeling en la década de los años 50 empezó a medir las concentraciones de CO₂ en la atmósfera se sabe que este gas se distribuye uniformemente, dando lugar a concentraciones semejantes en cualquier punto del planeta.

La concentración de CO₂ en la atmósfera ha pasado de 280 ppm en 1750 (etapa preindustrial) a 387 ppm en 2009³, tal como muestran las medidas tomadas en el Observatorio Atmosférico de Izaña, en las Islas Canarias.

Los gases de efecto invernadero se dispersan homogéneamente en la atmósfera y crean una alteración en la composición de la misma de carácter global. Los impactos derivados de dicha alteración tienen, en consecuencia, un alcance mundial, afectando a la humanidad en su conjunto y a la totalidad de los ecosistemas y biodiversidad de la Tierra. Este carácter global hace que los sumideros que capturan y almacenan CO₂ en cualquier lugar desempeñen un importante papel al retirar de la atmósfera parte de las emisiones procedentes de cualquier otro lugar.

2. Kristin Dow and Thomas E. Downing. *The Atlas of Climate Change*. Ed, EARTHSCAN.

3. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España. Observatorio Atmosférico de Izaña, en Tenerife.

3. AGRICULTURA: UN SUMIDERO DE CO₂

La agricultura es un sector estratégico básico para la producción de alimentos, pero al mismo tiempo es un sector multifuncional que, gracias a sus activos, contribuye al desarrollo sostenible en el medio rural y aporta destacados beneficios ambientales.

Los cultivos evitan la desertificación, son emisores de oxígeno a la atmósfera, ayudan a regular el clima y la hidrología y, sobre todo, actúan como sumidero de CO₂.

Los árboles y cultivos agrícolas, y la vegetación en general, por su capacidad fotosintética, remueven o retiran CO₂ de la atmósfera, almacenándolo y actuando así como sumideros. Gracias al CO₂ fijado se producen los alimentos y subproductos agrícolas.

Muchas especies de interés agrícola se caracterizan por poseer una alta velocidad de crecimiento, incluso superior a la de numerosas especies de vegetación de tipo natural, lo que se traduce en una mayor tasa de fijación de CO₂.

Según investigaciones recientes desarrolladas por la Universidad de Murcia⁴, en el marco de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂, se han obtenido y comparado (Tabla 1) las velocidades netas de fijación de CO₂ de una especie agrícola como es la lechuga y dos especies de vegetación natural muy extendidas en la Región como el pino (*Pinus halepensis*) y el esparto (*Stipa tenacissima*). A partir de estos datos, se puede comparar, a modo de ejemplo, la capacidad anual de fijación de algunas especies de vegetación natural con la de la vegetación agrícola. De estos resultados se deduce que una hectárea ocupada por una conífera, como es el pino, fija anualmente menos CO₂ que otra en iguales condiciones de riego destinada a cultivos agrícolas.

Un aspecto importante del comportamiento de los sumideros es el tiempo de permanencia del carbono almacenado o retirado de la atmósfera, ya que el CO₂ removido por un sumidero puede volver a la atmósfera por diversos mecanismos, como por ejemplo los incendios de bosques.

Tabla 1. Velocidad neta de fijación de CO₂ (g CO₂ año⁻¹ kg⁻¹ individuo) de hortalizas (lechuga), matorral y arbolado natural de la Región de Murcia.

| ESPECIE | Velocidad neta de fijación de CO ₂ (g CO ₂ año ⁻¹ kg ⁻¹ individuo) |
|---|---|
| <i>Pinus halepensis</i> (pino carrasco) | 10,63 ± 0,89 |
| <i>Stipa tenacissima</i> (esparto) | 4,66 ± 1,24 |
| <i>Latuca sativa</i> (L) v. <i>romana</i> (lechuga) | 77,57 ± 17,75 |

Fuente: Universidad de Murcia, Departamento de Fisiología Vegetal.

4. Investigación realizada por Alfonso Ros Barceló, catedrático, Área de Fisiología Vegetal, y Pedro Sánchez Gómez, profesor titular, Área de Botánica de la Universidad de Murcia, que forma parte del “Estudio comparativo de la fijación de CO₂ en la vegetación natural de un transecto fitoclimático frente a cultivos, en la Región de Murcia” que están realizando ambos junto a Juan Guerra Montes, catedrático, Área de Botánica, en el marco de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂.

La agricultura no se diferencia mucho de un bosque, donde parte del CO₂ que fija la planta queda almacenado en el suelo gracias a sus raíces, comportándose como un sumidero a largo plazo, mientras que el CO₂ necesario para el carbono contenido en la cosecha y subproductos se comporta como un sumidero temporal. Pero este sumidero temporal tiene un importante papel en las políticas de mitigación del cambio climático, ya que la fijación por la planta y la consecuente remoción o retirada de CO₂ de la atmósfera se renueva año a año.

Relacionado con el concepto de sumidero temporal está el de emisión evitada. Por ejemplo, las podas y otros subproductos se pueden utilizar como biomasa, evitando la emisión de CO₂ de los combustibles a los que sustituyen.

Por tanto, la adecuada gestión de los cultivos agrícolas puede conducir, en muchos de ellos, a un almacenamiento neto de CO₂, una vez descontadas las emisiones realizadas para labores de campo, manipulación y transporte.

Este almacenamiento neto o capacidad de sumidero varía de unos cultivos a otros dependiendo de su tasa de fijación de CO₂ y del nivel de emisiones realizado, que, a su vez, depende de las prácticas agrícolas utilizadas. La mayor parte de los cultivos agrícolas en el área mediterránea, y especialmente los frutales, como veremos mas adelante, deben considerarse auténticos sumideros temporales de CO₂.

Existen recientes referencias de científicos, organizaciones e instituciones diversas que coinciden en identificar a la agricultura como sumidero de CO₂, como se ha hecho en las iniciativas puestas en marcha en la Comunidad Autónoma de Murcia. Así, en la reunión de científicos, técnicos y expertos convocados por la Asociación España-FAO (AEFAO) en Madrid el 6 de mayo de 2009, para ayudar a contestar la cuestión ‘¿puede incluir la futura PAC ayudas a la agricultura por su función de sumidero de CO₂?’, presidida y moderada por

Jaime Lamo de Espinosa, catedrático UPM, se obtuvieron algunas conclusiones en este sentido: “Deducido el CO₂ desprendido en su realización (labores y operaciones culturales, fabricación de abonos y fitosanitarios, producción de semillas, etc.), los cultivos agrícolas deben considerarse auténticos sumideros de CO₂. El resultado neto de su efecto sumidero puede variar entre 2 y 4 t/ha en los cereales de invierno en secano y de 5 a 10 t/ha en los cultivos de regadío”.

En esta misma dirección, Herminio Boira, catedrático de Botánica de la Universidad Politécnica de Valencia y subdirector del Grupo de Recursos Naturales y Biodiversidad en el Instituto Agroforestal del Mediterráneo (IAM), señala que un naranjo adulto absorbe en su proceso de crecimiento y producción una media anual de 20 kg de CO₂. Suponiendo una media de 400 árboles por hectárea, supondría una fijación de 8.000 kg de CO₂ por hectárea y año, lo que representa que las 180.000 hectáreas de cítricos de la Comunitat Valenciana son el sumidero de 1,44 millones de toneladas de CO₂ al año, y las 300.000 hectáreas cítricas de toda España representan una absorción de 2,4 millones de toneladas.

De forma complementaria y también en la dirección iniciada por los trabajos de la Comunidad Autónoma de Murcia, se pueden citar los estudios⁵ desarrollados por la Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural del Gobierno de La Rioja, en los que se reconoce el papel medioambiental de los cultivos riojanos al actuar como sumidero de CO₂. Las conclusiones de los trabajos indican que la agricultura riojana, con 132.000 hectáreas cultivadas, es responsable de un balance positivo de CO₂ equivalente de 1.117 kt, lo que supone una absorción del 29,9% de las emisiones generadas en la Comunidad Autónoma en un año.

En consecuencia, que la agricultura contribuya a retirar CO₂ de la atmósfera debe ser considerado como una excelente noticia en la lucha contra el cambio climático, en el

5. Número 45 de la revista técnica *Cuaderno de campo*.

que, como recientemente ha señalado el director general adjunto de la FAO, Alexander Müller, “el mundo tendrá que utilizar todas las opciones para contener el calentamiento global dentro de los dos grados centígrados. La agricultura y el uso de la tierra tienen el potencial de ayudar a minimizar las emisiones netas de gases de efecto invernadero a través de prácticas precisas, en especial almacenar carbono en el suelo y la biomasa. Estas prácticas pueden incrementar al mismo tiempo la productividad y la capacidad de resistencia de la agricultura, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza”.

Esta consideración de sumidero que tiene la agricultura no está bien reflejada en las únicas opciones metodológicas que hasta ahora han sido difundidas, orientadas a la determinación de inventarios y de huella de carbono de cualquier bien o servicio. Esta característica de la agricultura, de ser almacenamiento neto de CO₂ y capacidad de sumidero, en unos casos no está tratada en profundidad y en otros creemos que es claramente perjudicial en cuanto a la consideración de este beneficio ambiental que presta la agricultura.

En cuanto a este aspecto, las opciones metodológicas difundidas, como son en primer lugar The Greenhouse Gas Protocol (<http://www.ghgprotocol.org>), a la que siguió la ISO 14064-1:2006 y posteriormente la PAS 2050 (<http://www.bsigroup.com/Standards-and-Publications/How-we-can-help-you/Professional-Standards-Service/PAS-2050>), contemplan tratamientos diferentes en relación a la contabilización de la capacidad de fijación de los sistemas agrícolas.

En primer lugar, la metodología establecida en la norma ISO 14064:2006 incluye que para determinar la huella de carbono se “deben calcular las emisiones directas de GEI” y las “indirectas por energía”, y que se “deberían cuantificar las remociones de GEI”, dejando estas últimas como opcionales. Esta opción es la más ventajosa para valorar los beneficios

ambientales que produce la agricultura por la fijación de CO₂, aunque no concreta y desarrolla el alcance.

De forma parecida, el GHG Protocol reconoce que “tener una visión precisa y completa de las emisiones a lo largo de toda la cadena de valor sólo es posible si se abordan sus impactos en el carbono atmosférico secuestrado”; aun así atestigua que “no han desarrollado métodos de consenso para contabilizar el carbono atmosférico secuestrado de las empresas basadas en biomasa”, por lo que las empresas deberán explicar los métodos que utilicen⁶, pudiendo aparecer esta información como “información opcional”.

Por último, la norma PAS 2050 es claramente perjudicial a la hora de seleccionarla como metodología para productos agrícolas, si lo que se pretende es reflejar el beneficioso papel que puede desarrollar la agricultura como almacenamiento neto de CO₂. Esta norma calcula la huella de carbono basándose en la metodología de medida del ciclo de vida de los GEI procedentes de bienes y servicios, es decir, contempla el impacto de las emisiones de GEI sobre el periodo de 100 años desde la formación del producto. Por tanto, se tienen en cuenta las fases de construcción, uso y disposición final. En este sentido, si se utiliza esta metodología, sólo se podría considerar el CO₂ que permanezca fijado durante un periodo superior a 100 años.

En 2008, la Federation Internationale des Vins et Spiritueux (FIVS) puso en marcha el “Internacional Wine Carbon Calculator Protocol” en su versión 1.2. Esta metodología diferencia entre las estructuras no permanentes (hojas, frutos y ramas que se podan) y las permanentes (troncos, ramas principales y raíces). Este protocolo impulsado por FIVS permite, para calcular el balance de carbono, tener en cuenta el carbono almacenado en las estructuras permanentes.

En el paisaje agrícola, los cultivos se comportan como una foto fija en la que el CO₂ retirado de la atmósfera gracias a

6. GHG Protocol recomienda adaptar las metodologías establecidas por el IPCC.

la fotosíntesis se mantiene a lo largo de décadas, incluso siglos, como una carrera de relevos en la que los árboles frutales que son sustituidos le dan el relevo a los nuevos y, por tanto, el almacenamiento neto se mantiene constante. En este trabajo tratamos de cuantificar este almacenamiento constante.

4. RESPUESTA DEL MERCADO

Un buen número de las cadenas de supermercados más importantes de Europa incluyen el cambio climático como un elemento fundamental de su *marketing*, utilizándolo como instrumento para comunicar su responsabilidad social corporativa al consumidor.

Como se ha indicado anteriormente, el cambio climático es consecuencia del incremento de la concentración de GEI en la atmósfera con independencia de su procedencia. Este carácter global es una de sus características esenciales. A las emisiones globales contribuimos todos, ya que para realizar la mayor parte de nuestras actividades cotidianas ha sido necesario emitir GEI. Una parte considerable de estas emisiones son responsabilidad directa del ciudadano. Entre estas emisiones (directas) destacan las derivadas del uso de combustibles, necesarios para la habitabilidad de la vivienda, y el desplazamiento en vehículo privado.

Las emisiones de responsabilidad directa del ciudadano en diversos países europeos se sitúan por encima de las dos toneladas de CO₂ al año.

Ahora bien, las emisiones necesarias para mantener nuestro nivel de consumo actual son mucho más imperceptibles; podemos llamarlo parte virtual de la huella de car-



Figura 4. Imágenes de campañas de comunicación relacionadas con el cambio climático puestas en marcha por cadenas de supermercados de países de Europa.

bono. Pensemos en las emisiones necesarias para elaborar, transportar los productos de consumo o para permitir las actividades de entretenimiento y ocio, las cuales, según un estudio británico⁷, suponen una huella de carbono incluso mayor que la originada para la producción, transporte y abastecimiento de alimentos.

El auge del concepto de huella de carbono ha llevado a numerosas empresas a hacer pública la información sobre las emisiones relacionadas con sus productos. Muchas cadenas de supermercados han decidido pedir a los productores de los alimentos expuestos en sus estanterías que

7. La organización británica Carbon Trust-Making bussiness sense of climate change publicó a finales de 2006 un estudio titulado "The carbon emissions generated in all that we consume" ("Las emisiones de carbono generadas en todo lo que consumimos") a partir de un estudio del año 2005 del Centre for Environmental Strategy de la University of Surrey, que definía un nuevo modelo de atribución de emisiones de carbono para el Reino Unido. El informe revela las emisiones de CO₂ que genera un habitante medio del Reino Unido.

Tabla 2. Comparación de las emisiones de CO₂ de responsabilidad directa del ciudadano (calefacción y vehículo privado principalmente) en distintos países de la Unión Europea.

| País | Kt CO ₂ | Población | t CO ₂ /ciudadano |
|--------------|--------------------|------------|------------------------------|
| Alemania | 217.885 | 82.431.390 | 2,65 |
| Reino Unido | 153.482 | 60.441.457 | 2,54 |
| Países Bajos | 38.182 | 16.407.491 | 2,33 |
| España | 67.831 | 40.491.051 | 1,68 |

Fuente: Universidad de Murcia, Departamento de Fisiología Vegetal. Limonero: CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España. Elaboración propia a partir de datos de la Agencia Europea del Medio Ambiente.

suministren información a los consumidores sobre la huella de carbono de cada uno de ellos.

Con la información de la huella de carbono de un producto se pretende que los propios consumidores decidan qué alimentos comprar en función de las emisiones generadas como resultado de los procesos por los que han pasado. Esta decisión supondrá una presión para que los productores sean más ecoeficientes.

El ciudadano es hoy consciente de que puede tener con sus pequeños gestos y decisiones una destacable influencia en el balance final de las emisiones europeas de CO₂.

Estudios realizados por la consultora de mercado LEK Consulting⁸, en 2009, muestran que cerca del 40% de los encuestados se sienten responsables de las emisiones necesarias para mantener su nivel de vida, otorgando el segundo puesto de responsabilidad a los productores.

Igualmente, LEK Consulting señala que cerca del 60% de los encuestados estarían dispuestos a modificar su intención de compra a favor de productos con menor huella. Esta opinión es coherente con la mostrada en julio de 2009 por el



Figura 5. Distintas etiquetas en el mercado mundial relacionadas con la huella de carbono de un producto.

Eurobarómetro, que señala que el 72% de los europeos se muestra a favor de que en el futuro sea obligatoria una etiqueta que indique la huella de carbono de un producto.

8. LEK Consulting, consultora internacional en estrategia, operaciones, servicios y actuaciones, experta en materia de cambio climático y medio ambiente.

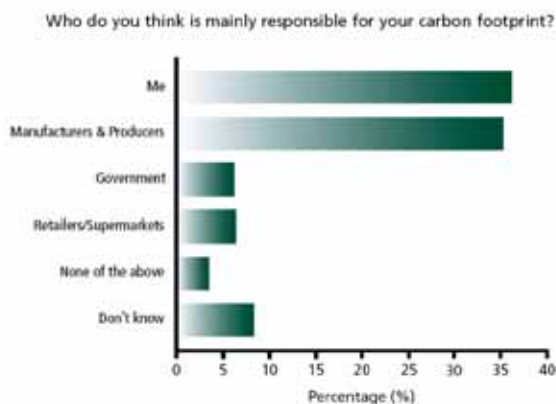


Figura 6. Respuesta de los encuestados a la pregunta ‘¿quién piensas que es el principal responsable de tu huella de carbono?’ Fuente: LEK Consulting, The LEK Consulting carbon footprint report, 2007.

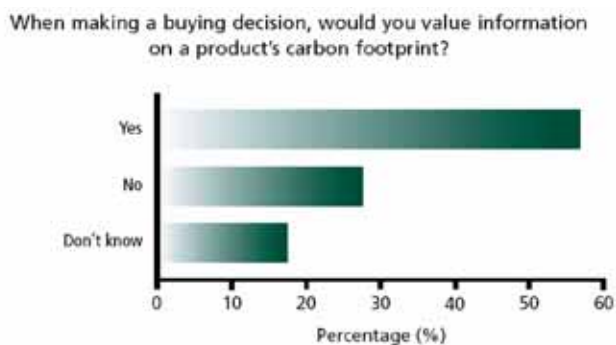


Figura 7. Respuesta de los encuestados a la pregunta ‘a la hora de tomar una decisión de compra, ¿valorarías la información de la huella de carbono en los productos?’. Fuente: LEK Consulting, The LEK Consulting carbon footprint report, 2007.



Figura 8. Imágenes que expresan distintas iniciativas relacionadas con la compensación de emisiones.

La figura de la huella de carbono empieza a utilizarse más allá del ejercicio voluntario de las empresas; así, por ejemplo, el Parlamento francés aprobó la Ley Grenelle 2, el 12 de julio de 2010. Esta Ley desarrolla instrumentos para combatir lo que denominan como “crisis ecológica, climática y económica”, entre los que se encuentra la obligación de que, a partir de julio de 2011, los bienes y servicios, entre ellos los alimentos, contemplen su huella de carbono.

Por otra parte, el ciudadano es bombardeado con mensajes de que las emisiones que no se han podido reducir deben ser al menos compensadas. La compensación sólo puede ser aceptable cuando previamente ya se ha hecho todo lo posible para reducir las emisiones de GEI.

La compensación está basada principalmente en la implantación de sumideros de CO₂ mediante el mantenimiento y extensión de la vegetación, y actualmente es promovida por numerosas organizaciones e instituciones de

todo tipo, pero fundamentalmente son las empresas las que están ofreciendo al consumidor, como valor añadido de sus productos o servicios, la compensación de emisiones.

Desde que el Vaticano ‘adoptó’ en 2006 un bosque de 17 hectáreas en Hungría para compensar sus emisiones, son numerosas las iniciativas de compensación de emisiones. Por ejemplo, una multinacional alemana de fabricación de vehículos anuncia que por cada automóvil que venda de un determinado modelo plantará 17 árboles en la Sierra de Alcaraz en Albacete (España), con lo que compensará el CO₂ emitido por el vehículo en sus primeros 50.000 kilómetros.

5. AGRICULTURA ECOEFICIENTE: BALANCE DE CARBONO EN LUGAR DE HUELLA DE CARBONO

La huella de carbono adaptada a los productos agrícolas expuestos en los supermercados reflejaría las emisiones de CO₂ equivalente⁹ generadas en su fabricación y transporte.

Es evidente que la huella de carbono de los productos agrícolas será más elevada en los casos en los que se haya necesitado gastar mucha energía de origen fósil en su producción, manipulación y transporte. Esto ocurre, por ejemplo, cuando en climas fríos se necesita mantener la temperatura de un invernadero agrícola utilizando combustibles fósiles, o en los casos en los que los productos son transportados desde largas distancias en modos de transporte poco sostenibles como el avión.

Sin embargo, definir el papel que un producto agrícola desempeña en relación con el cambio climático sólo con su huella de carbono, es decir, sólo contabilizando sus emisiones, no es adecuado, ya que no se tiene en cuenta el im-

portante servicio ambiental que como sumidero de CO₂ desempeña la vegetación agrícola, por su capacidad fotosintética.

En consecuencia, la extensión del concepto de huella de carbono a la agricultura se debe hacer teniendo en cuenta que este sector, junto al forestal y el ecosistema marino, es el único que tiene capacidad de absorber o remover CO₂ de la atmósfera, lo que nos lleva a hablar de “balance de carbono” en vez de “huella de carbono”, ya que en muchos de los cultivos agrícolas, dependiendo de las técnicas de producción, se obtiene un balance positivo, comportándose como sumideros netos de CO₂; es decir, fijan más CO₂ que el que se emite en su producción y transporte.

6. AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO₂. UNA INICIATIVA INSTITUCIONAL PARA IMPULSAR LA COLABORACIÓN COLECTIVA EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La agricultura de la Región de Murcia es una de las más rentables de España y de Europa, debido a su alta productividad. Es una agricultura que está basada en la calidad, la seguridad y el compromiso con el medio ambiente.

La agricultura murciana, por su eficiencia y benignidad de su clima, se caracteriza por una escasa dependencia de factores energéticos; por eso, muchos de los cultivos de las más de 150.000 ha de regadío tienen un balance de carbono positivo (comportándose como sumidero de CO₂), incluso teniendo en cuenta las emisiones derivadas del procesado y transporte al centro de Europa de los productos.

La Región ha querido aprovechar esta característica para contribuir a la lucha contra el cambio climático, mostrando con ello un tejido productivo ambientalmente

9. Según la ISO 14064:2006 es la unidad para comparar la fuerza de radiación de un GEI con el CO₂.



Figura 9. Imagen gráfica de la marca LessCO2.

responsable y conectado con las demandas sociales de los consumidores europeos. Para ello, ha puesto en marcha la iniciativa¹⁰ Agricultura murciana como sumidero de CO₂, conformada como un acuerdo voluntario¹¹. La iniciativa pretende canalizar el mayor número de esfuerzos individuales para colaborar en la mitigación del cambio climático, aportando cada uno su capacidad para actuar como sumidero, con el apoyo científico-técnico de dos universidades y dos centros de investigación.

A través de la página web oficial de la iniciativa, www.lessco2.es, se podrá comunicar, de forma objetiva y transparente, a las partes interesadas y en especial a los consumidores el esfuerzo ambiental que, para mantener y mejorar la capacidad de sumidero de CO₂ de sus cultivos, hacen las empresas agrícolas. Además, en el marco de esta iniciativa se da la posibilidad de que aquellas empresas que quieran mostrar el balance de carbono de sus productos y los compromisos adquiridos de mejora de este balance, verificados por entidades de verificación oficialmente reconocidas, obtengan el sello de identidad LessCO2.

En definitiva, la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ se caracteriza por:

- Mostrar un balance de emisiones y remociones de CO₂ equivalente (balance de carbono)¹² en vez de huella de carbono, es decir, se parte de la fijación de CO₂ por los cultivos, determinada por los centros oficiales de investigación¹³, y se restan las emisiones de CO₂ equivalente necesarias para su producción y transporte.

El cálculo de estas emisiones a restar está basado en los criterios recogidos en la norma ISO 14064¹⁴, y los factores de conversión son los oficiales publicados por el Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio climático (IPCC¹⁵) y por el Inventario Nacional de emisiones español¹⁶.

10. La Iniciativa ha sido publicada en el Boletín Oficial de la Región de Murcia (Nº 273), el día 25 de noviembre de 2009, mediante Orden de 20 de noviembre de 2009, de la Consejería de Agricultura y Agua, por la que se desarrolla la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ y se establece la obtención y uso del anagrama-sello LessCO2 identificador de los compromisos adquiridos en el marco de la misma.

11. Una de las ventajas de los acuerdos ambientales es el grado de libertad que permite a las organizaciones a la hora de asumir obligaciones ambientales. Este hecho posibilita adaptar el esfuerzo ambiental a las características propias de los sectores o de los tejidos empresariales, desarrollando, por tanto, una actitud más cooperante y evitando situaciones traumáticas. Es por ello que, si se trata de conseguir o impulsar cambios más sostenibles en las formas de producción y consumo en el plazo más breve posible, la adhesión a un acuerdo voluntario ofrece muchas más ventajas que la utilización de los instrumentos normativos clásicos. En la Comunidad Autónoma de Murcia, el Gobierno regional ha impulsando iniciativas que suponen una concepción avanzada y novedosa en la manera de gestionar las políticas de medio ambiente y desarrollo sostenible. Un ejemplo en este sentido ha sido el Pacto Social por el Medio Ambiente, que en sus tres años de vigencia ha conseguido la adhesión y adquisición voluntaria de compromisos ambientales, más allá de los límites exigidos por la legislación en vigor, de más de 700 empresas e instituciones de la Región.

12. Las actividades agrícolas pueden emitir a la atmósfera, entre otros gases de efecto invernadero (GEI), CO₂ procedente del uso de combustibles fósiles y óxido nitroso (N₂O), derivado del abonado (principalmente inorgánico).

13. Los centros de investigación que participan en la iniciativa son la Universidad de Murcia, la Universidad Politécnica de Cartagena, el CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas y el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario.

14. UNE-ISO 14064:2006, Gases de efecto invernadero.

- Exigir a las empresas adheridas un compromiso anual adaptado a las características de cada explotación y cada cultivo, para mejorar su balance de carbono, mediante la reducción de sus emisiones o el incremento de la fijación de CO₂ por sus cultivos.
- Garantizar la transparencia y trazabilidad de los resultados a través de la web oficial de la iniciativa (www.lessco2.es) para que el consumidor o cualquier parte interesada pueda consultar en cualquier momento los balances y los compromisos que han asumido las empresas adheridas.
- Posibilitar la certificación por terceras partes al permitir que aquellas empresas que quieran puedan someter a verificación y validación su balance de carbono y sus compromisos anuales por verificadores acreditados. Esta certificación se expresa con la obtención de la marca LessCO₂.

La iniciativa y su marca asociada LessCO₂ no se limitan por tanto a certificar un balance determinado, sino que el consumidor también puede visualizar los compromisos adquiridos por la empresa, reflejando así su compromiso para producir de forma más ecoeficiente y responsable, de tal manera que cada unidad de producto comercializado suponga, año a año, una mayor absorción de CO₂, y por tanto una mayor contribución a la lucha contra el cambio climático.

En conclusión, con esta iniciativa, Agricultura murciana como sumidero de CO₂, se persigue un doble objetivo: por un lado, incrementar la capacidad sumidero de la agricultura de la Región, y, por otro, incentivar la ecoeficiencia,

ligada a una economía baja en carbono, en el sector agrícola, aprovechando la motivación vinculada a las ventajas competitivas de la responsabilidad ambiental y a la reducción de costes, que supone la incorporación de buenas prácticas a la producción agrícola, de manera que se consiga una reducción de las emisiones de GEI a nivel de instalación.

Hasta ahora, en el mercado se había desarrollado un solo tipo de etiquetas o marcas relacionada con el CO₂, mostrando la huella de carbono de productos y servicios. Estas etiquetas se expresan de diversas formas: las que identifican productos con una huella de carbono baja, las que señalan una clasificación de productos en función de su huella de carbono (plata, oro, platino) y las que cuantifican la huella de carbono y la cuantifican en gramos de CO₂.

La marca LessCO₂ asociada a la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ inaugura un segundo grupo entre el conjunto de marcas relacionadas con el CO₂. Esta etiqueta permite hacer público el resultado final o balance de CO₂ de un producto agrícola, calculado a partir de la capacidad fotosintética de fijar CO₂ que tienen los cultivos.

En la Figura 10 se pueden ver diferentes ejemplos de las marcas que expresan huella de carbono de un determinado producto frente a la iniciativa murciana, que expresa balance de carbono. La Figura 11 muestra la web oficial de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ y de la marca asociada LessCO₂, donde se pueden consultar de forma transparente los balances de carbono de los cultivos de las empresas adheridas.

15. El Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático analiza la información científica, técnica y socioeconómica relevante para la comprensión de los elementos científicos relativos al cambio climático de origen antropogénico, así como sus posibles repercusiones, riesgos y sus posibilidades de atenuación y de adaptación al mismo.
16. Inventario Nacional de Emisiones español, http://www.mma.es/portal/secciones/calidad_contaminacion/atmosfera/emisiones/inventario.htm

| Marcas que expresan huella de carbono | | | Marca que expresa balance de carbono |
|--|--|--|---|
| | | | |
| Etiqueta de productos con baja huella de carbono | Etiqueta de productos categorizados en función de su huella de carbono | Etiqueta de productos que cuantifica la huella en carbono en gramos de CO ₂ | Etiqueta de balance de carbono de los productos agrícolas |

Figura 10. Distintos tipos de etiquetas de carbono en el mercado de los productos de alimentación.



Figura 11. Página web oficial de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ (www.lessco2.es).

7. COMPROMISO COLECTIVO DE CONTRIBUCIÓN A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO QUE RETIRA UN MILLÓN DE TONELADAS DE CO₂ AL AÑO

Desde el Departamento de Cambio Climático de la Administración ambiental de la Comunidad Autónoma de la

Región de Murcia se ha ensayado, para una serie de cultivos representativos de la producción hortofrutícola murciana, la aplicación de los criterios establecidos en esta Iniciativa para mostrar el balance de carbono resultante.

7.1. UNIVERSIDADES Y CENTROS DE INVESTIGACIÓN QUE ESTUDIAN LA FIJACIÓN DE CO₂ DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS DE LA REGIÓN DE MURCIA

La cantidad total de CO₂ fijado durante un año por un cultivo agrícola depende de numerosos factores, entre los que destacan las características genéticas, las condiciones de crecimiento (edafo-climatológicas) y el manejo del cultivo, por lo que es necesario que los datos sean los propios de la comarca o región.

Para poder calcular el balance de carbono de un cultivo es necesario conocer la cantidad total de CO₂ que ha fijado, información que, hasta ahora, no estaba disponible en la bibliografía, razón por la que en el marco de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ ha sido necesario coordinar un proyecto de investigación científica¹⁷ en el que han participado centros oficiales de investigación y las universidad públicas de la Región.

En esta investigación, los datos procedentes del análisis de biomasa de muestras representativas de los principales cultivos obtenidas mediante arranque, troceado y determinación de carbono están siendo complementados con los resultados de aplicar técnicas de medidas de flujo de CO₂ y técnicas basadas en la teledetección. Todo ello permite la estimación y el seguimiento de la producción primaria neta de cultivos agrícolas de la Región. Los resultados de análisis de biomasa, a través de técnicas de arranque, tro-

ceado y determinación de carbono, realizados por el CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas¹⁸, son los siguientes:

Tabla 3. Fijación de CO₂ por árbol o planta de los principales cultivos hortofrutícolas de la Región de Murcia.

| CULTIVOS | FIJACIÓN DE CO ₂ |
|---------------|---|
| LEÑOSOS | kg CO ₂ árbol ⁻¹ |
| ALBARICOQUERO | 84,50 |
| CIRUELO | 40,78 |
| LIMONERO | 106,93 |
| MANDARINO | 31,10 |
| MELOCOTONERO | 49,77 |
| NARANJO | 49,34 |
| NECTARINA | 46,64 |
| UVA DE MESA | 23,31 |
| HERBÁCEOS | kg CO ₂ planta ⁻¹ |
| ALCACHOFA | 1,85 |
| BRÓCULI | 0,24 |
| COLIFLOR | 0,34 |
| LECHUGA | 0,13 |
| MELÓN | 0,80 |
| PIMIENTO | 1,03 |
| SANDÍA | 1,49 |
| TOMATE | 1,59 |

17. El CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Universidad Politécnica de Cartagena, Universidad de Murcia y el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario.

18. Micaela Carvajal Alcaraz, profesora de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España. “Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos de la Región de Murcia”.

Tabla 4. Fijación de CO₂ por hectáreas dedicadas a los principales cultivos hortofrutícolas de la Región de Murcia.

| CULTIVO | FIJACIÓN DE CO ₂ |
|-------------|-----------------------------|
| LEÑOSOS | t CO ₂ / ha año |
| ALBARICOQUE | 22,81 |
| CIRUELA | 25,89 |
| LIMON | 30,51 |
| MANDARINO | 13,06 |
| MELOCOTÓN | 30,71 |
| NARANJA | 20,72 |
| UVA DE MESA | 18,65 |
| HERBÁCEOS | t CO ₂ / ha año |
| ALCACHOFA | 22,70 |
| BRÓCULI | 6,85 |
| COLIFLOR | 11,98 |
| LECHUGA | 9,08 |
| MELÓN | 10,41 |
| PIMIENTO | 25,72 |
| SANDÍA | 7,44 |
| TOMATE | 16,24 |

De forma complementaria y con la misma metodología, el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario¹⁹, perteneciente a la Consejería de Agricultura y Agua de la Comunidad Autónoma de Murcia, ha calculado el CO₂ capturado para producir la biomasa anual de los cultivos incluidos en la Tabla 5.

En la Figura 12 se muestran imágenes representativas de las diferentes etapas del trabajo de investigación desarrollado por el CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España y el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario. Por su parte, la Universidad Politécnica de Cartagena, utilizando técnicas de

Tabla 5. Fijación de CO₂ por tres cultivos de la Región de Murcia.

| CULTIVO | FIJACIÓN DE CO ₂ | FIJACIÓN DE CO ₂ |
|--------------|-------------------------------|-----------------------------|
| LEÑOSOS | kg CO ₂ /árbol año | t CO ₂ /ha año |
| NARANJO | 45,1 | 12,53 |
| MELOCOTONERO | 44,1 | 25,20 |
| UVA DE MESA | 21,2 | 13,25 |

19. Francisco Moisés del Amor Saavedra, ingeniero agrónomo del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario.



Figura 12. Evaluación de la fijación de carbono en la agricultura de la Región de Murcia. CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España e Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario.

investigación parecidas, hace estimaciones semejantes; es el caso del albaricoque, en el que la capacidad de fijación se sitúa en 24,84 t CO₂ por hectárea y año²⁰.

La Universidad Politécnica de Cartagena, mediante la estimación de la captación neta de CO₂ de cultivos con el método de “eddy-covariance”, está haciendo un seguimiento en continuo de la producción primaria neta y de la captación de CO₂ de los cultivos agrícolas²¹.

Los primeros resultados de la investigación sobre los flujos netos de CO₂ en los cultivos de regadío de naranjos adultos y jóvenes han permitido obtener valores mensuales y ratios del Intercambio Neto del Ecosistema (INE)²², como se muestra en la Tabla 6.

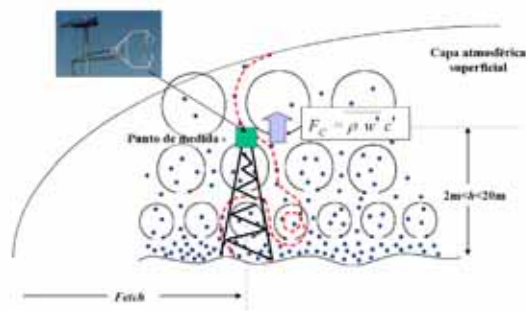


Figura 13. Principio del método de covarianza de remolinos. Se miden las fluctuaciones de velocidad vertical (w') y de concentración de CO₂ (c') inducidas por remolinos turbulentos, y se calcula la covarianza cruzada $\rho'c'w'$, que es igual al flujo de CO₂, FC. La medida debe llevarse a cabo dentro de la capa límite superficial, en una zona suficientemente alejada del borde de ataque. Si ‘h’ es la altura de las medidas, se debe respetar un valor de *fetch* del orden de 50 a 100 veces el valor de ‘h’.

Tabla 6. Valores mensuales y ratio del Intercambio Neto del Ecosistema (INE, KgCO₂/ha/mes) en las dos fincas de naranjos.

| Mes | INE _a (adultos) KgCO ₂ /ha/mes | INE _j (jóvenes) KgCO ₂ /ha/mes | Ratio INE _j /INE _a |
|------------|---|---|---|
| Julio | 3039 | 1659 | 0.55 |
| Agosto | 2156 | 1429 | 0.66 |
| Septiembre | 1849 | 1218 | 0.66 |
| Octubre | 1152 | 630 | 0.55 |
| Noviembre | 1597 | 994 | 0.62 |
| Diciembre | 1001 | 562.1 | 0.56 |

20. Alejandro Pérez Pastor, Grupo de Investigación Suelo-Agua-Planta. Unidad Horticultura Sostenible en Zonas Áridas. “Efectos de los factores edafoclimáticos en el balance de carbono en frutales cultivados en distintas zonas de la Región de Murcia”.

21. Alain Baille, catedrático, UPCT, responsable del subproyecto “Estimación y seguimiento de la producción primaria neta de la agricultura murciana y de su contribución a la captación de CO₂ de la atmósfera”.

22. El INE es la captación neta de CO₂ por el ecosistema, es decir, la fijación de CO₂ por la vegetación menos la emisión de CO₂ por el suelo (respiración del suelo y descomposición de los residuos vegetales).

Suponiendo una evolución similar para los seis primeros meses del año 2010 (a confirmar con las medidas en el primer semestre de 2010), se puede estimar que el potencial de captación neta de CO₂ ronda las 20 t CO₂/ha para los naranjos adultos.

Estos valores netos son del mismo orden de magnitud que las 20,7 t CO₂/ha año que resultan del método destructivo de estimación de la biomasa para el naranjo (estimada por el CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España). Para tener una comparación válida entre los dos métodos, se necesita una estimación de la respiración del ecosistema. La Universidad Politécnica de Cartagena está llevando a cabo medidas de respiración de suelo (Figura 16) para estimar esta componente y desarrollar un modelo de balance de carbono del suelo.

En la Figura 15 se muestran imágenes del proceso de instalación de los equipos de medida utilizados por la Universidad Politécnica de Cartagena.

Las investigaciones realizadas sobre el flujo de CO₂ permitirán validar la utilización de una herramienta operacional basada en modelos sencillos de productividad de biomasa utilizando datos de teledetección. De esta forma las imágenes de satélite ayudarán a actualizar los datos sobre fijación de CO₂ de los cultivos.

Por otro lado, se está llevando a cabo un proyecto de investigación cuyo objetivo es evaluar in situ la producción primaria neta del balance de CO₂ (fijación menos eliminación por la respiración) de cultivos hortícolas con diferentes estrategias de manejo de la fertirrigación, para cuantificar los efectos de la fertilización sobre la producción de biomasa y balance neto de CO₂ (incluyendo el balance de CO₂ del suelo)²³. Los datos obtenidos podrán igualmente ser posteriormente utilizados para calibrar el equipo de “eddy-covariance”.

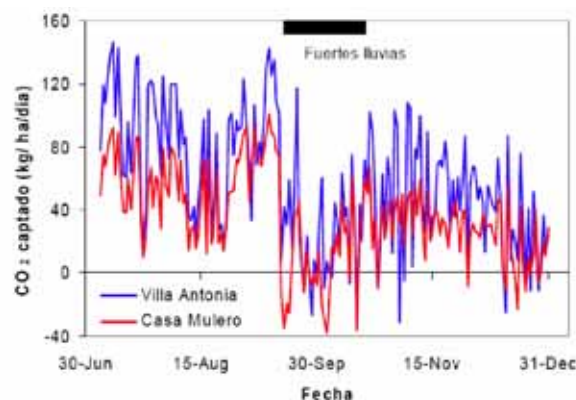


Figura 14. Tasa diaria de captación de CO₂ (en kg CO₂ por hectárea y por día) durante el periodo julio a diciembre 2009 en las dos fincas de naranjos. Nótese los valores bajos de captación en los periodos con lluvias (especialmente en septiembre), donde se observan valores negativos del INE. Estos valores negativos (el agrosistema emite más CO₂ que absorbe) se deben a los bajos niveles de radiación y a la fuerte respiración del suelo, que tiene una humedad elevada. Universidad Politécnica de Cartagena.



Figuras 15. Vista del equipo de “eddy-covariance” (anemómetro sónico, analizador de CO₂ y H₂O) para la medida del flujo de CO₂ y de evapotranspiración instalado por la Universidad de Cartagena.

23. José Antonio Franco Leemhuis, vicerrector de la Universidad Politécnica de Cartagena, subproyecto “Caracterización in situ de la producción primaria neta de los cultivos hortícolas de la Región de Murcia”.



Figura 16. Instrumental aplicado para evaluar los efectos de los factores edafoclimáticos en el balance de carbono en frutales cultivados en distintas zonas de la Región de Murcia²⁴.



Figura 17. Explotaciones con prácticas de agricultura ecológica cuyo balance de carbono también ha sido estudiado.

Igualmente se está trabajando para determinar la capacidad de fijación y almacenamiento a largo plazo de CO₂ por los suelos agrícolas, datos que, presumiblemente, mejorarán esta remoción inicial asociada a cada cultivo.

Por último se está desarrollando una línea de trabajo consistente en analizar comparativamente el balance de carbono en explotaciones con agricultura ecológica y agricultura de precisión con el fin de extraer conclusiones sobre las buenas prácticas que tienen un efecto destacable sobre el balance final de carbono²⁵.

7.2. ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ EN EXPLOTACIONES HORTOFRUTÍCOLAS DE LA REGIÓN APLICANDO LA METODOLOGÍA PROPUESTA POR LA NORMA ISO 14064:2006

Para calcular las emisiones de CO₂ equivalente se han realizado 55 auditorías, por parte de personal del Departamento de Cambio Climático de la Administración ambiental de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, a explotaciones agrícolas representativas para cada uno de los cultivos, distribuidas por todo el territorio regional.

La metodología aplicada ha sido la propuesta por la norma ISO 14064, que, al igual que el GHG Protocol²⁶, señala que hay que contemplar obligatoriamente, a la hora de calcular las emisiones de CO₂ equivalente, las emisiones directas (consumo de combustible para el procesado en campo del cultivo, en las que se incluye el labrado, siembra, poda-triturado, aclarado, acolchado, tratamientos, abonado de fondo, instalación de riego, las necesarias para el procesado fresco, la recolección y el transporte al alma-

24. Alejandro Pérez Pastor, Grupo de Investigación Suelo-Agua-Planta. Unidad Horticultura sostenible en Zonas Áridas. "Efectos de los factores edafoclimáticos en el balance de carbono en frutales cultivados en distintas zonas de la Región de Murcia".

25. Trabajo desarrollado por José María Egea Sánchez en el marco de la Iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂.

26. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol). Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte. Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute) y Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (World Business Council for Sustainable Development).

cén, así como el óxido nitroso procedente del suelo por fertilización²⁷) y las indirectas debidas a la energía.

Los factores de conversión utilizados, son los publicados por el IPCC y por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, en el Inventario Nacional de Emisiones 2007.

Debido a la imposibilidad de contar con factores de conversión suficientemente contrastados para el resto de emisiones indirectas (distintas de las producidas por el consumo de energía), no es aconsejable aplicar la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV)²⁸. La iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ no exige, por tanto, que se haga un ACV completo incluyendo otras emisiones indirectas, pero se da la posibilidad de que voluntariamente, y siempre que se cuente con los factores de conversión adecuados, los productores lo incluyan en su balance, y así quedará reflejado en la página web.

Si bien para calcular el balance de carbono según la metodología establecida en la ISO 14064 entre las emisiones a considerar no es obligatorio contemplar el transporte (sólo se deben considerar las emisiones directas y las indirectas debidas a la energía), al constituir éste un factor a tener en cuenta se ha calculado adicionalmente lo que representa en emisiones transportar los productos hasta los centros de distribución. Para esto, se ha elegido como punto representativo del mercado centro europeo el sur de Alemania, considerando por tanto una distancia de 2.000 km desde el centro de la Región de Murcia.

Los resultados de estos cálculos de emisiones vienen expresados en la Tabla 7.

Del conjunto de auditorías de carbono realizadas para estudiar las emisiones de CO₂ equivalente, se pueden señalar las contribuciones a las emisiones totales de las distintas fases de cultivo y el transporte, suponiendo este último más de un 30% como media del total al considerar los 2.000 km que separan el centro de Murcia del sur de Alemania.

27. El óxido nitroso tiene un potencial de calentamiento global muy superior al CO₂. Según el último informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) es de 310, por lo que pequeñas emisiones de este gas pueden significar un impacto importante en el balance de carbono de la explotación agrícola y, en consecuencia, en el balance de carbono asociado a cada cultivo.

28. Según la ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia, un análisis de ciclo de vida es la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida, estando definido ciclo de vida como etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de producto, desde la adquisición de materia prima o su generación a partir de recursos naturales hasta su disposición final.

Tabla 7. Emisiones de CO₂ equivalente en determinados cultivos realizados en explotaciones hortofrutícolas representativas de la Región de Murcia.

| LEÑOSOS | TOTAL EMISIONES SIN TRANSPORTE | TOTAL EMISIONES CON TRANSPORTE A ALEMANIA |
|-------------|---|---|
| | Emisiones CO ₂ (t CO ₂ /año/ha) | |
| ALBARICOQUE | 4,91 | 6,64 |
| CIRUELA | 8,46 | 11,92 |
| LIMÓN | 4,96 | 11,40 |
| MANDARINA | 4,36 | 10,90 |
| MELOCOTÓN | 11,08 | 14,33 |
| NARANJA | 4,96 | 11,40 |
| UVA DE MESA | 3,99 | 8,80 |

| HERBÁCEOS | TOTAL EMISIONES SIN TRANSPORTE | TOTAL EMISIONES CON TRANSPORTE A ALEMANIA |
|-----------|---|---|
| | Emisiones CO ₂ (t CO ₂ /año/ha) | |
| ALCACHOFA | 2,87 | 5,62 |
| BRÓCULI | 15,79 | 18,54 |
| COLIFLOR | 9,85 | 12,08 |
| LECHUGA | 5,33 | 22,00 |
| MELÓN | 9,25 | 10,69 |
| PIMIENTO | 16,08 | 25,70 |
| SANDÍA | 1,53 | 2,30 |
| TOMATE | 8,28 | 25,60 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Contribución a las emisiones de CO₂ equivalente de las etapas necesarias para el cultivo y transporte.

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|---------------|
| Preparación del terreno | 4,50 |
| Transporte y recolección (dentro de la explotación agrícola) | 3,50 |
| Fertilización I (N ₂ O procedente del proceso natural de nitrificación-desnitrificación del suelo) | 13,00 |
| EMISIONES INDIRECTAS | % |
| Riego por goteo | 28,00 |
| Almacén y otros | 15,00 |
| OTRAS EMISIONES INDIRECTAS | % |
| Fertilización II (emisiones de NH ₃ y NO _x indirectas del suelo) | 4,00 |
| Transporte a Alemania | 32,00 |
| TOTAL | 100,00 |

Fuente: elaboración propia.

7.3. BALANCE DE CARBONO DE EXPLOTACIONES AGRÍCOLAS DE LA REGIÓN

Si a la fijación de CO₂ realizada por los cultivos (apartado 7.1.), se le restan las emisiones, calculadas con la metodología indicada en el apartado 7.2., se obtienen los balances de carbono que, como se puede ver, en todos los casos son positivos; es decir, la captura de CO₂ por la vegetación es superior a las emisiones de CO₂ equivalente necesarias para su producción.

7.4. BALANCE DE CARBONO DEL CONJUNTO DE LA PRODUCCIÓN HORTOFRUTÍCOLA DE LA REGIÓN DE MURCIA

El balance de carbono de la producción hortofrutícola de las más de 117.000 ha de regadío de la Región estudiadas²⁹, y una vez descontadas las emisiones generadas para la producción y transporte de los productos a Alemania³⁰, está por encima del millón de toneladas anual. Esta capacidad de sumidero equivale a neutralizar las emisiones de responsabilidad directa de CO₂ que producirían medio millón de ciudadanos, de acuerdo con los datos utilizados en la Tabla 2.

La agricultura murciana de frutas y hortalizas en su conjunto no sólo se comporta como climáticamente neutra para la mayor parte de las distancias en las que se comercializan sus productos, sino que es un sumidero neto de CO₂ que puede colaborar en la compensación de emisiones realizadas en otros lugares.

Se debe remarcar que este balance se ha realizado sin tener en cuenta el potencial de reducción de emisiones que todavía tiene nuestra agricultura. El coste asociado para reducir las emisiones en la agricultura es competitivo con el coste que representa esta reducción en otros sectores de actividad como la industria, el transporte, etc. Y esta es una de las grandes características de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂, el exigir a los adheridos que concreten compromisos ambientales voluntarios, en los que cada empresario describa una estrategia de mejora de su balance de carbono, adaptado a la realidad de su explotación, es decir, una estrategia de mejora continua.

29. Para este estudio se han utilizado 15 cultivos diferentes que representan 117.000 ha del total de las 148.000 ha que componen el regadío de la Región. Todo apunta a que los cultivos de regadío que no han sido estudiados, que representan las 31.000 ha restantes, contribuirían a incrementar la capacidad de sumidero por encima de 1.022.493,66 t CO₂.

30. Se ha supuesto a efectos de este estudio que toda la producción obtenida de las 117.000 ha, es decir, las 2.800.000 toneladas de productos agrícolas, son puestos a 2.000 km de distancia.

Tabla 9. Balance de carbono en explotaciones agrícolas representativas de la Región para los siguientes cultivos.

| CULTIVOS | Balance de carbono por ha | Balance de carbono por kg de fruta o verdura | Balance de carbono asociado a cada pieza defruta o verdura |
|-------------|--------------------------------|--|--|
| LEÑOSOS | Balance t CO ₂ / ha | Balance g CO ₂ /kg | Balance g CO ₂ /pieza |
| ALBARICOQUE | 17,90 | 994,4 | 59,66 |
| CIRUELA | 17,43 | 484,23 | 48,42 |
| LIMÓN | 25,56 | 381,42 | 47,68 |
| MANDARINA | 8,71 | 138,21 | 10,37 |
| MELOCOTÓN | 19,33 | 572,67 | 108,81 |
| NARANJA | 15,77 | 235,56 | 29,42 |
| UVA DE MESA | 18,15 | 453,73 | 294,93 |
| HERBÁCEOS | Balance t CO ₂ / ha | Balance g CO ₂ /kg | Balance g CO ₂ /pieza |
| ALCACHOFA | 19,83 | 991,56 | 297,47 |
| BRÓCULI | 4,16 | 319,82 | 111,94 |
| COLIFLOR | 2,13 | 106,63 | 42,69 |
| LECHUGA | 4,89 | 146,43 | 58,57 |
| MELÓN | 1,17 | 78,27 | 78,27 |
| PIMIENTO | 9,64 | 137,77 | 27,55 |
| SANDÍA | 5,17 | 646,25 | 775,50 |
| TOMATE | 7,97 | 63,22 | 5,06 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Balance de carbono del conjunto de la producción hortofrutícola de la Región de Murcia incluyendo transporte a Alemania.

| BALANCE DE CARBONO DE LA PRODUCCIÓN HORTOFRUTÍCULA DE LA REGIÓN DE MURCIA | | |
|---|----------|-------------------------|
| | Total ha | Total t CO ₂ |
| TOTAL (herbáceos + leñosos) | 117.043 | 1.022.493,66 |

Fuente: elaboración propia.

Como ya se ha indicado, la obtención de la marca LessCO₂ asociada a la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ vendrá precedida de la verificación y validación por entidades oficialmente reconocidas de todos y cada uno de los datos suministrados por las empresas adheridas y, en todo caso, aparecerán reflejados en la página web oficial de la iniciativa www.lessco2.es.

Los trabajos desarrollados en el marco de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ intentan mostrar la importante ventaja competitiva que puede suponer para la agricultura mediterránea el dar a conocer a los consumidores europeos el importante beneficio ambiental que originan los cultivos agrícolas al mantener almacenando, de forma continua, un volumen considerable de CO₂ retirado de la atmósfera gracias a la capacidad de fijación de vegetales. Otro debate diferente, pero no menos importante, es cuantificar el papel que la agricultura puede tener en la mitigación del cambio climático cuando retira de forma adicional cantidades significativas de CO₂ de la atmósfera año a año.

En relación con este último aspecto hay que señalar que, de la captura o secuestro biológico de más de un millón de toneladas al año, una parte importante -entre el 52% en el melocotón y el 83% en la uva de mesa- corresponde al carbono almacenado en hojas y podas anuales más el fruto, que tiene un periodo de retorno anual.

El otro 42% al 17% corresponde con el carbono almacenado en las raíces, tronco y ramas principales, lo que dependerá del periodo de vida del árbol. Una vez acabada la vida útil del árbol frutal sus raíces habrán incorporado el carbono almacenado en el suelo y, si su madera se utilizara para usos en los que el carbono no es liberado a la atmósfera, tendríamos un sumidero permanente más allá del periodo de vida útil de los árboles.

8. CONCLUSIONES

El CO₂, como principal gas de efecto invernadero, por encontrarse actualmente en exceso en la atmósfera, contribuye al cambio climático con independencia del lugar en el que se producen las emisiones.

El cambio climático es una de las principales preocupaciones del consumidor europeo; en respuesta a esta demanda social, las grandes cadenas de supermercados están desarrollando campañas de comunicación y están empezando a aplicar el concepto de huella de carbono a los alimentos. Para este loable esfuerzo de suministrar al consumidor información sobre el CO₂ emitido para la fabricación de un producto, igual que desde hace tiempo se viene expresando información sobre las calorías que los alimentos aportan, parece más adecuado el uso del concepto de balance de carbono, que permite visualizar el beneficio ambiental que la agricultura ecoeficiente aporta, al comportarse como sumidero neto de CO₂.

Por otra parte, instituciones y organizaciones de todo tipo contribuyen a concienciar al ciudadano sobre la necesidad de reducir las emisiones de las que éste es responsable o bien compensar las que no pueden ser evitadas, apareciendo en escena un nuevo concepto, el de “compensación”, que permite neutralizar nuestras emisiones mediante esfuerzos realizados en captación de CO₂ en cualquier otro lugar; justo lo que la agricultura ecoeficiente puede ofrecer.

Ahora bien, esta capacidad que posee la agricultura ecoeficiente de llegar a tener un balance positivo de carbono retirando CO₂ de la atmósfera, utilizada aisladamente e individualmente por algunas empresas productoras, quedaría como un simple gesto de responsabilidad de escasa utilidad práctica. Lo verdaderamente importante es tener la capacidad de canalizar un gran número de esfuerzos voluntarios para que esta retirada de CO₂ sea cuantitativamente significativa. También es necesario que este

esfuerzo venga respaldado por un intenso trabajo científico que no sólo identifique el origen y causa de las emisiones, sino, y sobre todo, la fijación de CO₂ por los cultivos, para que mediante el uso de buenas prácticas se mejore año a año la capacidad de sumidero ofertada.

Esto es lo que trata de hacer la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂: impulsar un gran acuerdo voluntario que conlleva un compromiso de todo el tejido hortofrutícola de la Región, que muestra una coincidencia en los intereses y preocupaciones del consumidor y de los supermercados que comercializan las frutas y hortalizas en Europa.

La diferencia entre esta iniciativa y cualquier otra marca utilizada para certificar que la producción de una determinada empresa es climáticamente neutra es que, en este caso, la Región de Murcia pretende conseguir el compromiso de todo un sector que supone el 20% de las frutas y hortalizas exportadas por España.

El balance de carbono o capacidad de sumidero, es decir, el CO₂ retirado de la atmósfera por el conjunto de la producción hortofrutícola de la Región de Murcia, incluyendo su transporte hasta el centro de Europa, se sitúa en más de un millón de toneladas de CO₂.

El tiempo de permanencia de este carbono capturado por la agricultura es variable: un alto porcentaje se almacena en el tronco, ramas principales y raíces, constituyendo un sumidero a largo plazo, mientras que el carbono restante corresponde a un sumidero temporal que se renueva todos los años.

Como recientemente ha señalado el director general adjunto de la FAO, Alexander Müller, “el mundo tendrá que utilizar todas las opciones para contener el calentamiento global dentro de los dos grados centígrados. La agricultura y el uso de la tierra tienen el potencial de ayudar a minimizar las emisiones netas de gases de efecto invernadero a través de prácticas precisas, en especial, almacenar carbono en el suelo y la biomasa. Estas prácticas pueden incrementar al mismo tiempo la productividad y la capacidad

de resistencia de la agricultura, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza”.

La agricultura del futuro debe incluir como objetivo fundamental la mitigación del cambio climático. El logro de este objetivo debe implicar la mejora continua para que el balance de carbono sea cada vez más positivo, es decir, cada vez los cultivos fijen más CO₂ y sea necesario emitir menos para su producción y transporte hasta los centros de consumo.



Figura 18. Campaña de comunicación de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂.

BIBLIOGRAFÍA

- UNE-ISO 14064:2006, Gases de efecto invernadero, Parte 1, parte 2 y parte 3.
- UNE-EN ISO 14040:2006, Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol). Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte. Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute) y Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (World Business Council for Sustainable Development).
- Publicly Available Specification, PAS 2050:2008. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emission of good and services.
- Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo. Módulo 4, Agricultura.
- Programa del IPCC sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura.
- "Carbon emission from farm operations". R. Lal, Europeans' attitudes towards climate change (Special Eurobarometer 322 / Wave 72.1 - TNS Opinion & Social), publicado en noviembre de 2009 por la Comisión Europea. Ministerio de Medio Ambiente. Observatorio de Izaña.
- AEMET, en www.izana.org/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=25&lang=es.
- Carbon Trust - Making bussiness sense of climate change "The carbon emissions generated in all that we consume", 2006.
- LEK Consulting Research Insights. The LEK Consulting Carbon Footprint Report 2007. Carbon Footprints and the evolution of brand-consumer relationships.
- Informe Inventario Nacional GEI 1990-2007 (publicado en 2009), http://www.mma.es/portal/secciones/calidad_contaminacion/atmosfera/emisiones/inventario.htm
- Agricultura and horticultura. Introducing energy saving opportunities for farmers and growers. Carbon Trust, 2009.
- Kristin Dow and Thomas E. Downing. *The Atlas of Climate Change*. Ed, EARTHSCAN.
- Bravo, F. 2007, *El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático*, Fundación Gas Natural.
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R. y Muñoz, M. 2005. *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. Monografías INIA serie forestal.
- Victoria Jumilla, F. 2008 "El cambio climático en la Región de Murcia. Evidencias, impactos e iniciativas para la adaptación". *Anales de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Murcia*, año 2008, pags. 195-237. (Vol. 83, junio 2009).

**CARBON LABELLING OF FARMS AND AGRICULTURAL PRODUCTS.
THE INITIATIVE MURCIAN AGRICULTURE AS A CO₂ SINK**

CARBON LABELLING OF FARMS AND AGRICULTURAL PRODUCTS. THE INITIATIVE MURCIAN AGRICULTURE AS A CO₂ SINK

Francisco Victoria Jumilla*, Isabel Costa Gómez**, Teresa Castro Corbalán**, Ramón García Cárdenas**,
M^a Carmen Romojaro Casado**, M^a Luisa Mesa del Castillo Navarro**

*Project director and coordinator of the Regional Observatory on Climate Change. **Technical assistances for the project

1. CLIMATE CHANGE: THE ENVIRONMENTAL PROBLEM THAT MOST CONCERNS EUROPEANS

Climate change is one of the primary environmental challenges that most countries face in the medium- and long-term in order to achieve sustainable development. The causes that gave rise to changes in climate are intimately linked to our production and consumption model based on the use of

fossil fuels. Knowledge of the forecasted consequences, which will affect all aspects of society and the economy to differing degrees, has gone beyond the scientific community as the issue receives increasingly extensive coverage in the mainstream media. Concern for the forecasted impact is now a constant topic of public opinion. According to Eurobarometer³¹ published in November 2009, climate change is the second most worrying problem to European Union citizens, ranking higher than the economic crisis.

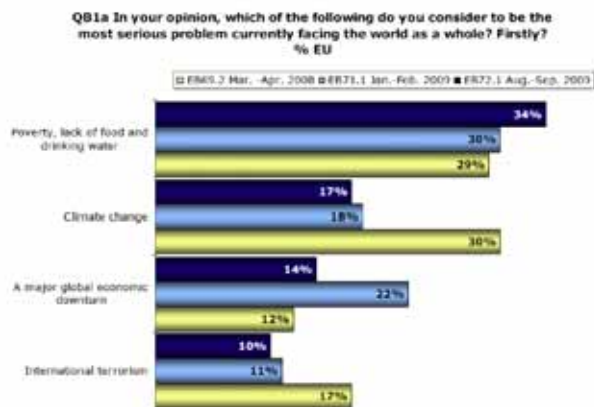


Figure 1. Responses of European citizens to the question “In your opinion what is the most serious problem the world faces today?”

2. THE GLOBAL CHARACTER OF CLIMATE CHANGE

Atmospheric gases are practically transparent to short-wave radiation, the type of solar radiation with the highest energy input that heats the Earth’s surface after crossing into the atmosphere. At night, the Earth cools, irradiating that energy, but certain gases in the form of longer-wave radiations that are not as transparent (these are the greenhouse gases, GHG, that make up 1% of the gases that comprise the atmosphere, including CO₂ and methane) reflect the energy back towards the Earth’s surface. This process, similar to what happens in an agricultural greenhouse, has kept the Earth’s temperatures at levels suitable for life for billions of years, and in fact, without this effect it is es-

31. *Europeans’ attitudes towards climate change* (Special Eurobarometer 322 / Wave 72.1 - TNS Opinion & Social), Publisher in November 2009 by the European Commission.

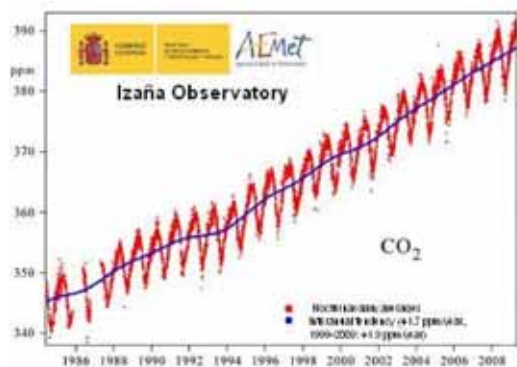


Figure 2. Changes in the concentration of CO₂ in the atmosphere from 1984 to 2010. Izaña Atmospheric Observatory. Spanish Ministry of the Environment and Rural and Marine Affairs.

timated that the Earth's average temperature would drop by 30 °C.

This greenhouse effect has escalated considerably in the last few decades due to an increase in these gases in the atmosphere as a result of human activity. This increase is fundamentally owed to the burning of fossil fuels and changes in land use (the elimination of the plant cover that acts to recycle and remove CO₂ from the atmosphere).

Most of the capacity of the atmosphere's greenhouse effect (53%³⁰) is caused by carbon dioxide.

The concentration of CO₂ in the atmosphere has gone from 280 ppm in 1750 (pre-industrial era) to 387 ppm in 2009³¹, as shown by measurements taken at the Izaña Atmospheric Observatory in the Canary Islands.

Greenhouse gases are homogeneously dispersed throughout the atmosphere and alter its composition in the same

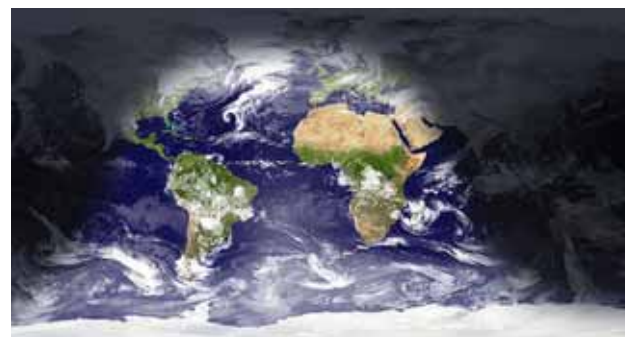


Figure 3. Ever since David Keeling started measuring atmospheric concentrations of CO₂ in the 1950s, we have known that this gas is uniformly distributed, with similar concentrations at all points across the planet.

way everywhere at once, regardless of their point of origin. The impact of that alteration is therefore global in scope, affecting humanity as a whole and all the Earth's ecosystems and biodiversity. This global character means that sinks that collect and store CO₂, no matter where in the world they are located, play an important role in partially removing emissions from the atmosphere, no matter where they are generated.

3. AGRICULTURE: A CO₂ SINK

Agriculture is a basic strategic sector for the production of food, but at the same time it is a multi-functional sector whose assets contribute to the sustainable development of the rural landscape and provide notable environmental benefits.

32. Kristin Dow and Thomas E Downing. The Atlas of Climate Change. Ed, EARTHSCAN

33. Spanish Ministry of the Environment and Rural and Marine Affairs. Izaña Atmospheric Observatory in Tenerife.

Table 1. Net CO₂ fixation rate (g CO₂ year⁻¹ kg⁻¹ individual) of food crops (lettuce), scrub and natural woodland of the Region of Murcia.

| SPECIES | Net CO ₂ fixation rate (g CO ₂ year ⁻¹ kg ⁻¹ individual) |
|---|---|
| <i>Pinus halepensis</i> (Aleppo pine) | 10,63 ± 0,89 |
| <i>Stipa tenacissima</i> (Esparto grass) | 4,66 ± 1,24 |
| <i>Latuca sativa</i> (L) v. <i>romana</i> (Lettuce) | 77,57 ± 17,75 |

Source: University of Murcia, Department of Plant Physiology

Crops prevent desertification, emit oxygen into the atmosphere, help to regulate climate and hydrology and, above all, act as CO₂ sinks.

Agricultural trees and crops, and vegetation in general, recycle and remove CO₂ from the atmosphere through photosynthesis, storing it and therefore acting as CO₂ sinks. Agricultural products and by-products grow thanks to carbon fixation.

Many species of agricultural interest are characterised by their ability to grow very quickly, even faster than many natural plant species, which means they have a higher CO₂ fixation rate. In a recent research study conducted by the University of Murcia³⁴ within the framework of the “Murcian Agriculture as a CO₂ Sink” initiative, the net CO₂ fixation rates of a common agricultural species (lettuce) were measured and compared with two very common species of vegetation in the region - pine (*Pinus halepensis*) and esparto grass (*Stipa tenacissima*) (Table 1). This data made it pos-

sible to compare, for example, the annual fixation ability of some natural plant species with that of agricultural plants. The results of the study show that a hectare of land occupied by coniferous species such as pine fixes less CO₂ than a hectare of land with the same watering conditions used for agricultural species.

An important aspect of the behaviour of sinks is the time in which the carbon remains stored or is released into the atmosphere, because CO₂ removed by a sink can return to the atmosphere by means of various different mechanisms, for example, through forest fires.

Agriculture is not very different from a forest - part of the CO₂ fixed by the plant is stored in the soil by means of its roots, behaving like a long-term sink, while the CO₂ needed for the carbon contained in the harvest and by-products behaves like a temporary sink. But this temporary sink plays an important role in climate change mitigation policies because the fixation conducted by the plant and

34. Research conducted by Alfonso Ros Barceló, Chair, Department of Plant Physiology and Pedro Sánchez Gómez, Associate Professor, Botany Department of the University of Murcia, who participated in the “Comparative study of CO₂ fixation in the natural vegetation of a phytoclimatic transect compared to crops in the Region of Murcia”, being conducted along with Juan Guerra Montes, Chair, Botany Department, within the framework of the Murcian Agriculture as a CO₂ Sink initiative.

the consequent recycling or removal of the CO₂ from the atmosphere is renewed year after year.

The concept of the temporary sink is related to the concept of prevented emissions. For example, agricultural waste and other by-products can be used as biomass to prevent the emission of CO₂ from the fuels that they replace.

Therefore, the proper management of agricultural crops can in many cases increase net CO₂ storage, after emissions generated during field work, handling and transport are deducted.

The net storage or sink capacity varies from crop to crop depending on its CO₂ fixation rate and the level of emissions generated which, in turn, depends on the agricultural practices employed. Most agricultural crops in the Mediterranean area, and especially fruit trees as we will see a little later, should be considered authentic temporary CO₂ sinks.

There exist a number of recent references from scientists, organisations and institutions identifying agriculture as a CO₂ sink, which has been the aim of the initiatives launched by the Autonomous Community of Murcia. In the gathering of scientists, technicians and experts organised by the AEFAO (the Spanish Association-FAO) in Madrid on May 6th 2009 to try to answer the question “Can the future CAP include support for agriculture in its role as a CO₂ sink?”, chaired and moderated by Jaime Lamo de Espinosa, a lecturer at UPM, some conclusions were reached in this regard: “Given the CO₂ released during their production (cultural labour and operations, manufacturing of fertilisers and phytosanitary products, seed production, etc.), agricultural crops should be considered authentic CO₂ sinks. The net result of their sink effect may vary from 2 to 4 t/ha in rain-fed winter cereals and from 5 to 10 t/ha in irrigated crops”.

In this regard, Herminio Boira, a lecturer in botany from the Polytechnic University of Valencia and the assistant director of the Natural Resources and Biodiversity Group of the Mediterranean Agro-forestry Institute (IAM), points out that during its growth and production process an adult orange tree absorbs an average of 20 kg of CO₂ annually. Assuming an average of 400 trees per hectare, this would suggest an annual CO₂ fixation of 8,000 kg per hectare, meaning that the 180,000 hectares of citrus fruits of the Valencia Community constitute a sink for 1.44 million tons of CO₂ each year, while the 300,000 hectares of citrus crops in the whole of Spain represent the absorption of 2.4 million tons.

Additionally, to support the work undertaken by the Autonomous Community of Murcia, mention should also be made of the studies³⁵ developed by the Council for Agriculture, Livestock and Rural Development of the Government of La Rioja, in which the environmental role of La Rioja’s crops as a CO₂ sink is acknowledged. The conclusions of this work indicate that La Rioja’s agriculture, with its 132,000 hectares of crops, is responsible for a positive CO₂ equivalent balance of 1.117 kt, representing the absorption of 29.9% of the emissions generated by the Autonomous Community in a year.

Therefore, the fact that agriculture contributes to the removal of CO₂ from the atmosphere should be considered excellent news in the struggle against climate change, in the context of which, as the Assistant Director General of the FAO, Alexander Muller, indicated recently: “The world will have to employ every option to limit global warming to less than two degrees centigrade. Agriculture and land use have the potential to help minimise the net emissions of greenhouse gases through specific practices, especially the storing of carbon in the soil and biomass. At the same

35. Edition Number 45 of the specialist magazine 'Cuaderno de campo' ["Field Notebook"]

time, these practices can increase the productivity and resilience of agriculture, thereby contributing to food security and the reduction of poverty”.

This role of agriculture as a CO₂ sink is not well-represented in the only methodological options that have been promoted to date, which have been aimed at determining the carbon inventories and footprints of any goods or services. This ability of agriculture for the net storage of CO₂ and to act as a carbon sink has not, in some cases, been considered in depth, and in other cases we believe that certain approaches have been clearly prejudicial in terms of the consideration of this environmental benefit provided by agriculture.

With regard to this aspect, the methodological options commonly employed, which are, firstly, “The Greenhouse Gas Protocol” (<http://www.ghgprotocol.org>) and, secondly, ISO 14064-1:2006, followed by PAS 2050 (<http://www.bsi-group.com/Standards-and-Publications/How-we-can-help-you/Professional-Standards-Service/PAS-2050>), provide for different approaches with regard to the calculating of the fixation capacity of agricultural systems.

Firstly, the methodology set out in the ISO 14064:2006 standard includes the instruction that in order to determine the carbon footprint “the direct GHG emissions must be calculated”, as well as the “indirect emissions through energy”, and that “the removal of GHG should be quantified”, leaving these latter options as optional. This option is the most advantageous for evaluating the environmental benefits produced by agriculture through CO₂ fixation, although it does not specify or expand upon its effectiveness.

Similarly, the GHG Protocol acknowledges that “a precise and complete vision of the emissions throughout the entire value chain is only possible if their impact on sequestered atmospheric carbon is addressed”, although it attests

to the fact that “no consensus has been reached on methods to calculate the atmospheric carbon sequestered in biomass-based activities”, meaning that companies must explain the methods they employ³⁶, while this information may appear as “optional information”.

Finally, the PAS 250 standard is clearly prejudicial when it comes to selecting it as a methodology for agricultural products, if the aim is to reflect the beneficial role that can be played by agriculture in the net storage of CO₂. This standard calculates carbon footprints based on the methodology for measuring the life cycle of GHG from goods and services; in other words, it considers the impact of GHG emissions over a period of 100 years from the formation of the product, therefore taking into account the phases of construction, use and final disposal. This means that if this methodology is employed, only the CO₂ that remains stored during a period greater than 100 years could be considered.

In 2008, the Federation Internationale des Vins et Spiritueux (FIVS) launched version 1.2 of the “International Wine Carbon Calculator Protocol”.

This methodology differentiates between non-permanent structures (leaves, fruit and branches that are pruned) and permanent structures (trunks, main branches and roots). This protocol, promoted by the FIVS, makes it possible to calculate the carbon balance while taking into account the carbon stored in permanent structures.

In agriculture, crops behave like a “still photograph”, in which the CO₂ removed from the atmosphere through photosynthesis is maintained over a period of decades, or even centuries, like in a relay race in which the fruit trees that are replaced pass the baton to the new ones so that, as a result, the net storage remains constant. In this research we have tried to quantify this continuous storage.

36. The GHG Protocol recommends adapting the methodologies established by the IPCC

4. MARKET RESPONSE

A good number of the larger supermarket chains in Europe include climate change information as a fundamental element in their marketing, using it as an instrument for communicating their social corporate responsibility to the consumer.

As mentioned earlier, climate change is the result of the increase in the concentration of GHG in the atmosphere, regardless of where they come from. This global characteristic is one of its essential features. We all contribute to global emissions because most of our daily activities require the emission of GHG. Citizens are directly responsible for a considerable part of these emissions. Among these (direct) emissions, those derived from the use of fuels to make our homes inhabitable and to power private vehicles have a particularly high impact.

Emissions that can be directly attributed to individuals in different European countries have been calculated at over two tonnes of CO₂ per capita per year.

However, the emissions needed to maintain our current level of consumption are much less perceptible; we might call this the virtual part of our carbon footprint. If we think about the emissions needed to create and transport consumer products or to allow us to enjoy all our various entertainment and leisure activities, these, according to a British study³⁷, create a carbon footprint even bigger than that left by the production, transport and storage of food items.

The boom in the use of the concept of the "carbon footprint" has led numerous companies to publicise information about emissions related to their products. Many supermarket chains have decided to ask the producers of



Figure 4. Images of advertising campaigns related to climate change launched by supermarket chains in various European countries.

the foods they display on their shelves to provide information to consumers about the carbon footprint of each of their products.

Providing carbon footprint information on a product is intended to let the consumers themselves decide which foods to buy based on the emissions generated as a result of the processes they have been subjected to. This decision translates into a certain amount of pressure on producers to be more eco-efficient.

37. The British organisation, the Carbon Trust - Making Business Sense of Climate Change, published a studied entitled "The carbon emissions generated in all that we consume" at the end of 2006 based on a 2005 study conducted by the Centre for Environmental Strategy of the University of Surrey, which defined a new model for carbon emissions attribution for the United Kingdom. The report revealed the amount of CO₂ emissions generated by the average UK citizen.

Table 2. Comparison of CO₂ emissions directly attributed to citizens (mainly heating and use of private vehicles) in different countries of the European Union.

| Country | Kt CO ₂ | Population | t CO ₂ /citizen |
|-----------------|--------------------|------------|----------------------------|
| Germany | 217.885 | 82.431.390 | 2,65 |
| United Kingdom | 153.482 | 60.441.457 | 2,54 |
| The Netherlands | 38.182 | 16.407.491 | 2,33 |
| Spain | 67.831 | 40.491.051 | 1,68 |

Source: authors, using data from the European Environment Agency

Citizens today are aware that their small gestures and decisions can have a notable influence on the final balance sheet of European CO₂ emissions.

Studies conducted by the market consulting firm LEK Consulting³⁸ in 2009 found that nearly 40% of people polled feel responsible for the emissions needed to maintain their lifestyles, placing the responsibility of manufacturers in second place.

LEK Consulting also revealed that nearly 60% of people surveyed would be willing to change their intention to buy in favour of products with a smaller carbon footprint.

This opinion is consistent with the results of a July 2009 survey conducted by Eurobarometer which found that 72% of Europeans are in favour of making a carbon footprint label on products obligatory in the future.

The figure of the carbon footprint is beginning to go beyond the voluntary disclosure of companies. For example, on 12th July 2010 the French parliament approved the Grenelle 2 Law, which develops instruments to combat what they call the “environmental, climatic and economic crisis” and which includes the obligation for providers of



Figure 5. Different labels on the world market related to the carbon footprint of a product.

38. LEK Consulting, an international consulting firm in expert strategies, operations, services and actions on issues of climate change and the environment.

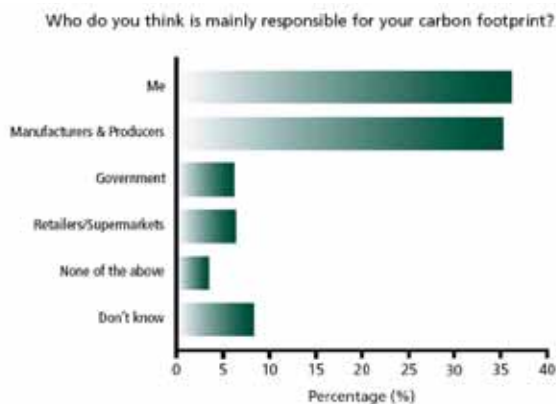


Figure 6. Survey responses to the question "Who do you think is mainly responsible for your carbon footprint?" Source: LEK Consulting, *The LEK Consulting carbon footprint Report, 2007*.

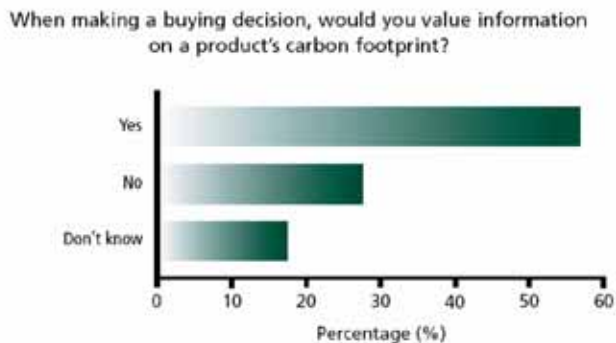


Figure 7. Survey responses to the question "When making a buying decision, would you value information on a product's carbon footprint?" Source: LEK Consulting, *The LEK Consulting carbon footprint Report, 2007*.



Figure 8. Images expressing different initiatives related to emissions compensation.

goods and services, including foods, to examine their carbon footprint.

Meanwhile, citizens are bombarded with messages that we have not been able to reduce emissions and that we must at least try to make up for those we generate. But compensation can only be acceptable if we have already done everything possible to reduce GHG emissions.

Compensation is primarily based on the implementation of CO₂ sinks by means of the maintenance and expansion of plant cover and it is currently being promoted by numerous organisations and institutions of all types, but fundamentally, it is companies that are offering consumers emissions compensation as an added value to their products or services.

Since the Vatican adopted a 17-hectare forest in Hungary in 2006 to compensate for its emissions, numerous emission compensation initiatives have been put into action. For example, a German automotive manufacturing



multi-national announced that for every car of a certain model that they sell, they will plant 17 trees in the Sierra de Alcaraz in Albacete (Spain), which will compensate for the CO₂ emitted by the vehicle during its first 50,000 kilometres of operation.

5. ECO-EFFICIENT AGRICULTURE: CARBON BALANCE INSTEAD OF CARBON FOOTPRINT

The concept of the carbon footprint applied to the agricultural products displayed in supermarkets would reflect the equivalent³⁹ CO₂ emissions generated in their manufacture and transport.

It is clear that the carbon footprint of agricultural products will be bigger in cases in which a lot of energy in the form of fossil fuels is needed in their manufacture, handling and transport. This occurs, for example, when the temperature of an agricultural greenhouse in a cold climate has to be kept up using fossil fuels or when products are transported long distances in environmentally harmful modes of transport, such as air shipping.

However, defining the role that an agricultural product plays in relation to climate change by its carbon footprint alone (i.e. only counting its emissions) is not enough. Such a reckoning does not take into account the important environmental service agricultural crops provide in their capacity as CO₂ sinks by means of photosynthesis.

As a result, the extension of the concept of the carbon footprint to agricultural products must take into account that this sector, along with the forest product sector and the marine ecosystem, are the only ones that have the abi-

lity to trap or remove CO₂ from the atmosphere. This means we need to talk about a “carbon balance” instead of a “carbon footprint” because many agricultural crops, depending on the techniques employed in their production, actually achieve a positive balance, behaving as sinks of net CO₂, that is, they fix more CO₂ than is emitted in their production and transport.

6. MURCIAN AGRICULTURE AS A CO₂ SINK: AN INSTITUTIONAL INITIATIVE TO DRIVE COLLECTIVE COLLABORATION IN THE MITIGATION OF CLIMATE CHANGE

The agricultural sector of the Region of Murcia is among the most profitable agricultural sectors in Spain and Europe due to its high level of productivity. It is an agricultural sector based on quality, safety and a commitment to the environment.

Murcian agriculture, due to its efficiency and the mild climate in which it is cultivated, depends very little on energy sources, which means that many crops cultivated on more than 150,000 hectares of irrigated land have a positive carbon balance (behaving as a CO₂ sink), even when emissions derived from processing and transport to central Europe are considered.

The region wants to take advantage of this characteristic to contribute to the fight against climate change, using it to demonstrate an environmentally responsible production system that is closely connected to the social demands of European consumers. This has led to the establishment of the “Murcian Agriculture as a CO₂ Sink” initiative⁴⁰, cre-

39. According to ISO 14064:2006 this is the unit which compares the radiative forcing of a GHG with CO₂.

40 .The initiative was published in the Official Gazette of the Region of Murcia (Nº 273) on 25th November 2009, by means of the Order of 20th November 2009 of the Ministry of Agriculture and Water, which describes the Murcian Agriculture as a CO₂ Sink initiative and establishes the procedure for obtaining and using the LessCO₂ anagram-seal that identifies the commitment adhered to within the framework of the initiative.

ated as a voluntary agreement⁴¹. The initiative seeks to channel as many individual efforts as possible to work together in mitigating climate change, each contributing the capacity to act as a sink and receiving the scientific and technological support of two universities and two research centres.

Through the official website of the initiative (www.lessco2.es) stakeholders, and especially consumers, can receive objective, transparent information about the environmental efforts being made by agricultural companies to maintain and improve the CO₂ sink capacity of their crops. Furthermore, within the framework of this initiative, companies that want to demonstrate the carbon balance of their products and the commitments they have made to improve that balance can do so with officially recognised verification by receiving the “LessCO₂” seal of identity.

In short, the “Murcian Agriculture as a CO₂ Sink” initiative is characterised by:

- Demonstrating an equal balance of CO₂ emissions and removal (carbon balance)⁴² instead of a carbon footprint, that is, taking the levels of CO₂ fixed by crops, as determined by official research centres⁴³, and subtracting the equivalent CO₂ emissions required for their production and transport.



Figure 9. Graphic image of the LessCO₂ brand.

The calculation of these emissions to be subtracted is based on the criteria stipulated in ISO standard 14064⁴⁴ and the official conversion factors published by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC⁴⁵) and the National Inventory of Spanish Emissions⁴⁶.

41. One of the advantages of environmental agreements is the degree of freedom that they allow organizations when it comes to taking on environmental obligations. This makes it possible to adapt environmental efforts to the characteristics unique to each sector or business activity, thereby developing a more cooperative attitude and preventing drastic and traumatic changes. And this is why if we are trying to achieve or encourage more sustainable changes in forms of production and consumption in the shortest time possible, participation in a voluntary agreement offers many more advantages than the use of conventional legislative instruments. In the Autonomous Community of Murcia, the regional government has encouraged initiatives that reflect an advanced and innovative perception of the way environment and sustainable development policies are managed. One example of this is the Social Pact for the Environment, which in the three years it has been in effect has achieved voluntary participation in environmental commitments that go beyond the limits required by current legislation with more than 700 companies and institutions involved in the Region.

42. Among other greenhouse gases (GHG), agricultural activities can emit CO₂ into the atmosphere resulting from the use of fossil fuels and nitrous oxide (N₂O) from (mainly inorganic) fertilisers.

43. The research centres participating in the initiative are the University of Murcia, the Universidad Politécnica de Cartagena, the CEBAS - the Spanish National Research Council and the Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (Murcia Institute of Agricultural and Food Research and Development).

44. UNE-ISO 14064:2006, greenhouse gases.

45. The Intergovernmental Panel on Climate Change analysed the relevant scientific, technical and socioeconomic data in order to understand the scientific elements related to climate change of anthropogenic origin as well as their possible repercussions and risks, and possible ways to attenuate or change those elements.

46. National Inventory of Spanish Emissions, http://www.mma.es/portal/secciones/calidad_contaminacion/atmosfera/emisiones/inventario.htm.



- Requiring companies to adhere to an annual commitment adapted to the characteristics of every facility and every crop in order to improve their carbon balance by reducing their emissions or increasing the CO₂ fixed by their crops.
- Ensuring the transparency and traceability of results by means of the official website of the initiative (www.lessco2.es) so the consumer or any other stakeholder can check the balances and commitments of the participating companies at any time.
- Providing the possibility of receiving certification so that companies that wish to do so can have their carbon balance and annual commitments verified and validated by accredited verifiers. This certification is expressed through the granting of the LessCO₂ brand.

The initiative and its associated LessCO₂ brand are not limited to solely certifying a certain balance, rather the consumer can also see the commitments taken on by the company, thereby reflecting its commitment to produce more eco-efficiently and responsibly, in such a way that every unit of product sold means more CO₂ absorbed, year after year, and therefore an increased contribution to the fight against climate change.

In conclusion, the “Murcian Agriculture as a CO₂ Sink” initiative has a double objective: on one hand it seeks to increase the sink capacity of agriculture in the region, and on the other, to provide incentive for eco-efficiency, linked to a low-carbon economy in the agricultural sector, taking advantage of the motivation associated with the competitive advantages that environmental responsibility and a reduction in costs afford. This involves the incorporation of good practices in agricultural production in order to achieve a reduction in GHG emissions at the facility level.

Up to now, only one type of label or brand related to CO₂ has been introduced on the market - those describing the carbon footprint of products and services. These labels

are expressed in different forms - those that identify products with a small carbon footprint, those that point out a classification of products based on the carbon footprint (bronze, silver, gold) and those that quantify the carbon footprint in terms of grams of CO₂.

The LessCO₂ brand associated with the Murcian Agriculture as a CO₂ Sink initiative makes way for a second group among the brands related to CO₂. This label makes the public aware of the final result or CO₂ balance of an agricultural product, calculated using the photosynthetic capacity of crops to fix CO₂.

Figure 10 contains different examples of brands that express the carbon footprint of a certain product compared to the Murcian initiative, which expresses carbon balance. Figure 11 shows the official website of the Murcian Agriculture as a CO₂ Sink initiative and the associated LessCO₂ brand, where visitors can consult the carbon balances of the crops of participating companies.

7. COLLECTIVE COMMITMENT TO CONTRIBUTE TO THE MITIGATION OF CLIMATE CHANGE BY REMOVING A MILLION TONNES OF CO₂ PER YEAR

The department of climate change of the environmental administration of the Autonomous Community of the Region of Murcia has tested the application of the criteria established in the initiative on a series of representative fruit and vegetable crops in Murcia to find the resulting carbon balance.

7.1. UNIVERSITIES AND RESEARCH CENTRES STUDYING THE CO₂ FIXATION OF THE PRIMARY CROPS CULTIVATED IN THE REGION OF MURCIA

The total quantity of CO₂ fixed over the course of a year by an agricultural crop depends on numerous factors inclu-





| Brands that express a product's carbon footprint | Brand that expresses a products carbon balance |
|--|---|
| <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>Label for products with a small carbon footprint.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Label for products categorised depending on the size of their carbon footprint.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Label for products that quantify their carbon footprint in grams of CO₂.</p> </div> </div> | <div style="text-align: center;">  <p>Label that shows the carbon balance of agricultural products.</p> </div> |

Figure 10. Different types of carbon labels on the food product market.



Figure 11. Official website of the “Murcian Agriculture as a CO₂ Sink” initiative, www.lessco2.es.

ding the genetic characteristics of the plant, the particular growth conditions the crop is exposed to (edaphoclimatic) and how the crop is handled, which is why all data used in

each particular study must originate in the area or region where each crop is cultivated.

In order to calculate the carbon balance of a crop, you have to know the total quantity of CO₂ that it fixes - information that up to now has not been available in the literature. This lack of information led the Murcian Agriculture as a CO₂ Sink initiative to coordinate a scientific research project⁴⁷ in which official research centres and public universities of the region have participated.

In this research, data from biomass analyses of representative samples of primary crops obtained by means of uprooting the plants, sectioning them and determining their carbon content are complemented by the results of applying CO₂ flow measurement techniques and techniques based on teledetection. All of this allows the net primary production of agricultural crops in the region to be estimated and monitored.

The biomass analysis, which involved uprooting and sectioning the trees and determining their carbon content,

47. CEBAS - the Spanish National Research Council, the Universidad Politécnica de Cartagena, University of Murcia and the Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario.

was conducted by CEBAS - the Spanish National Research Council⁴⁸ and yielded the following results.

Table 3. CO₂ fixation per plant or tree of the primary fruit and vegetable crops cultivated in the Region of Murcia.

| CROP | CO ₂ FIXATION |
|----------------|--|
| LIGNEOUS | kg CO ₂ tree ⁻¹ |
| APRICOT TREE | 84,50 |
| PLUM TREE | 40,78 |
| LEMON TREE | 106,93 |
| MANDARIN TREE | 31,10 |
| PEACH TREE | 49,77 |
| ORANGE TREE | 49,34 |
| NECTARINE TREE | 46,64 |
| GRAPE VINE | 23,31 |
| HERBACEOUS | kg CO ₂ Plant ⁻¹ |
| ARTICHOKE | 1,85 |
| BROCCOLI | 0,24 |
| CAULIFLOWER | 0,34 |
| LETTUCE | 0,13 |
| MELON | 0,80 |
| PEPPER | 1,03 |
| WATERMELON | 1,49 |
| TOMATO | 1,59 |

48. Micaela Carvajal Alcaraz, research professor of the Spanish National Research Council "Investigation into CO₂ absorption of the most representative agricultural crops of the Region of Murcia".

Table 4. CO₂ fixation per hectare of the primary fruit and vegetable crops cultivated in the Region of Murcia.

| CROP | CO ₂ FIXATION |
|---------------|-----------------------------|
| LIGNEOUS | t CO ₂ / Ha.year |
| APRICOT TREE | 22,81 |
| PLUM TREE | 25,89 |
| LEMON TREE | 30,51 |
| MANDARIN TREE | 13,06 |
| PEACH TREE | 30,71 |
| ORANGE TREE | 20,72 |
| GRAPE VINE | 18,65 |
| HERBACEOUS | t CO ₂ / Ha.year |
| ARTICHOKE | 22,70 |
| BROCCOLI | 6,85 |
| CAULIFLOWER | 11,98 |
| LETTUCE | 9,08 |
| MELON | 10,41 |
| PEPPER | 25,72 |
| WATERMELON | 7,44 |
| TOMATO | 16,24 |

To complement the results of the primary analysis and using the same method, the Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario⁴⁹ (Murcia Institute of Agricultural and Food Research and Development) as part of the Ministry of Agriculture and Water of the Autonomous Community of Murcia calculated levels of cap-

tured CO₂ to find the annual biomass of the following crops.

Figure 12 contains images showing the different stages of the research carried out by CEBAS - the Spanish National Research Council and the Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario.

Table 5. CO₂ fixation of three crops cultivated in the Region of Murcia.

| CROP | CO ₂ FIXATION |
|-------------|-------------------------------|
| LIGNEOUS | kg CO ₂ /tree.year |
| ORANGE TREE | 45,1 |
| PEACH TREE | 44,1 |
| GRAPE VINE | 21,2 |

49. Francisco Moisés del Amor Saavedra, agricultural engineer at the Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario.



Figure 12. Evaluation of carbon fixation in agriculture of the Region of Murcia. CEBAS - the Spanish National Research Council and the Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario.

Research conducted by the Universidad Politécnica de Cartagena using similar techniques yielded similar estimations, for example, in the case of the apricot tree in which the fixation capacity was found to be 24.84 t CO₂ per hectare and year.⁵⁰

The Universidad Politécnica de Cartagena, estimating net CO₂ absorption of crops using the eddy covariance method, is involved in the continual tracking of net primary production and the CO₂ trapping of agricultural crops.⁵¹

The first research results, on the net flows of CO₂ in irrigated orchards of young and adult orange trees, generated monthly and Net Ecosystem Exchange (NEE)⁵² values, as shown in the following table.

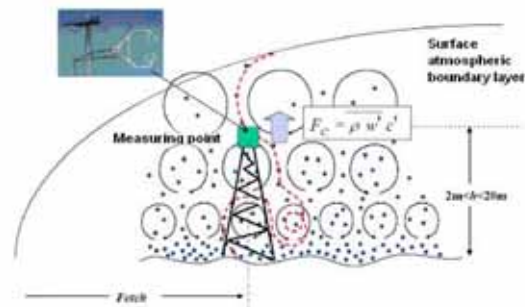


Figure 13. Principle of the eddy covariance method. Measurements are taken of fluctuations in vertical speed (w') and CO₂ (c') concentrations induced by turbulent eddies and the crossed covariance $p'c'$ is calculated, which is equal to the flow of CO₂, FC. Measurements must be taken within the surface boundary layer, in an area far enough away from the edge of attack. If H is the height of the measurements, a fetch value must be respected on the order of 50 to 100 times the value of H.

Table 6. Monthly values and ratio of the Net Ecosystem Exchange (NEE, KgCO₂/ha/month) in the two orange plantations.

| Month | HEEa (adult trees) KgCO ₂ /ha/month | HEEy (young trees) KgCO ₂ /ha/month | Ratio HEEy/HEEa |
|-----------|---|---|--------------------|
| July | 3039 | 1659 | 0.55 |
| August | 2156 | 1429 | 0.66 |
| September | 1849 | 1218 | 0.66 |
| October | 1152 | 630 | 0.55 |
| November | 1597 | 994 | 0.62 |
| December | 1001 | 562.1 | 0.56 |

50. Alejandro Pérez Pastor, Soil-Water-Plant Research Group. Sustainable Horticulture in Arid Zone Group "Effects of edaphoclimatic factors on the carbon balance of fruit cultivated in different areas of the Region of Murcia".

51. Alain Baille, Chair, UPCT, head of the subproject "Estimation and tracking of net primary production of Murcian agriculture and its contribution to the removal of CO₂ from the atmosphere."

52. NEE is the net CO₂ absorbed by the ecosystem, that is, the fixation of CO₂ by vegetation minus the emission of CO₂ by the soil (soil respiration and decomposition of plant waste).

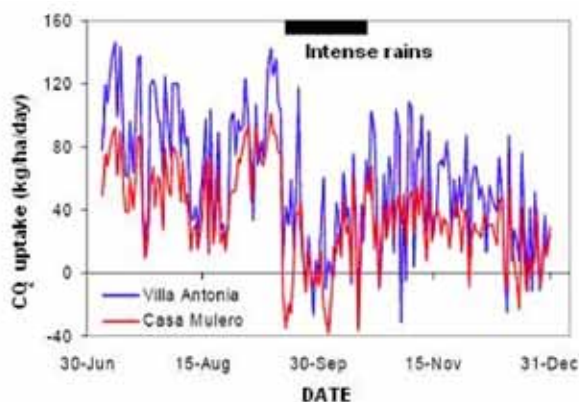


Figure 14. Daily CO₂ uptake rate (in kg. of CO₂ per hectare and day) during the period of July to December 2009 in the two orange orchards. Note the low absorption rates in the rainy periods (especially in September), in which negative rates in the rainy periods were recorded. These negative values (the agrosystem emits more CO₂ than it absorbs) are due to low levels of radiation and high soil respiration due to excess water. Universidad Politécnica de Cartagena.



Figure 15 shows the installation process of the measuring equipment used by the Universidad Politécnica de Cartagena.

If we assume a similar development during the first six months of 2010 (to be confirmed with the measurements of the first half of 2010), we can estimate a net potential CO₂ uptake of 20 t CO₂/ha for adult orange trees.

These net values are on the same order of magnitude as the 20.7 t CO₂/ha per year that result from the destructive method of biomass estimation for the orange tree (estimated by CEBAS - the Spanish National Research Council). An estimation of ecosystem respiration is needed for a valid comparison of the two methods. The Universidad Politécnica de Cartagena is measuring soil respiration (Figure 16, top left photo) to estimate this component and develop a soil carbon balance model.

Research conducted on CO₂ flow can validate the use of an operational tool based on simple biomass productivity models using teledetection data. This will allow satellite images to help in updating data on the CO₂ fixation of crops.

An in situ research project is also being undertaken to evaluate the net primary CO₂ balance (fixation minus elimination by respiration) of agricultural crops with different fertigation strategies in order to quantify the effects of fertilisation on the production of biomass and on net CO₂ balance (including the CO₂ balance of the soil)⁵³. The resulting data can also later be used to calibrate the eddy covariance equipment.

Work is also being done to determine the long-term CO₂ fixation and storage capacity of agricultural soils, data which will presumably improve the initial removal associated with each crop.

Lastly, a line of research is being developed which consists of comparatively analysing the carbon balance in ecological agricultural facilities and precision agricultural facilities

53. José Antonio Franco Leemhuis, Vice Rector of the Universidad Politécnica de Cartagena, subproject "In situ characterisation of net primary production of agricultural crops in the Region of Murcia."

for the purpose of drawing conclusions about the notable effects of good practices on the final carbon balance⁵⁵.

7.2. ESTIMATING CO₂ EMISSIONS IN FRUIT AND VEGETABLE FACILITIES IN THE REGION OF MURCIA USING THE METHODOLOGY PROPOSED IN ISO STANDARD 14064:2006

To calculate equivalent CO₂ emissions, 55 audits were performed by the staff of the department of climate change of the environmental administration of the Autonomous Community of the Region of Murcia at representative agricultural facilities for each crop distributed throughout the regional territory.

The methodology used is proposed in ISO standard 14064 and, like the GHG Protocol⁵⁶, states that when calculating equivalent CO₂ emissions, both direct emissions (fuel consumption for the processing of crops in the field which include ploughing, sowing, pruning-chipping, rinsing, mulching, applying any treatments, bottom fertilising, irrigation installations, fresh processing, collecting and transport to the storage facility as well as nitrogen oxide emitted from the soil due to fertilisation⁵⁷) and indirect emissions due to energy must be considered.

The conversion factors used are published by the IPCC and by the Ministry of the Environment and Rural and Marine Affairs in the 2007 National Inventory of Spanish Emissions.

Because it is impossible to find conversion factors that are sufficiently contrasted for the remaining indirect emis-



Figure 16. Instruments used to evaluate the effects of edaphoclimatic factors in the carbon balance of fruit trees cultivated in different areas of the Region of Murcia⁵⁴.



Figure 17. Ecological agricultural facilities whose carbon balance is also being studied.

54. Alejandro Pérez Pastor, Soil-Water-Plant Research Group. Sustainable Horticulture in Arid Zone Group "Effects of edaphoclimatic factors on the carbon balance of fruit cultivated in different areas of the Region of Murcia"

55. Work carried out by José María Egea Sánchez within the framework of the Murcian Agriculture as a CO₂ Sink initiative.

56. Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol). Corporate Accounting and Reporting Standard. World Resources Institute and the World Business Council for Sustainable Development.

57. Nitrous oxide has a much greater global heating potential than CO₂. According to the latest report from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) it is 310, which means even small emissions of this gas can have a significant impact on the carbon balance of agricultural facilities and, as a result, on the carbon balance associated with each crop.



sions (different from those generated by the consumption of energy), the lifecycle analysis (LCA)⁵⁸ is not recommended. The Murcian Agriculture as a CO₂ Sink initiative therefore does not require that a complete LCA including other indirect emissions is conducted, but if the appropriate conversion factors are available, producers can decide to include them in their balance and this information will be reflected on the website.

Although in order to calculate carbon balance in keeping with the methodology established in ISO standard 14064 it is not obligatory to include transport among the emissions considered (only direct and indirect emissions from energy have to be considered), because this is a factor that bears consideration, emissions generated in transporting the products to distribution centres have also been calculated. To do this, southern Germany has been chosen as a representative central European market, considering therefore a transport distance of 2,000 kilometres from the centre of the Region of Murcia.

The results of these emissions calculations are shown in the following table.

58. According to ISO standard 14040:2006, Environmental management. Lifecycle analysis: principles and reference framework, a lifecycle analysis is the compilation and evaluation of the input, output and potential environmental impact of a production system throughout its lifecycle. Lifecycle is defined as the consecutive, interrelated stages of a production system from the acquisition of the raw material or its generation through natural resources to its final disposal.

Table 7. CO₂ equivalents of certain crops cultivated in representative fruit and vegetable facilities in the Region of Murcia.

| LIGNEOUS | TOTAL EMISSIONS WITHOUT TRANSPORT | TOTAL EMISSIONS WITH TRANSPORT TO GERMANY |
|----------|--|--|
| | CO ₂ Emissions (t CO ₂ /year/ha) | |
| APRICOT | 4.91 | 6.64 |
| PLUM | 8.46 | 11.92 |
| LEMON | 4.96 | 11.40 |
| PEACH | 11.08 | 14.33 |
| ORANGE | 4.96 | 11.40 |

| HERBACEOUS | TOTAL EMISSIONS WITHOUT TRANSPORT | TOTAL EMISSIONS WITH TRANSPORT TO GERMANY |
|-------------|--|--|
| | CO ₂ Emissions (t CO ₂ /year/ha) | |
| ALCACHOFA | 2,87 | 5,62 |
| ARTICHOKE | 2.87 | 5.62 |
| BROCCOLI | 2.69 | 4.61 |
| CAULIFLOWER | 9.85 | 11.08 |
| LETTUCE | 5.33 | 22.00 |
| MELON | 9.25 | 10.69 |
| PEPPER | 16.08 | 25.70 |
| WATERMELON | 1.53 | 2.30 |
| TOMATO | 8.28 | 25.60 |
| GRAPE VINE | 3.99 | 8.80 |

Source: authors.

Table 8. Contribution to equivalent CO₂ emissions of the different stages needed for cultivation and transport.

| DIRET EMISSIONS | % |
|---|----------------|
| Preparation of the land | 4,50% |
| Transport and harvesting | 3,50% |
| Fertilisation I (N ₂ O from soil's natural process of denitrification) | 13,00% |
| INDIRECT EMISSIONS | % |
| Drip irrigation | 28,00% |
| Storage and misc. | 15,00% |
| OTHER INDIRECT EMISSIONS | % |
| Fertilisation II (NH ₃ and NO _x , indirect emissions from soil) | 4,00% |
| Transport to Germany | 32,00% |
| TOTAL | 100,00% |

Source: authors.

Source: authors.

From the set of carbon audits performed to study equivalent CO₂ emissions, the contribution of the different stages of cultivation and the transport can be differentiated, the latter contributing an average of 30% of the total when the 2,000 kilometres that separate Murcia and Southern Germany are taken into account.

7.3. CARBON BALANCE OF AGRICULTURE IN THE REGION

Carbon balances are achieved by subtracting emissions

calculated by means of the methodology indicated in section 7.2 from the CO₂ fixation conducted by crops (section 7.1). As the table below shows, the results of this calculation are positive in every case. This means that the amount of CO₂ absorbed by the plants is higher than the equivalent CO₂ emissions needed for their production.

7.4. CARBON BALANCE IN FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTION OF THE REGION OF MURCIA AS A WHOLE

The carbon balance of the fruit and vegetable production on the more than 117,000 hectares of irrigated land studied in the region⁵⁹ after taking into account emissions generated by production and transport of the products to Germany⁶⁰ is over a million tonnes annually. This capacity as a sink neutralises the equivalent of direct responsibility CO₂ emissions that a half a million people would generate, according to the data used in table 2.

Murcian agriculture as a whole does not only behave as climatically neutral for most of the distances in which the products are sold, but is a net CO₂ sink that can work to compensate for emissions generated in other places.

It is important to mention that this balance has been calculated without taking into account the potential reduction in emissions that our agriculture still has. The cost associated with reducing emissions in agriculture is competitive with the cost that such a reduction would represent in other business sectors such as industry, transport, etc. And this is one of the greatest characteristics of the “Murcian Agriculture as a CO₂ Sink” initiative - the requirement that participants make voluntary environmental commitments in which every businessperson describes a strategy for improving their car-

59. 15 different crops were used for this study, which represent 117,000 Ha of the total 148,000 Ha that make up the irrigated cropland of the Region. The data suggest that with the inclusion of the 31,000 Ha of irrigated cropland that has not been studied, the sink capacity of the region would increase to over 1,022,493.66 tonnes of CO₂.

60. For the purposes of this study it has been assumed that all the produce obtained from the 117,000 Ha, i.e. 2,800,000 tonnes of agricultural products, are delivered a distance of 2,000 km.

Table 9. Carbon balance of representative agriculture in the Region for the following crops.

| CROP | Carbon balance per ha | Carbon balance per kg of fruit or vegetable | Carbon balance per piece of fruit or vegetable |
|-------------|--------------------------------|---|--|
| LIGNEOUS | Balance t CO ₂ / ha | Balance g CO ₂ /kg | Balance g CO ₂ /piece |
| APRICOT | 17.90 | 994.4 | 59.66 |
| PLUM | 17.43 | 484.23 | 48.42 |
| LEMON | 25.56 | 381.42 | 47.68 |
| PEACH | 19.33 | 572.67 | 108.81 |
| ORANGE | 15.77 | 235.56 | 29.42 |
| HERBACEOUS | Balance t CO ₂ / ha | Balance g CO ₂ / kg | Balance g CO ₂ / piece |
| ARTICHOKE | 19.83 | 991.56 | 297.47 |
| BROCCOLI | 4.16 | 319.82 | 111.94 |
| CAULIFLOWER | 2.13 | 106.63 | 42.69 |
| LETTUCE | 4.89 | 146.43 | 58.57 |
| MELON | 1.17 | 78.27 | 78.27 |
| PEPPER | 9.64 | 137.77 | 27.55 |
| WATERMELON | 5.17 | 646.25 | 775.50 |
| TOMATO | 7.97 | 63.22 | 5.06 |
| GRAPE VINE | 18.15 | 453.73 | 294.93 |

Source: authors.

Table 10. Carbon balance in fruit and vegetable production of the Region of Murcia as a whole including transport to Germany.

| CARBON BALANCE IN FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTION OF THE REGION OF MURCIA | | |
|--|----------|-------------------------|
| | Total Ha | Total t CO ₂ |
| TOTAL (herbaceous and ligneous) | 117.043 | 1.022.493,66 |

Source: authors.



bon balance, adapted to the reality of their facility, that is, a commitment to continual improvement.

As mentioned earlier, in order to use the LessCO2 brand associated with the “Murcian Agriculture as a CO₂ Sink” initiative, each and every piece of information supplied by participating companies will have to be verified and validated by officially recognised bodies and, in every case, will have to be included on the official website of the initiative www.lessco2.es.

The work developed within the framework of the “Agriculture as a CO₂ Sink” initiative attempts to demonstrate the important competitive advantage that might be obtained for Mediterranean agriculture by making European consumers aware of the significant environmental benefits contributed by agricultural crops through the continuous storage of a considerable volume of CO₂ removed from the atmosphere thanks to the fixation capacity of vegetables. Another separate, and yet no less important, debate concerns the quantifying of the role that agriculture might have in the mitigation of climate change when in addition it also removes significant quantities of CO₂ from the atmosphere every year.

Regarding this last point, it should be noted that of the biological capturing or sequestering of more than one million tons a year, a significant proportion, ranging from 52% in the case of peaches and 83% in table grapes, is accounted for by the carbon stored in the leaves and annual pruning, in addition to the annual return provided by the fruit.

The other 48% to 17% comes from the carbon stored in the roots, trunk and main branches, which is dependent on the lifetime of the tree. By the time the useful life of the fruit tree has ended, its roots will have assimilated the carbon stored in the soil, and if its wood is used in ways which do not release the carbon into the atmosphere we will be left with a permanent sink beyond the useful lifetime of the trees.

8. CONCLUSIONS

CO₂ is the planet’s main greenhouse gas and, due to its current excess in the atmosphere, contributes to climate change regardless of where emissions are generated.

Climate change is one of the primary concerns of European consumers and in response to this social demand, the big supermarket chains are developing advertising campaigns and are beginning to apply the concept of the carbon footprint to food products. For this laudable effort to provide consumers with information about the CO₂ emitted during the manufacture of a product, which is similar to the campaign begun some time ago to include nutritional information on food products, it seems more appropriate to use the concept of carbon balance, which allows consumers to see the environmental benefit that eco-efficient agriculture provides through acting as a net CO₂ sink.

Furthermore, institutions and organisations of all kinds contribute to raising citizen awareness of the need to reduce emissions for which they are responsible or compensate for those which cannot be avoided. This brings the new concept of “compensation” onto the scene, which allows us to neutralise our emissions by means of efforts to absorb CO₂ any place in the world - a service that eco-efficient agriculture offers.

However, this capacity of eco-efficient agriculture to achieve a positive carbon balance by removing CO₂ from the atmosphere, used in isolation and individually by some production companies would represent a mere gesture to responsibility, with little practical use. What is really important is to have the ability to channel a great number of voluntary efforts to collectively create a quantitatively significant level of CO₂ removal. This effort also has to be supported by intense scientific work that not only identifies the origin and cause of emissions, but more importantly, determines the amount of CO₂ fixed by crops so

that through the use of good practices, the sink capacity of agriculture as a whole improves year after year.

This is what the “Murcian Agriculture as a CO₂ Sink” initiative seeks to do - promote a widespread, voluntary agreement which the entire fruit and vegetable producing community of the Region of Murcia is committed to and which reflects the convergence of the interests and concerns of consumers and the supermarkets that sell fruit and vegetables in Europe.

The difference between this initiative and any other brand used to certify that the production of a certain company is climatically neutral is that in this case, the Region of Murcia seeks to affirm a commitment from the entire agricultural sector, which is responsible for no less than 20% of the fruit and vegetables exported by Spain.

The carbon balance or sink capacity, that is the CO₂ removed from the atmosphere by fruit and vegetable producers in the Region of Murcia as a whole, even when transport to the centre of Europe is taken into account, is at more than a million tonnes of CO₂.

The period during which this carbon captured through agriculture remains stored is variable: a high percentage is stored in the trunk, main branches and roots, forming a long term sink; while the remaining carbon constitutes a temporary sink that is renewed every year. As the Assistant Director-General of the FAO, Alexander Müller, points out: “The world will have to use all options to contain average global warming within two degrees Celsius. Agriculture and land use have the potential to help minimise net greenhouse gas emissions through specific practices, especially building soil and biomass carbon. These practices can at the same time increase the productivity and resilience of agriculture, thus contributing to food security and poverty reduction.”

The agriculture of the future must include as a fundamental objective, as that in the Region of Murcia has, the mitigation of climate change. The accomplishment of this

objective must include continual improvement so the carbon balance is more and more positive, that is, crops must fix increasingly more CO₂ and emit increasingly less CO₂ in their production and transport to consumer centres.



Figure 18. Advertising campaign for the Murcian Agriculture as a CO₂ Sink initiative.

BIBLIOGRAPHY

- UNE-ISO 14064:2006, Greenhouse gases, Part 1, part 2 and part 3.
- UNE-EN ISO 14040:2006, Environmental management. Lifecycle analysis: principles and reference framework.
- Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol). Corporate Accounting and Reporting Standard. World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development.
- Publicly Available Specification, PAS 2050:2008. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emission of good and services.
- Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo. Modulo 4, Agricultura.
- Programa del IPCC sobre inventarios nacionales de gases e efecto invernadero. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura.
- "Carbon emission from farm operations" R.Lal,
- Europeans' attitudes towards climate change (Special Eurobarometer 322 / Wave 72.1 - TNS Opinion & Social), publicado en noviembre de 2009 por la Comisión Europea.
- Ministerio de Medio Ambiente. Observatorio de Izaña. AEMET, http://www.izana.org/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=25&lang=es
- Carbon Trust - Making bussiness sense of climate change "The carbon emissions generated in all that we consume", 2006.
- LEK Consulting Research Insights. The LEK Consulting Carbon Footprint Report 2007. Carbon Footprints and the evolution of brand-consumer relationships.
- Informe inventario Nacional GEI 1990-2007 (publicado en 2009), http://www.mma.es/portal/secciones/calidad_contaminacion/atmosfera/emisiones/inventario.htm
- Agricultura and horticultura. Introducing energy saving opportunities for farmers and growers. Carbon Trust, 2009.
- **Kristin Dow and Thomas E. Downing.** The Atlas of Climate Change. Ed, EARTHSCAN.
- **Bravo, F.** 2007, "El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático", Fundación Gas Natural.
- **Montero, G., Ruiz-Peinado, R. y Muñoz, M.** 2005. *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles.* Monografías INIA serie forestal.
- **Victoria Jumilla, F.** 2008 "El cambio climático en la Región de Murcia. Evidencias, impactos e iniciativas para la adaptación". *Anales de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Murcia*, año 2008, pags. 195-237. (Vol. 83, junio 2009).

3. INVESTIGACIÓN APLICADA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FIJACIÓN DE CO₂ POR LOS CULTIVOS AGRÍCOLAS

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

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

**Directora y coordinadora del proyecto. CEBAS - Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

RESUMEN

El efecto invernadero lo constituyen el 1% de los gases de la atmósfera (Gases Invernadero, GHG), entre los que se incluyen el CO₂ y el metano, que, en su mayoría, son liberados por la industria, la agricultura, la ganadería y la combustión de combustibles fósiles. La captación de CO₂ por los ecosistemas vegetales terrestres constituye un componente importante en el balance global de carbono. Teniendo esto en cuenta, la agricultura, aparte de ser un sector estratégico, se puede convertir en un mecanismo efectivo para mitigar el incremento del CO₂ atmosférico. Por lo tanto, 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, basada en los datos de producción de biomasa y su contenido de carbono. 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. A esta alta capacidad de fijación de carbono (C) obtenida por la agricultura murciana, hay que sumarle el uso creciente de buenas prácticas agronómicas que la mejorarán y optimizarán el balance.

SUMMARY

The greenhouse effect, is made up by 1% of the gases of the atmosphere (greenhouse gases, GHG), including CO₂ and methane. This effect has been increased considerably du-

ring the last few decades due to an elevation of these gases in the atmosphere as a result of human activity. This increase is fundamentally owed to the burning of fossil fuels and changes in land use. Agriculture is a basic strategic sector that recycles and removes CO₂ from the atmosphere through photosynthesis, storing it and therefore acting as CO₂ sinks. Agricultural products and by-products grow thanks to carbon fixation. Therefore, in this study the annual rate of CO₂ fixation by the agricultural crops in the Region of Murcia has been determined, based on data obtained from biomass production and their concentration of carbon. The amount of carbon fixation by individual plants was calculated only considering the annual biomass production of the plant, allowing total carbon fixation and CO₂ concentration to be calculated. This high capacity of eco-efficient agriculture to remove CO₂ from the atmosphere obtained would also have to be joined to the increase in the use of better agronomical practices for optimal balance.

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 CO₂ 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 CO₂) y lo convierten en biomasa. La biomasa, al descomponerse, se convierte en parte del suelo (en forma de humus) o en CO₂ (a través de la respiración de los microorganismos que procesan la biomasa (Fig. 1 (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 CO₂.

En la actualidad, el exceso de CO₂ modifica el balance final del ciclo de carbono descrito anteriormente, influyendo de manera decisiva sobre las condiciones climáticas. Por una parte se produciría una captación del CO₂ 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 talas 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 alma-

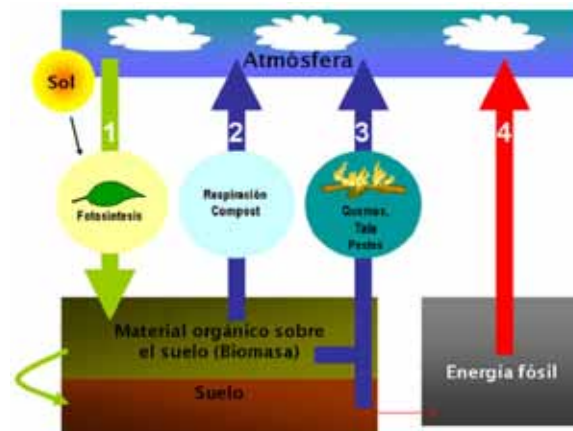


Figura 1. Ciclo del carbono. Fuentes de emisión y sumideros de CO₂.

cena. Las formaciones vegetales actúan como sumideros de carbono 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 parte de los ecosistemas vegetales terrestres constituye un componente importante en el balance global de carbono. A escala mundial se considera que la producción neta de la biosfera terrestre, calculada como la diferencia entre los procesos de absorción (fotosíntesis) y las pérdidas (respiración, descomposición...), 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 atmósfera 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 carbono del humus. La poda de los árboles y las hojas caducas pueden contar como pérdida de carbono del cultivo si se retiran de la plantación o se queman, 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 (Figura 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

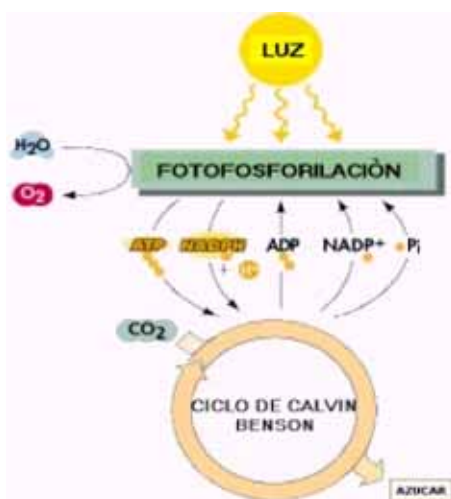
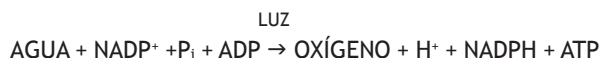


Figura 2. Esquema de la fotosíntesis.

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.

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 y 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 CO₂ 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 [(CH₂O)]. 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 CO₂, la planta tendrá un metabolismo distinto y por lo tanto, se clasifican en plantas C₃, C₄ o CAM. En ellas, tanto la eficiencia del uso del agua como la tasa de fijación de CO₂ es diferente.

Plantas C₃: se caracterizan por mantener los estomas abiertos durante el día para permitir la fijación de CO₂, 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.

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 número de especies | 89% | <1% | 10% |
| Hábitat típico | Distribución amplia | Sitios cálidos y praderas | Sitios xéricos y epifíticos |
| Primer producto estable de la fijación de CO ₂ | 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 CO ₂ | 40-100 µl l ⁻¹ | 0-10 µl l ⁻¹ | 0-10 µl l ⁻¹ |
| [CO ₂] intracelular en luz de día (µl l ⁻¹) | 200 | 100 | 10000 |
| Frecuencia estomática (estomas mm ⁻²) | 40 - 300 | 100 - 160 | 1 - 8 |
| EUA (g CO ₂ fijado por kg H ₂ O transpirada) | 1 - 3 | 2 - 5 | 10 - 40 |
| Tasa máxima de crecimiento (g m ⁻² d ⁻¹) | 5-20 | 40-50 | 0.2 |
| Productividad máxima (t ha ⁻¹ año ⁻¹) | 10-30 | 60-80 | Generalmente menor a 10* |

Plantas C4: se caracterizan por tener los estomas abiertos de día. Como poseen intermediarios de bombeo de CO₂ en la célula, pueden permitirse un cierre de estomas imprevisto, siendo factible la continuidad del proceso fotosintético, gracias al reservorio de CO₂.

Plantas CAM: estomas abiertos por la noche. Las pérdidas de agua por transpiración se reducen enormemente. También poseen reservorio de CO₂, con lo cual también pueden cerrar estomas sin que ello conlleve una disminución fotosintética.

Las propiedades de las plantas C4 y CAM les permiten una supervivencia en entornos con déficit hídrico.

1.4. EFECTO DE LOS ESTRESSES 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 a 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 (Sofó *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 po-

tente 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 de Murcia 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, seguidos 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, basada 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 hectáreas (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 su ciclo de cultivo. Tres plantas 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 sepa-



Foto 1. Muestreo y procesado de hortalizas.

raron 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 7 mm de diámetro. El total de carbono se analizó tal y como se describe posteriormente.

Cereales

Avena, cebada y trigo

Se recolectaron en campo un total de 10 muestras por cada especie, en fase de producción, realizando una ex-



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

tracción 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 carbono, tal y como se describe posteriormente.

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 ma-



Foto 3. Muestreo y procesado de frutales.

quinaria 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 trocó 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 y 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 30 kg 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.

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 las 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 recolectó 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



Foto 4. Muestreo y procesado de cítricos.

biomasa total del árbol (Morgan *et al.*, 2006). Las medidas se realizaron como se describe a continuación.

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).

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



Foto 5. Analizador de carbono del CEBAS-CSIC.

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 al de 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 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, éstos 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 |
| ROMANA | 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. Romana: 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 | 1.140,7 | 139,1 | | | 611,75 | 6,1 | 58,2 | 210,4 |
| BRÓCULI 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 | 1.182,7 | 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 | 4.987 | 1.260 | | | 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 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 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 (Tablas 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 a 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 (Tabla 18) presenta valores muy inferiores al limonero, pero similares en general a los frutos de hueso, mientras que el mandarino mostró valores inferiores al resto (Tabla 19).

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 naranjo.

| 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 mandarina.

| 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 | 1.578,5 |
| Ramas | 1.050 | 632 | 39,78 | 44,98 | 11,8 | 0,1 | 284,4 | 1.042,8 |
| Hojas+Tallos | 4.667 | 2.239 | 52,02 | 40,57 | 37,8 | 0,4 | 908,4 | 3.330,8 |
| Frutos | 80.000 | 15.496 | 80,63 | 43,50 | 280,8 | 2,8 | 6.740,8 | 24.716,3 |
| 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 puede comparar el C fijado anual de los distintos cultivos tanto por unidad de superficie (m² en Figura 1) como por planta o árbol (Figura 2). En esta 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 de 500 g de carbono por m², es decir, más de 1.800 g de CO₂ por m².

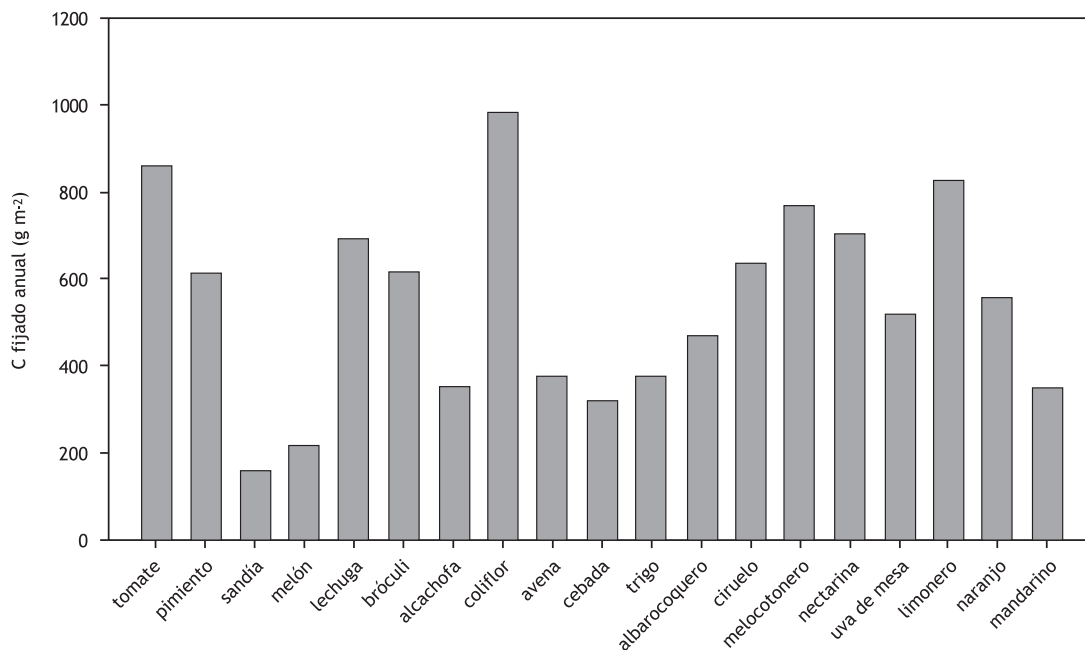


Figura 3. Carbono total anual fijado por cada uno de los cultivos estudiados, expresado por unidad de superficie (m²).

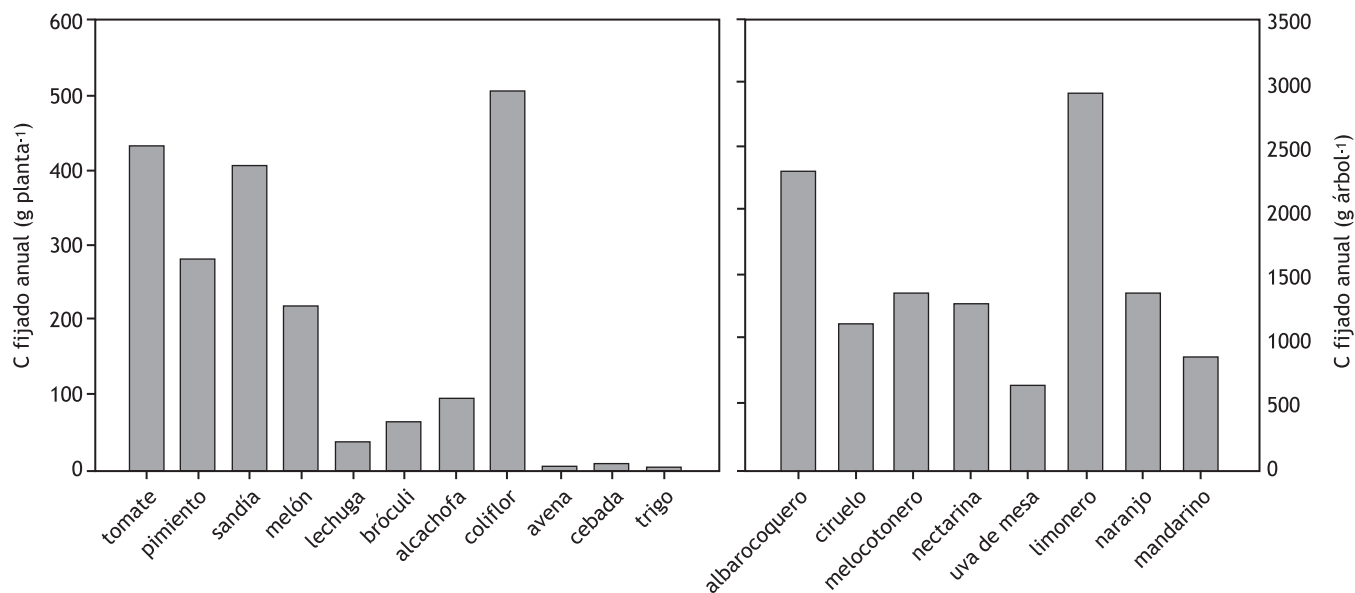


Figura 4. Carbono total anual fijado por cada uno de los cultivos estudiados, expresado por planta o árbol.

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 el marco de plantación (7 m x 7 m) que se utiliza para su cultivo es muy superior al del resto de cultivos de frutales de hueso (3,5 m x 5 m). Por otra parte, si tenemos en cuenta que la relación kg de carbono/ kg materia seca es muy si-

milar para todas las especies, esto 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 (3,5 m x 3,5 m).

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, entre otros factores, a eliminación de pequeños insectos y microorganismos en las capas superiores del suelo (Blanco-Roldán 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 biodiésel. 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 biodiésel, 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 darían 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 comparadas 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 más nutritivos que los cultivados de manera convencional (Winter, 2006), sí 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-desértico 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 a lo largo de este estudio: LANGMEAD FARMS, Finca experimental del CEBASCIC, 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-](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/)

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 G.A., Boer G.J. 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, Ki-yoto 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
- Sofo, 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. Hort.* 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., Gnakpénoú 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.

3.2. EVALUACIÓN DE LA FIJACIÓN DE CARBONO EN LA AGRICULTURA DE LA REGIÓN DE MURCIA

Francisco Moisés del Amor Saavedra, Javier Mirete García, M. Carmen Piñero Zapata, Miguel Marín Miñano

Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario

RESUMEN

Los ecosistemas agrarios pueden jugar un papel fundamental en la fijación de C atmosférico. Sin embargo, su importancia como sumidero de C está directamente relacionada con unas prácticas de manejo medioambientalmente sostenibles. Actualmente son necesarios mayores esfuerzos dirigidos a optimización de los insumos de producción (riego, fertilizantes, laboreo) y la adecuada gestión de los subproductos (podas), donde es fundamental la incorporación de material vegetal para incrementar el *pool* de carbono orgánico de los suelos. En esta memoria se presentan los resultados de las actividades realizadas en el proyecto para la determinación de la fijación de C en diferentes cultivos de la Región de Murcia.

SUMMARY

Agricultural ecosystems may have an important role to store the atmospheric carbon in plant material and soils. However, this ability is directly linked with the adoption of the appropriate sustainable management practices. Nowadays, it is necessary to implement and enforce the optimization of the agricultural inputs (water, fertilizers, tillage), and maximize the return of crop residues to increase the soil carbon pool. This study shows the results of the different activities to determine the amount of carbon sequestered by several crops in The Region of Murcia.

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas agrarios tienen el potencial de secuestrar el carbono atmosférico y mitigar parcialmente los efectos del calentamiento global. En Europa y más concretamente en las regiones mediterráneas, las previsiones indican escenarios de un aumento de temperatura asociada a una mayor frecuencia de periodos de sequía. La mayor vulnerabilidad de la agricultura en estas zonas como el sureste español, con una fuerte dependencia hídrica externa, nos indicaría una mayor demanda de agua y una fuerte inestabilidad del sector agrario debido a la disminución de la producción junto al aumento del coste de los insumos.

Los principales efectos del calentamiento global son, por un lado, el cambio en el uso del territorio asociado al incremento de la temperatura (sequías e incendios) ligado a la disminución de masa forestal, abandono de tierras de cultivo y pérdida de la fertilidad del suelo. Por otro lado, a nivel atmosférico, con la alteración en la composición química de la atmósfera y el incremento de compuestos tales como CO₂, CH₄ y N_xO_y y sus efectos en la biosfera. El notable incremento en la concentración de CO₂ tiene un efecto directo sobre las plantas. La fotosíntesis es responsable de un 80% de la productividad terrestre y, por tanto, de la fijación de C en las reservas en biomasa. Por ello, la agricultura juega un papel fundamental en el balance y flujos de C a nivel global.

Las previsiones de aumento de la temperatura y CO₂ pueden incrementar la productividad de los cultivos, especialmente en las regiones menos cálidas, que progresivamente se verán favorecidas por inviernos más benignos. Este hecho es especialmente significativo y extrapolable a otras áreas agrícolas del planeta siempre que esté garantizado un suficiente suministro de agua. Por ejemplo, en un estudio sobre la productividad de los cítricos en Florida, se indica un aumento de beneficios del 50-70% en zonas cuyas pérdidas por heladas se verán reducidas entre un 65-80%. Por otra parte, la disminución de la temperatura en invierno afectaría a aquellas especies con necesidades de vernalización y por ello, la migración de su cultivo a otras áreas.

En general, las reservas de C en el suelo se incrementan con el contenido de agua en el suelo y disminuyen con la temperatura, si bien el efecto de la humedad es mayor que el efecto de la temperatura. De este modo, el incremento de la disponibilidad de agua en zonas de clima templado puede incrementar la productividad y, de este modo, la fijación de C en los suelos vía raíces y residuos vegetales. También los cambios en el uso del territorio inciden directamente en el potencial de fijación de C, y la conversión de una vegetación natural a agrícola produce una sustancial transferencia de C hacia la atmósfera. Por ello, el manejo de los nuevos cultivos debe ser realizado optimizando los insumos energéticos empleados en la generación de biomasa. Este aspecto es de vital importancia en ambientes áridos o semiáridos donde la supervivencia y crecimiento de las plantas está limitado por la cantidad de agua disponible y el riego necesario para el mantenimiento de su productividad está limitado fundamentalmente por el precio de este recurso. Esta limitación de productividad (en términos de C) es debida tanto a limitación en la generación de biomasa (producción) como en el balance de C, donde el coste en C de sistemas de producción de agua de calidad adecuada para el riego (desala-

ción) podría desequilibrar el potencial beneficio de fijación de C por la agricultura.

Este potencial de fijación de carbono depende tanto del clima como de la topografía, tipo de suelo y de la vegetación, y, en el caso de agrosistemas agrarios, también de la eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes, unido a prácticas de no laboreo que reduzcan el empleo de combustibles fósiles.

El sector agrario contribuye en mucha menor medida a las emisiones de CO₂ que otros sectores productivos (en USA representa menos del 1% del total de las emisiones). Sin embargo, la agricultura tiene una importante capacidad de almacenar C en material vegetal y en los suelos. En 2003, las tierras cultivadas en USA secuestraron 52 millones de toneladas de CO₂, que representan una importante cantidad con un amplio potencial para ser aumentado mediante la incorporación de eficientes prácticas de manejo.

Aunque el sector agrario contribuye en muy poca medida a las emisiones de CO₂, hay que indicar que es responsable de las emisiones de los más potentes gases de efecto invernadero como son los óxidos de nitrógeno (70%) y el metano (30%). Para combatir el calentamiento global mediante la agricultura son necesarias técnicas de mitigación y adaptación frente al nuevo escenario medioambiental. Por ello, es necesario un aumento de la eficiencia en los insumos y el empleo de fuentes de energía menos contaminantes, unido al rediseño y mejora de los procesos de producción (técnicas y métodos de cultivo, así como de procesado y distribución de los productos agrícolas).

2. OBJETIVO

El objetivo de este primer estudio fue determinar la cantidad de C fijado por tres cultivos (naranja, melocotono y uva de mesa).

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 EVALUACIÓN DE LA FIJACIÓN DE C EN LA AGRICULTURA DE LA REGIÓN DE MURCIA. TAREAS Y PLAN DE TRABAJO

Las tareas y plan de trabajo que se describen en este proyecto de investigación están basadas en el análisis del material vegetal y suelos en diferentes parcelas representativas de las especies vegetales.

El cálculo de la cantidad total de C secuestrado por un árbol durante un año depende de numerosos factores, entre los que destacan las condiciones de crecimiento (edafo-climatológicas) así como la densidad de plantación y manejo del cultivo (tipos de poda). Por ello, este estudio analizó la producción de biomasa en parcelas más representativas del cultivo en la Región de Murcia. Como se representa en la Figura 1, el estudio se realizará en tres fases, tras la identificación de las parcelas.

Figura 1. Fases de estudio en el secuestro de C por los cultivos.

| Crecimiento vegetativo | Desarrollo generativo | Acumulación de C en el suelo |
|------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Podas anuales | Producción anual | Acumulación restos podas |
| Incremento biomasa | | Incremento materia orgánica (MO) |

Las tareas a realizar se dividieron en trabajos sobre la planta (crecimiento vegetativo y generativo) y acumulación de C en el suelo tanto procedente del crecimiento de las raíces como de la incorporación de material procedente de la poda. Para su estudio se recogieron muestras hasta una

profundidad de 30 cm del suelo de cultivo y también de suelo no cultivado de la misma parcela, con el fin de determinar el incremento en C debido al establecimiento del cultivo. A pesar que se realizaron hasta 36 muestreos por cultivo, los resultados no muestran un incremento significativo en la concentración de C si excluimos el aporte de las raíces. Esto puede ser debido a que se trate de sistemas de riego por goteo (humedad localizada en la zona del emisor), utilización de herbicidas y reducida incorporación de las podas al suelo.

Para la determinación del C total fijado durante toda la vida del árbol, se sumó a la biomasa actual la producción total obtenida hasta el arranque del árbol y el peso de la podas anuales (se consideran los años de plena producción).

3.2. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO: RAMAS

En las parcelas seleccionadas se realizaron podas de acuerdo al sistema y técnica más representativa del cultivo. Las podas fueron realizadas por el personal de la finca que habitualmente realiza estas tareas cada año. Por cada árbol, se procedió a pesar toda la poda generada y se tomaron muestras de ramas de distinto diámetro, determinándose su peso seco. Posteriormente se determinó el porcentaje de C sobre el peso seco de las mismas. De igual modo se pesó el resto de las ramas de los árboles, si bien para el caso de la uva de mesa, debido a la variabilidad observada, se realizaron además análisis independientes entre las ramas (procedentes de la poda anual y aquellas que quedaron en el árbol).



Fotografía 2. Poda de melocotonero. Determinación de peso de la poda anual y resto de ramas por árbol.



Fotografía 1. Poda de naranjo. Determinación de peso de la poda anual y resto de ramas por árbol.



Fotografía 3. Poda de uva de mesa. Determinación de peso de la poda anual y resto de ramas por árbol.

3.3 ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO: TRONCO

Una parte importante de la biomasa generada por el árbol se acumula en el tronco. Por ello, realizamos la tala completa del árbol y análisis en peso seco y contenido en C de las distintas especies analizadas. El peso de la biomasa vegetativa acumulada de la parte aérea fue calculado sumando las podas anuales, el resto de las ramas de formación del árbol y el peso total del tronco.



Fotografía 5.
Tala completa de melocotonero para determinar la biomasa vegetativa.



Fotografía 4. Tala completa del naranjo para determinar la biomasa vegetativa.

Fotografía 6. Tala completa de las parras para determinar la biomasa vegetativa.



3.4. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO VEGETATIVO: RAÍCES

Para la determinación de la biomasa generada por el crecimiento de las raíces se procedió al arranque de las mismas; para ello se utilizó una retroexcavadora para identificar las raíces principales. Posteriormente, con azada, se extrajeron las raíces de menor tamaño. En ambos casos la tierra adherida a las mismas fue eliminada antes de la determinación del peso fresco.



Fotografía 7. Extracción de raíces de naranjo.



Fotografía 8. Extracción de raíces de naranjo.



Fotografía 9. Extracción de raíces de las parras.

3.5. ANÁLISIS MATERIA VEGETAL

Los diferentes órganos fueron pesados (peso fresco) en las propias parcelas y posteriormente en laboratorio se determinó el peso seco en estufa a 65° C durante un mínimo de una semana. Los troncos y ramas más gruesas se llevaron a una serrería con el fin de hacer trozos más pequeños que permitieran ser molidos. Una vez molidas todas las muestras y antes de proceder al análisis de C se desecaron nuevamente en estufa. El C se determinó en un analizador elemental CNHS-O marca Carlo Erba modelo EA-1108, del servicio de instrumentación científica de la Universidad de Murcia.

3.6. RESULTADOS

Los resultados de este estudio, los cuales son presentados de manera gráfica en las siguientes páginas, nos mues-



Fotografía 10. Preparación de las muestras para el análisis de C.

tran la composición de los diferentes cultivos atendiendo a los diferentes órganos analizados. Las tres especies vegetales fueron estudiadas mediante análisis destructivos que supusieron el arranque y tala de los árboles y extracción prácticamente completa de su sistema radicular. Los árboles se identificaron en parcelas de fincas representativas del cultivo en la Región de Murcia, aunque con la característica de que todos se hallaban al final de su ciclo productivo (disminución de rentabilidad económica y producción). Este hecho significa que finalmente serían arrancados por los dueños de las diferentes explotaciones agrarias colaboradoras. Por lo tanto, fueron minimizados los daños producidos en la explotación y se nos permitió tener valores reales y no estimados del total del carbono acumulado durante la vida comercial del árbol. El contar

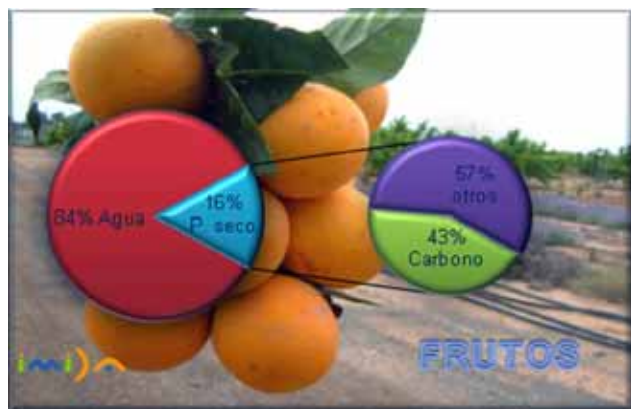
con estos árboles que se hallaban al final de su ciclo y la consecuente próxima sustitución por una nueva especie/variedad nos permitió también obtener el historial completo sobre la acumulación de biomasa generativa (producción de frutos). Estos datos fueron proporcionados por las fincas colaboradoras.

Las especies analizadas fueron cultivadas mediante el sistema de riego por goteo y adecuadamente cubiertas sus necesidades hídricas y nutricionales. Esto permitió contar con especies que expresaron todo su potencial de crecimiento, tanto vegetativo como generativo. Sin embargo, este sistema, que permite una razonable optimización de los insumos, impidió un incremento del contenido en carbono fuera de la zona humectada por el emisor de riego en las parcelas estudiadas.

Los datos muestran la relativamente constante concentración en carbono de la materia seca vegetal independiente del órgano y especie considerada, siendo el principal factor a tener en cuenta el contenido en humedad. El contenido de humedad del órgano considerado suele ser también relativamente constante dentro de la misma especie, salvo en circunstancias de estrés (sequía, salinidad o desequilibrio nutricional) que generalmente son evitadas en una explotación agraria. Por lo tanto, mediante conocimiento de la biomasa y el contenido en agua de los órganos a considerar, se puede fácilmente conocer la cantidad de carbono fijado por el cultivo.

El estudio realizado presenta la capacidad de tres especies para la fijación de carbono atmosférico y la variabilidad/estabilidad de los diferentes parámetros para su cálculo, los cuales podrían ser utilizados en otras especies. La importancia y peso específico que conlleva este secuestro de carbono por las especies agrarias debe ser considerado de manera global, no sólo en un balance de coste en carbono de insumos y transporte (importancia del consumo local), sino también en términos asociados a la permanencia de la actividad agraria en zonas semidesérticas.

RESULTADOS Naranja



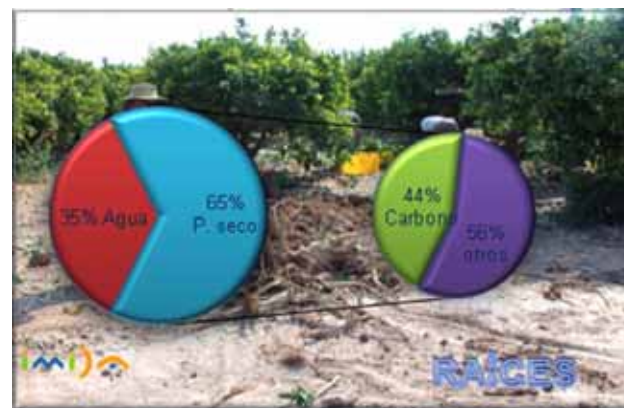
Composición de los frutos.



Composición de los troncos.

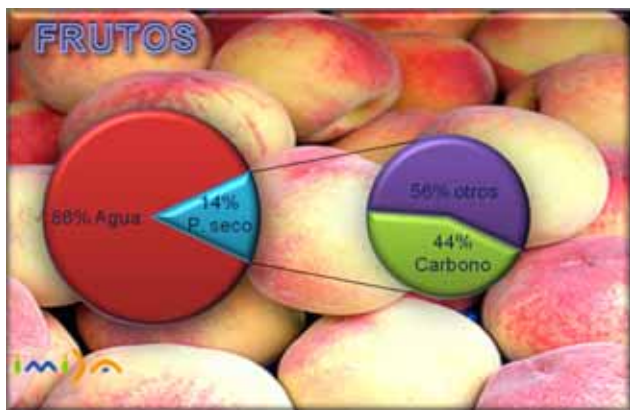


Composición de las ramas.

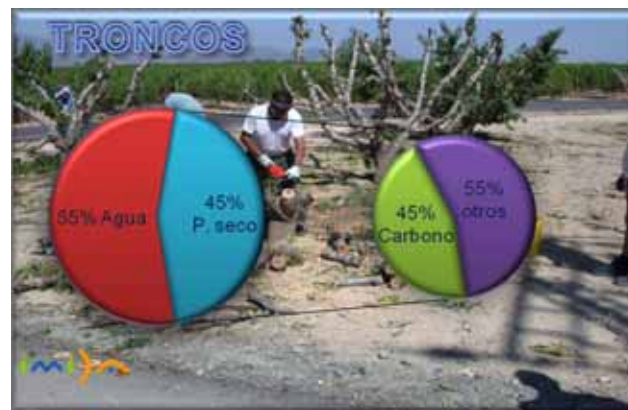


Composición de las raíces.

RESULTADOS
Melocotonero



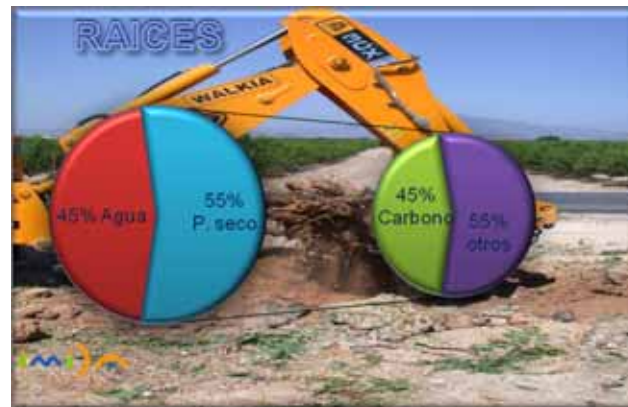
Composición de los frutos.



Composición de los troncos.



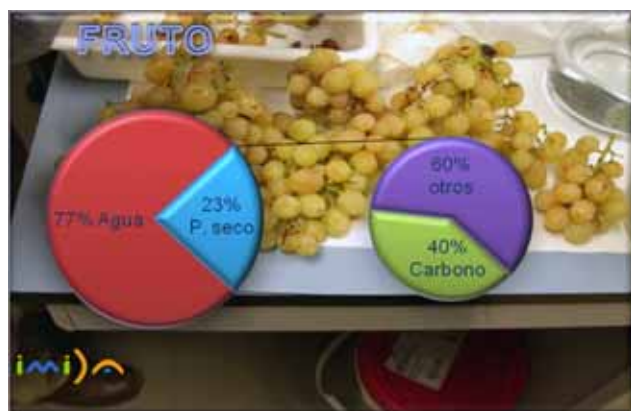
Composición de las ramas.



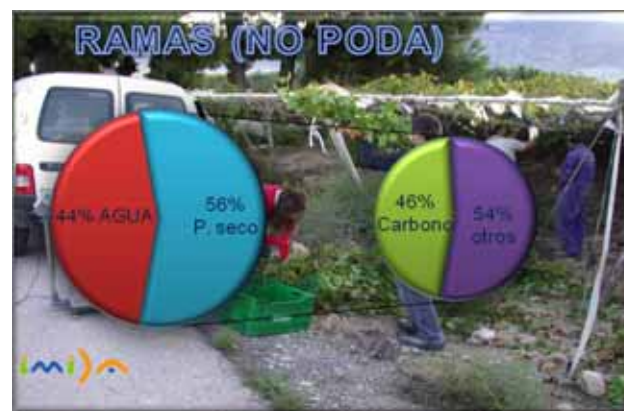
Composición de las raíces.

RESULTADOS

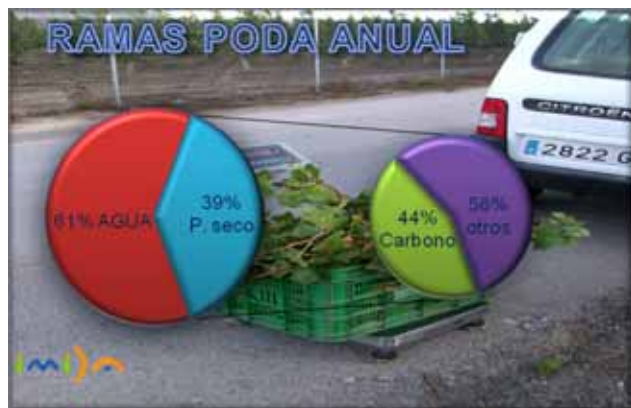
Uva de mesa



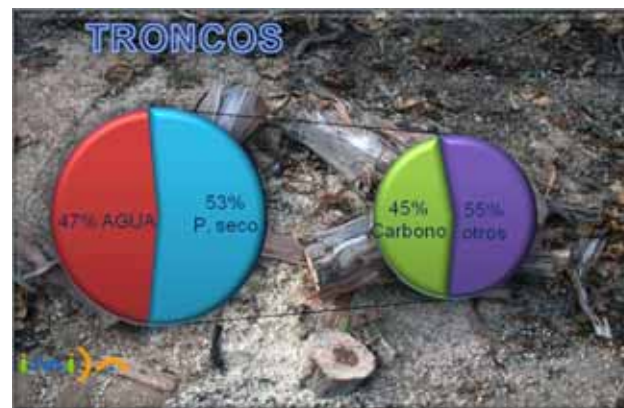
Composición de los frutos.



Composición de las ramas (no poda).

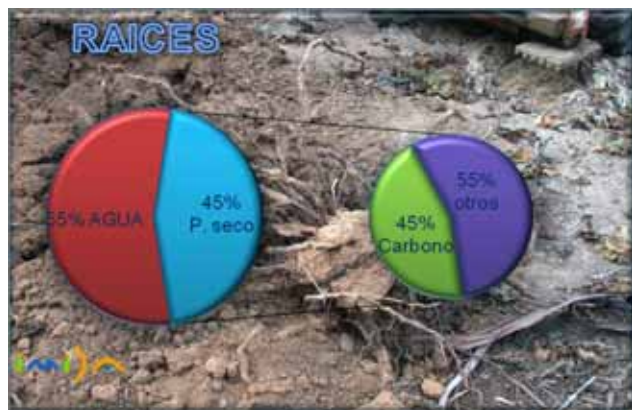


Composición de las ramas (poda).

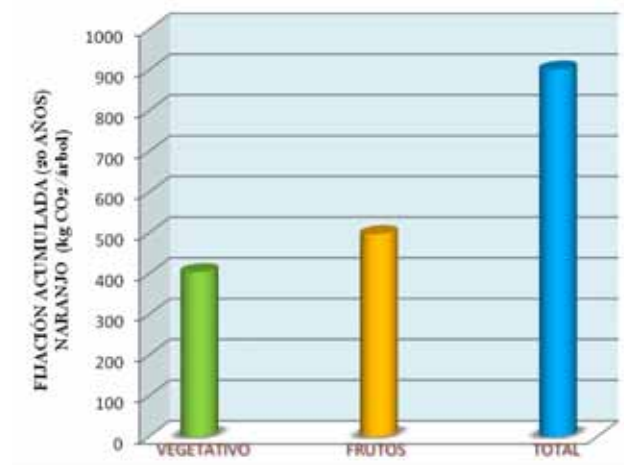
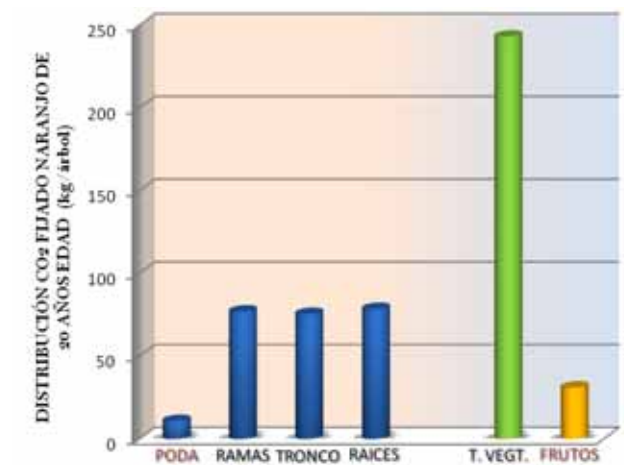


Composición de los troncos.

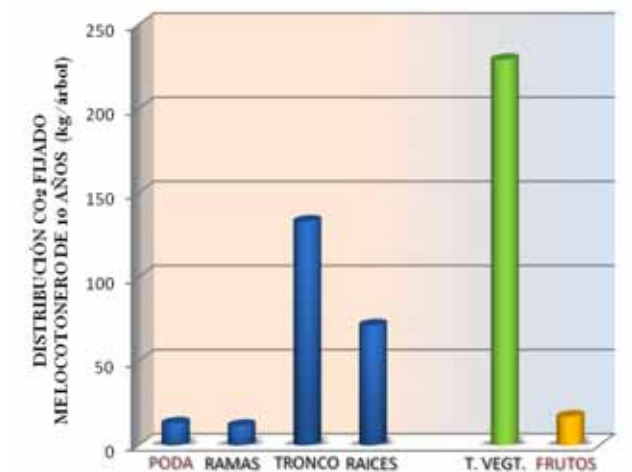
FIJACIÓN DEL CARBONO Naranja



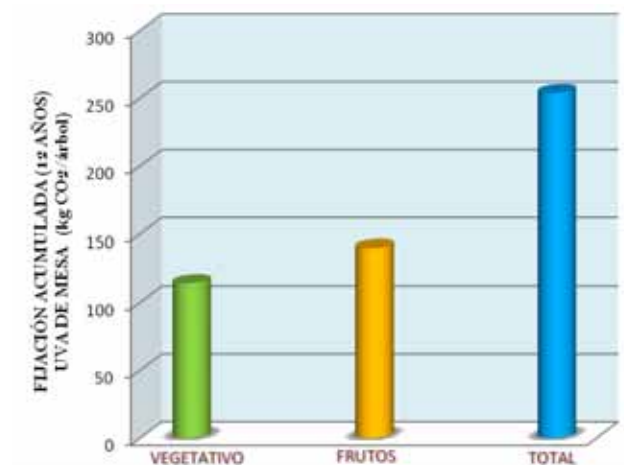
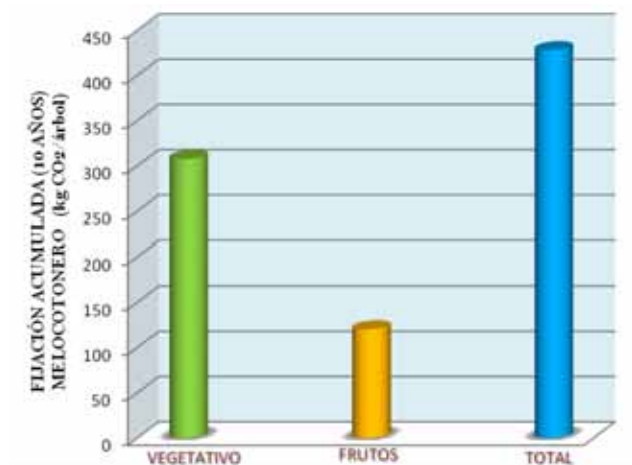
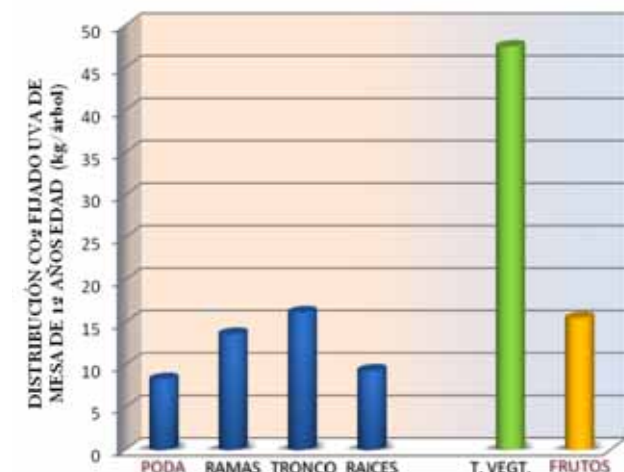
Composición de las raíces.



FIJACIÓN DEL CARBONO
Melocotonero



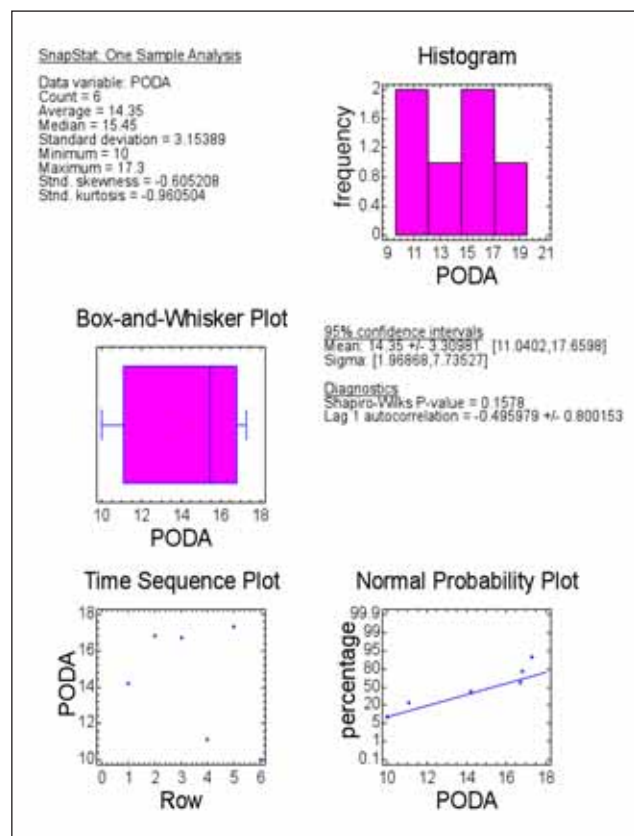
FIJACIÓN DEL CARBONO
Uva de mesa



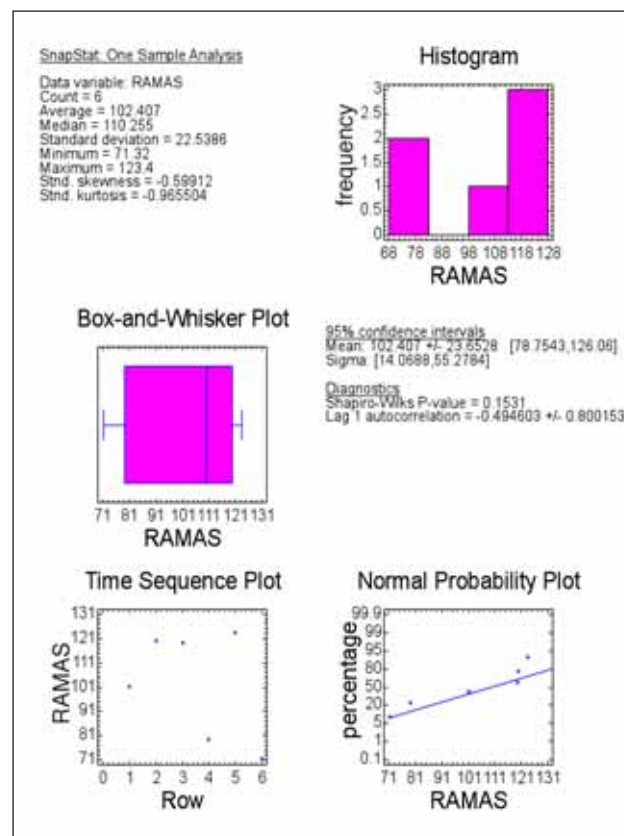
DATOS

INFORMACIÓN SOBRE NARANJO
DATOS BIOMASA Y EXTRACCIONES

Parcela: finca experimental IMIDA (Torreblanca)
Naranja variedad Newhall
Marco plantación: 6 X 6 m
Año plantación: 1989
Producción fruta (plena prod.): 120 kg/árbol

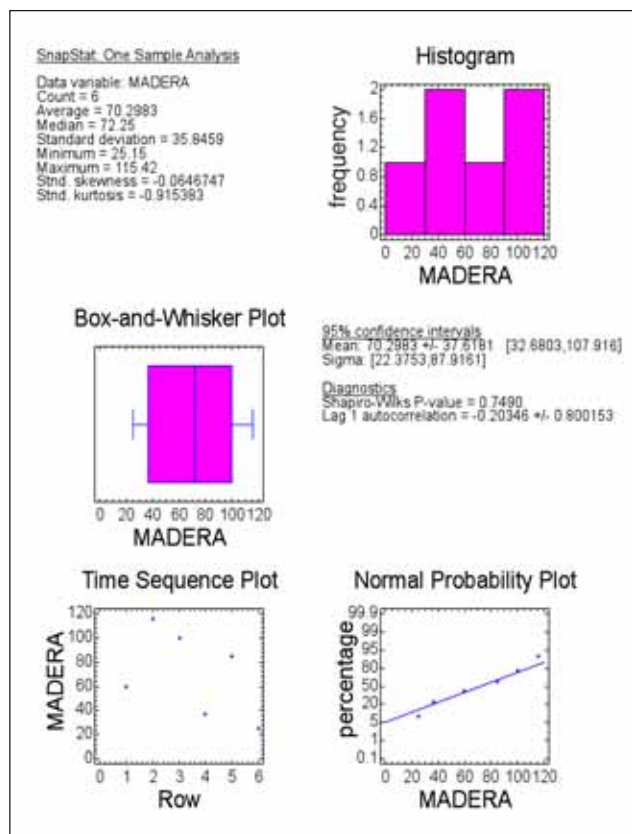


Información estadística muestreo biomasa ramas **poda** anual (kg/árbol) peso fresco (*).

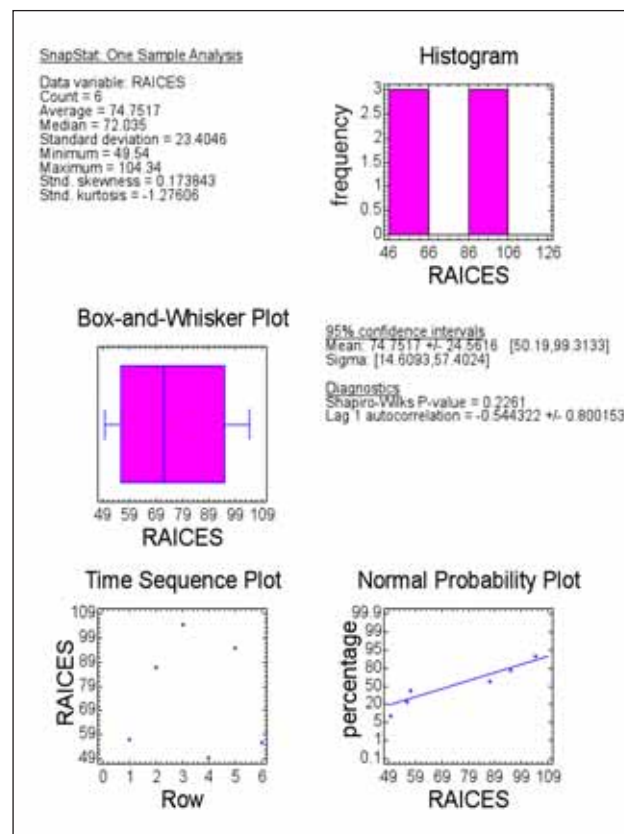


Información estadística muestreo biomasa ramas (no poda) (kg/árbol) peso fresco.

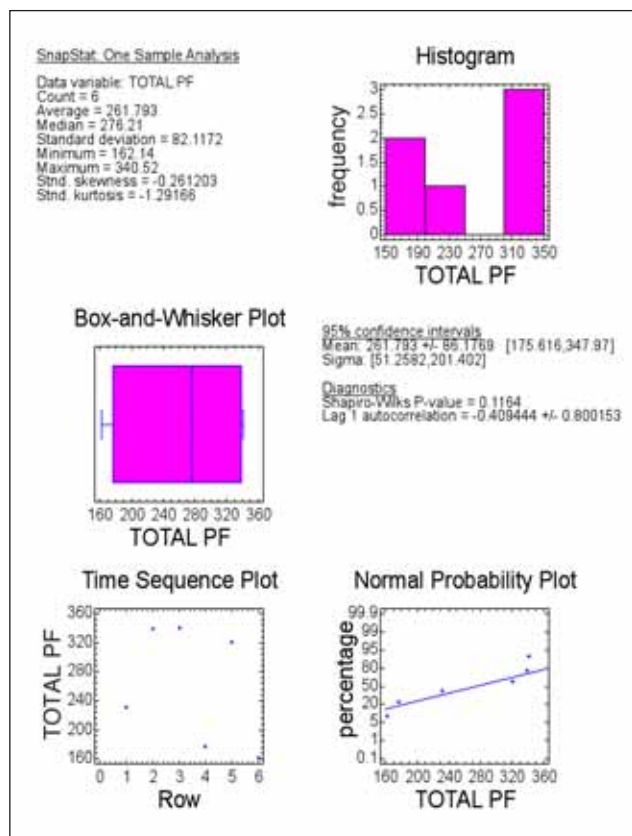
(*) Se realizó una ligera poda anual previa al muestreo. Datos proporcionados por dept. citric. (IMIDA) de la finca experimental donde se realizaron los muestreos.



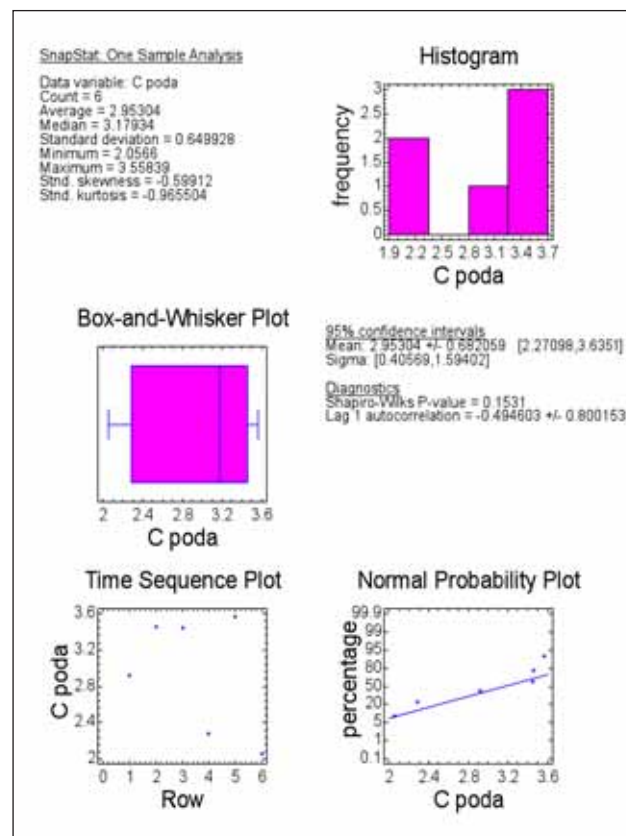
Información estadística muestreo biomasa troncos (kg/árbol) peso fresco.



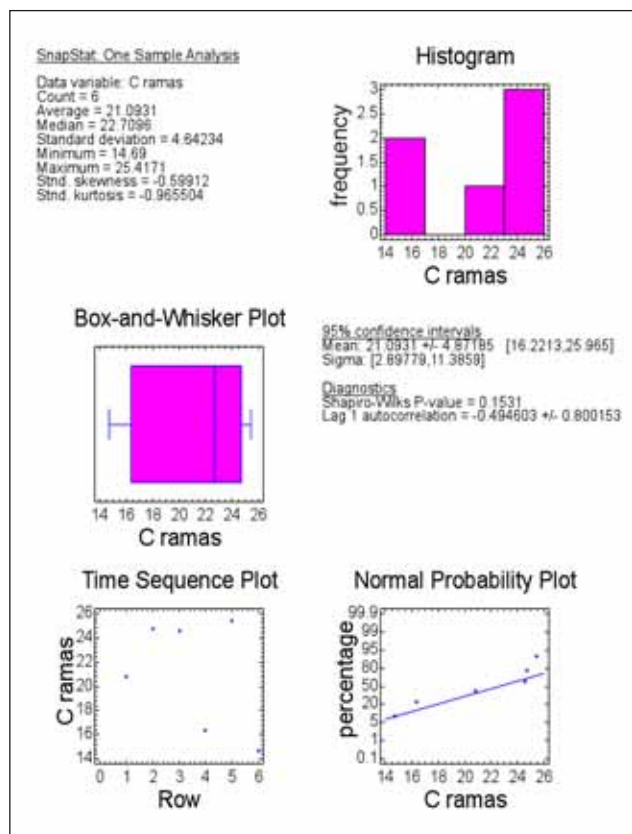
Información estadística muestreo biomasa raíces (kg/árbol) peso fresco.



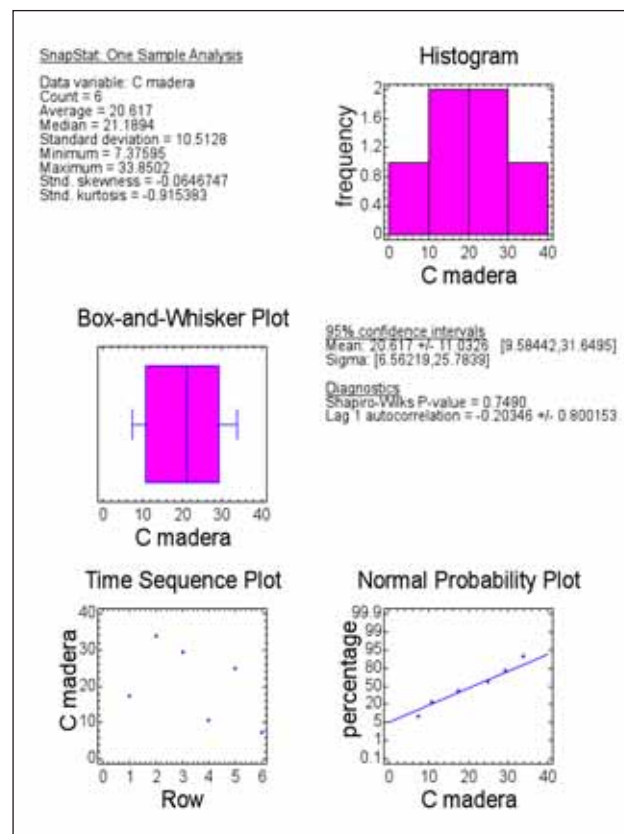
Información estadística muestreo biomasa vegetativa total por árbol (kg/árbol) peso fresco.



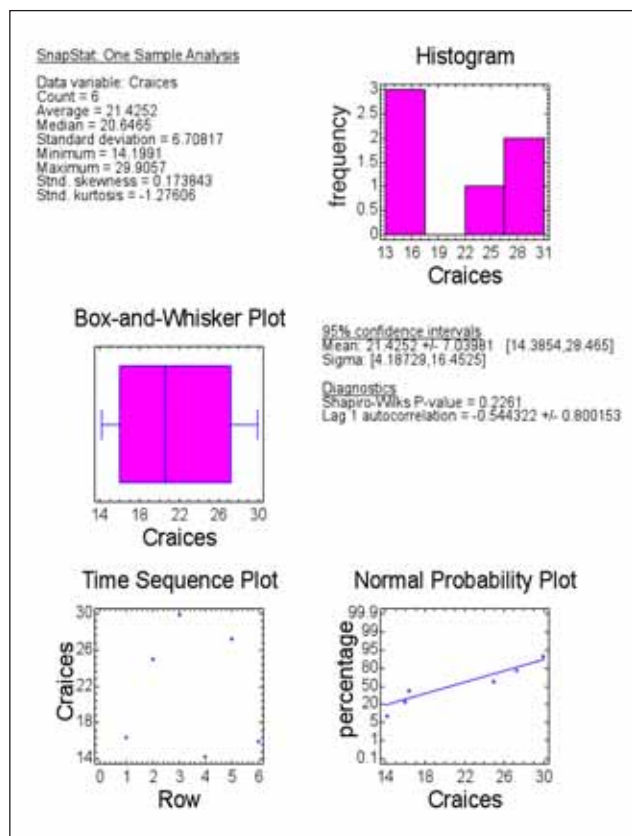
Información estadística muestreo extracciones de carbono por poda anual (kg C/árbol).



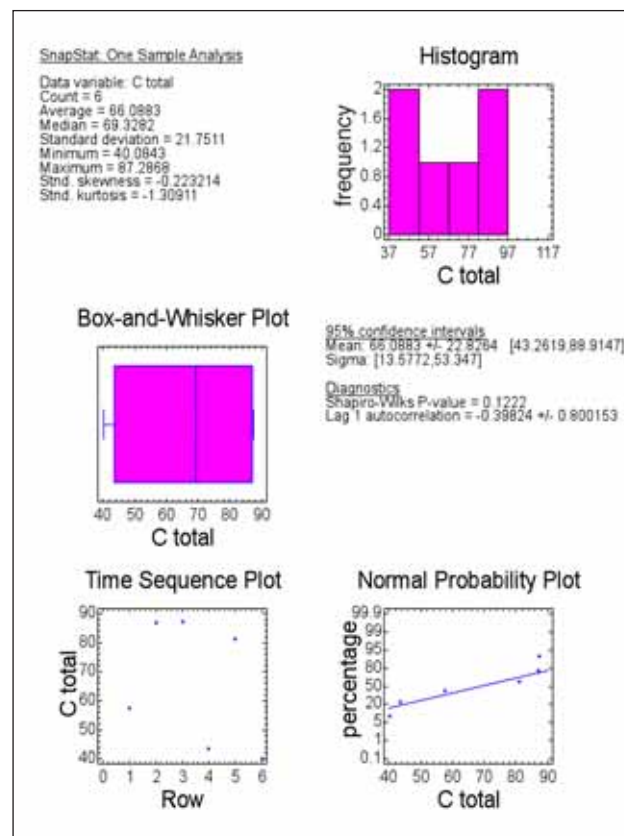
Información estadística muestreo extracciones de carbono por ramas (no poda) (kg C/árbol).



Información estadística muestreo extracciones de carbono por troncos (kg C/árbol).

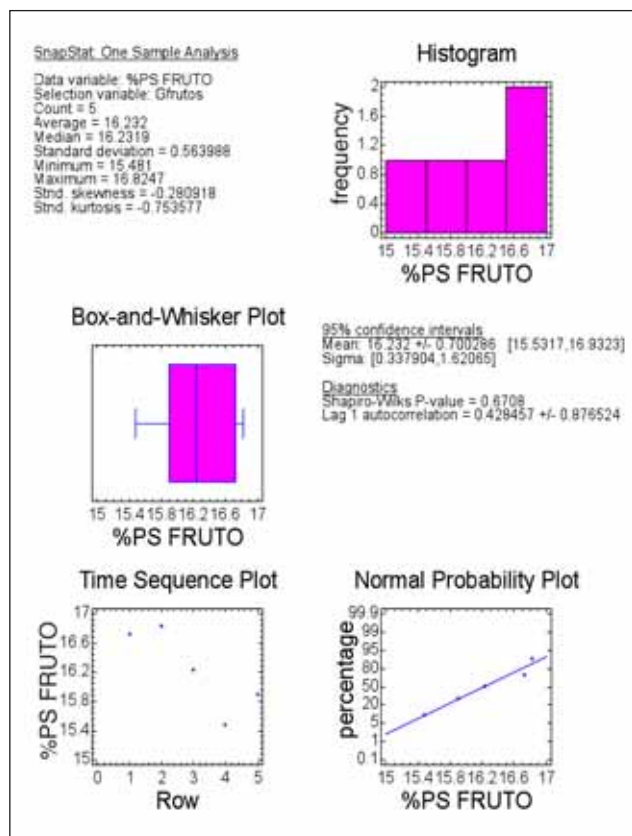


Información estadística muestreo extracciones de carbono por raíces (kg C/árbol).

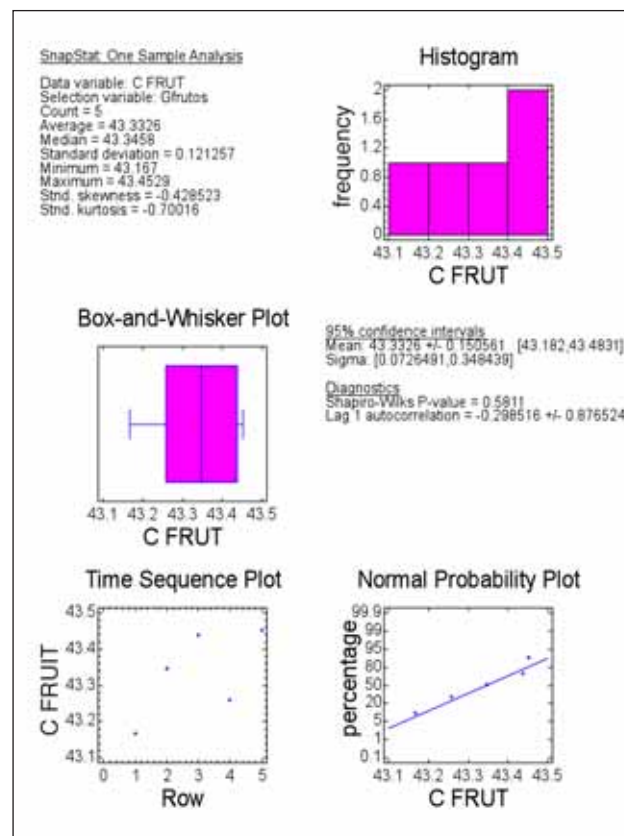


Información estadística muestreo extracciones de carbono por biomasa total vegetativa (kg C/árbol).

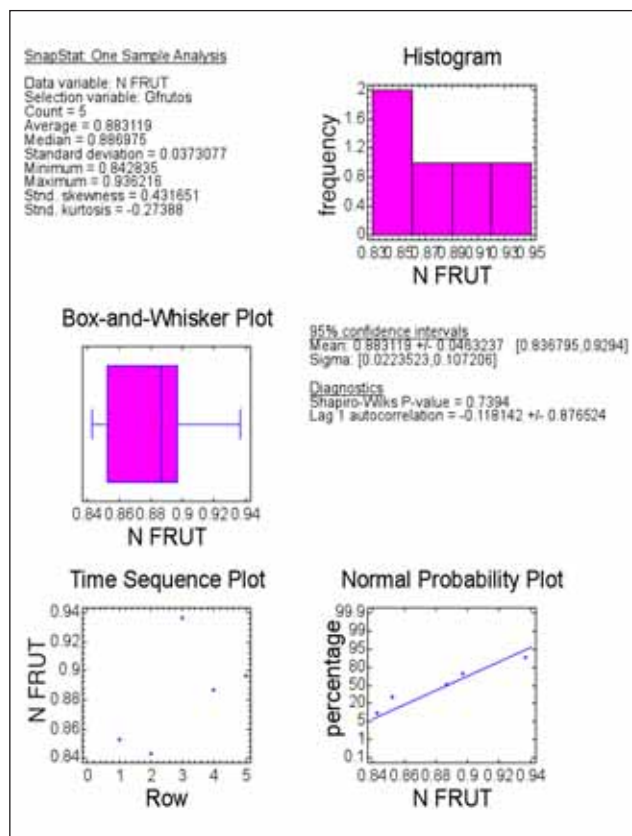
INFORMACIÓN SOBRE NARANJO



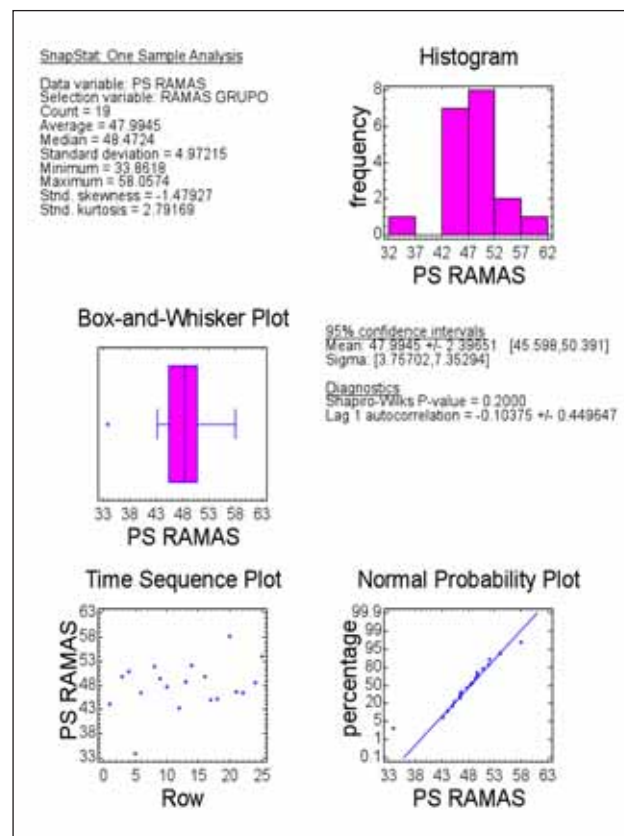
Información estadística datos del porcentaje en peso seco de los frutos de naranjo.



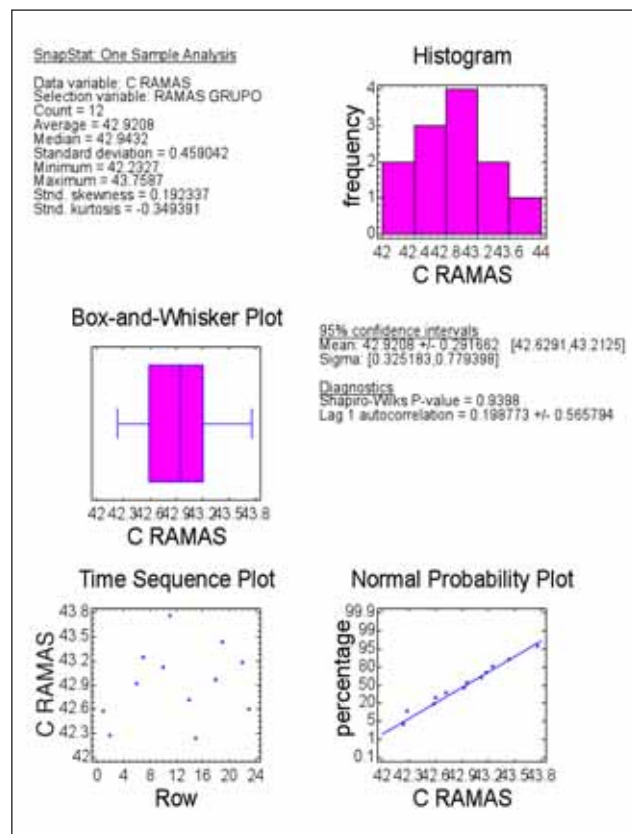
Información estadística muestreo del porcentaje de carbono de los frutos de naranjo (sobre peso seco).



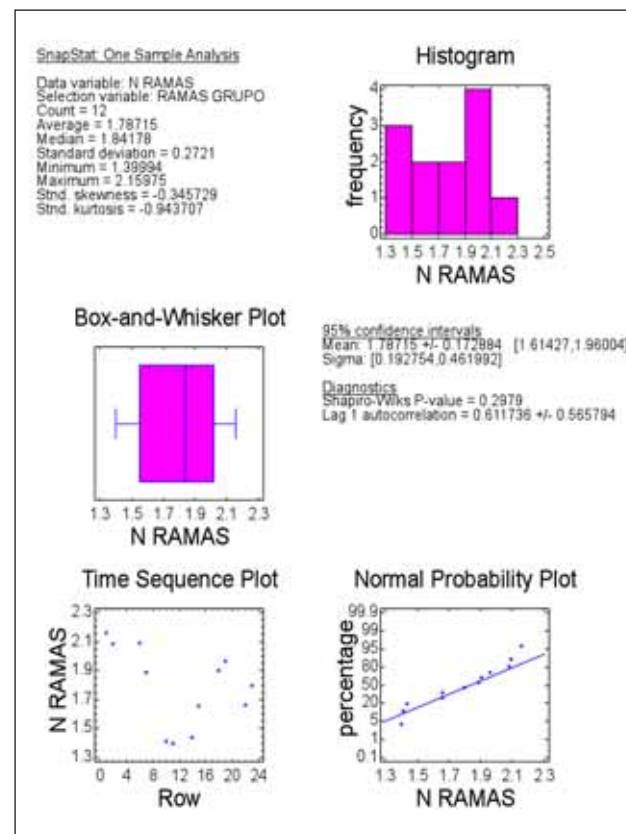
Información estadística muestreo datos del porcentaje de **nitrógeno** de los frutos de naranjo (sobre peso seco).



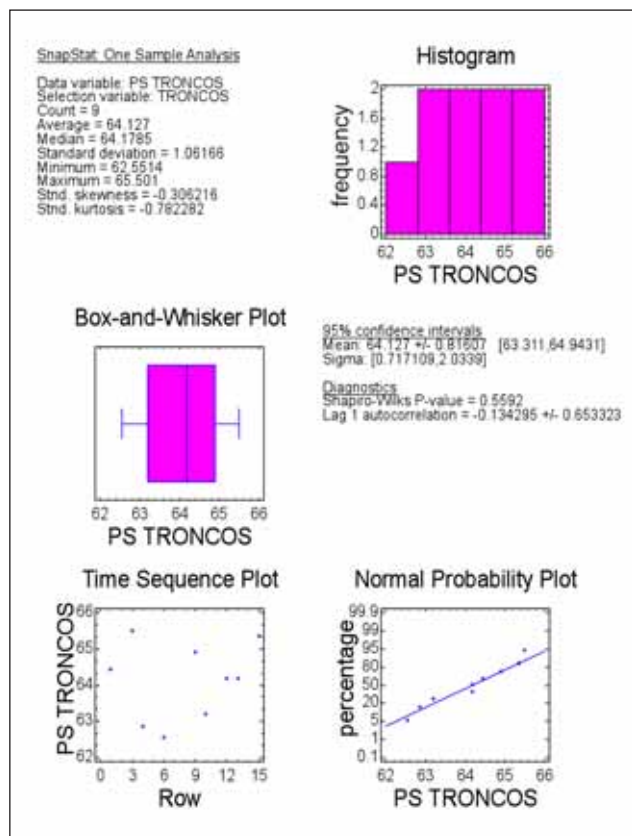
Información estadística datos del porcentaje en peso seco de las ramas de naranjo.



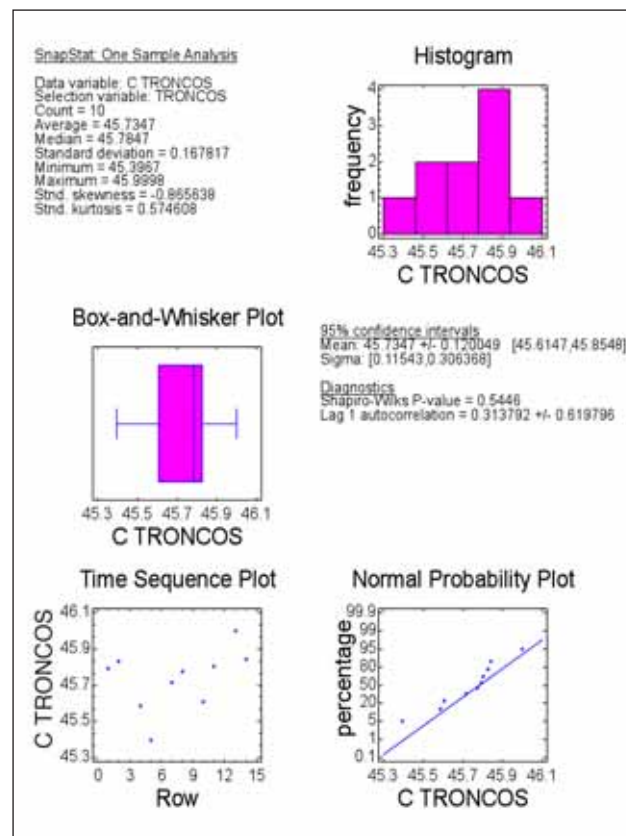
Información estadística muestreo datos del porcentaje en carbono de las ramas de naranjo (sobre peso seco).



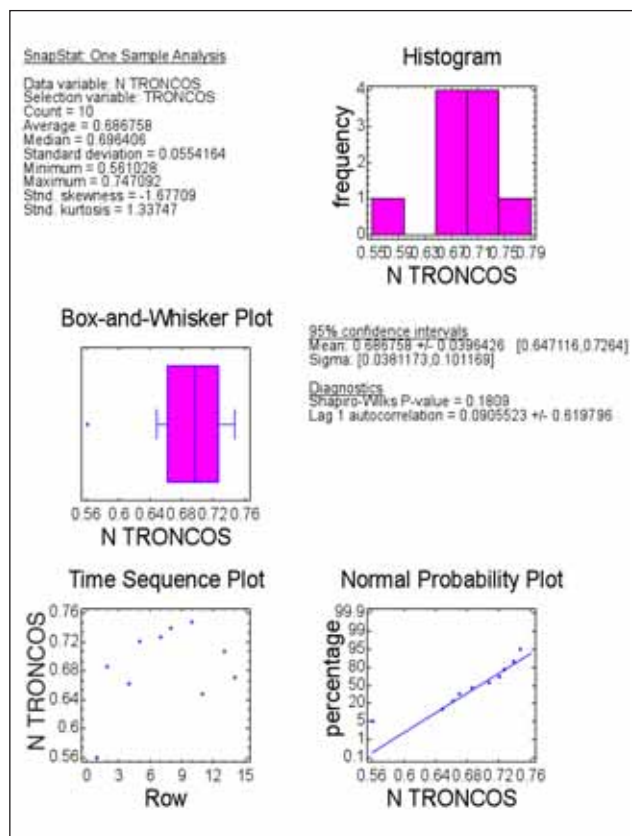
Información estadística muestreo datos del porcentaje en nitrógeno de las ramas de naranjo (sobre peso seco).



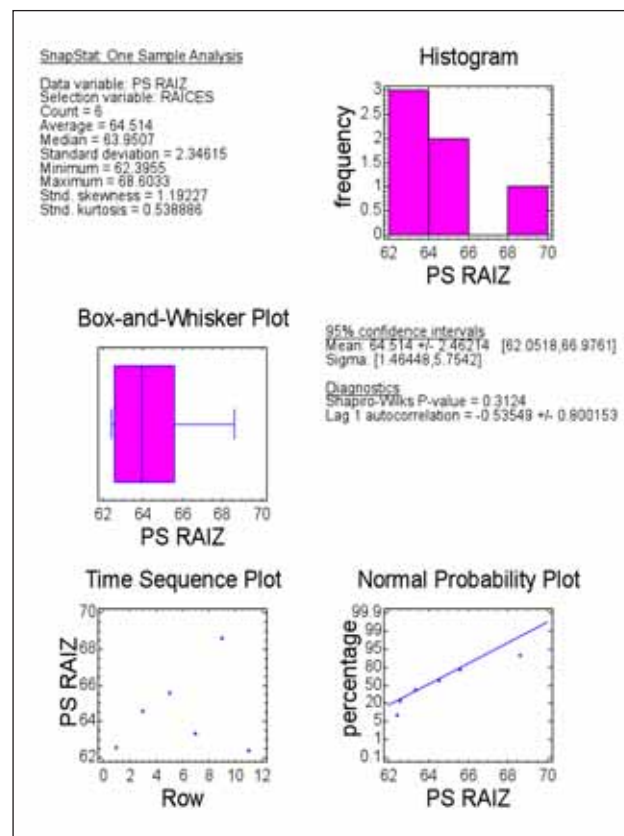
Información estadística muestreo datos del porcentaje en peso seco de troncos de naranjo.



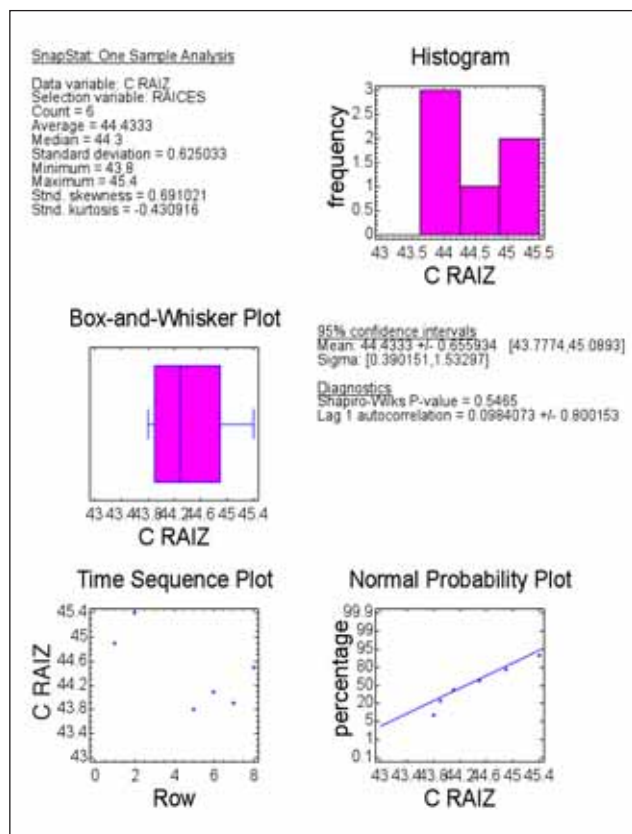
Información estadística datos del porcentaje en carbono de troncos de naranjo (sobre peso seco).



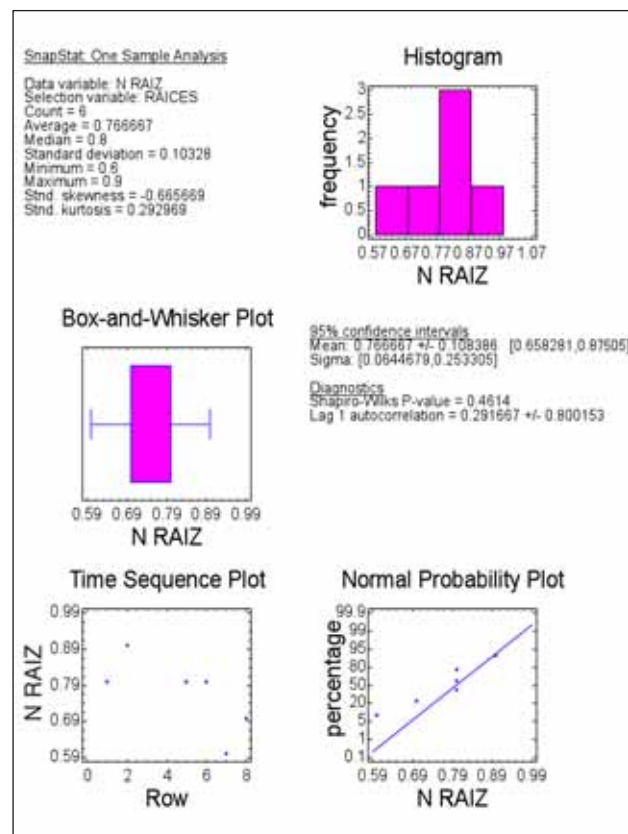
Información estadística muestreo datos del porcentaje en nitrógeno de troncos de naranjo (sobre peso seco).



Información estadística datos del porcentaje en peso seco de las raíces de naranjo.

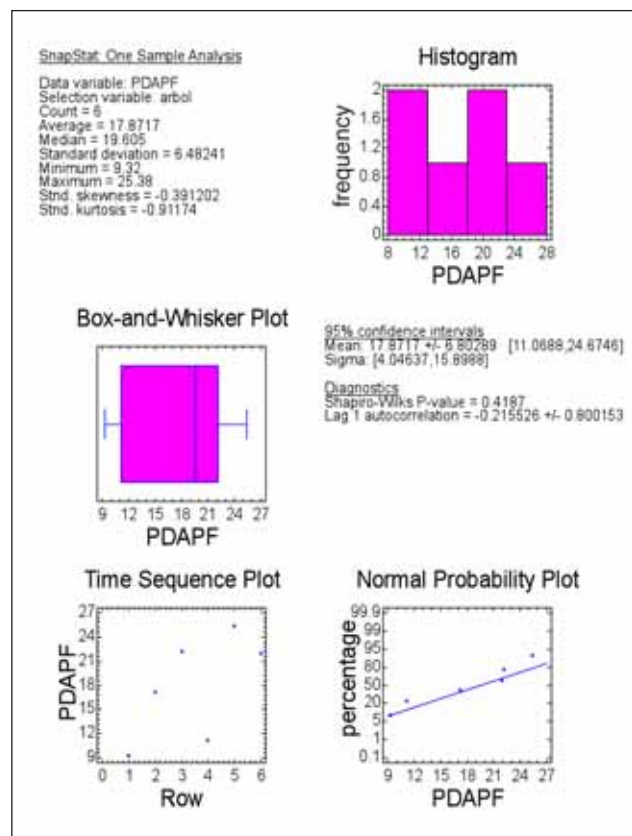


Información estadística datos del porcentaje en **carbono** de las raíces de naranjo (sobre peso seco).

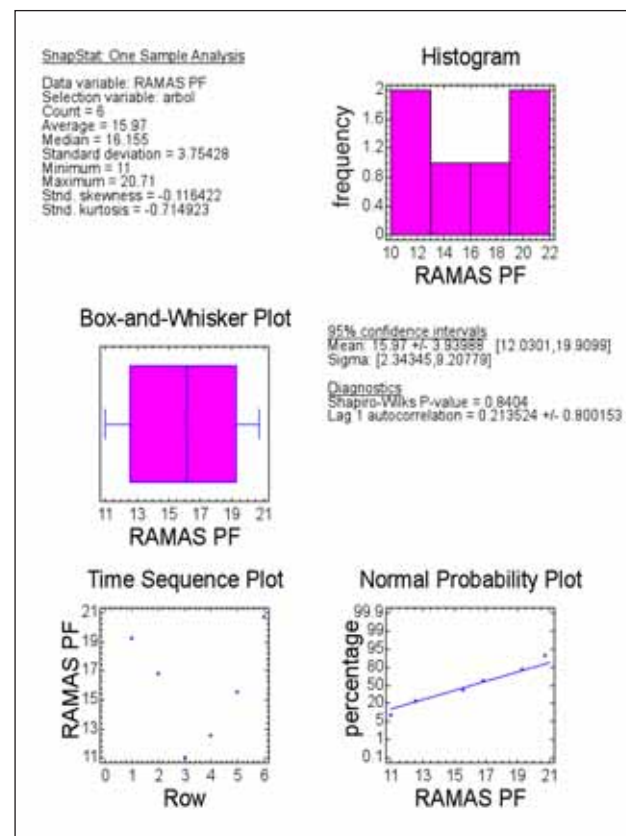


Información estadística muestreo datos del porcentaje en **nitrógeno** de las raíces de naranjo (sobre peso seco).

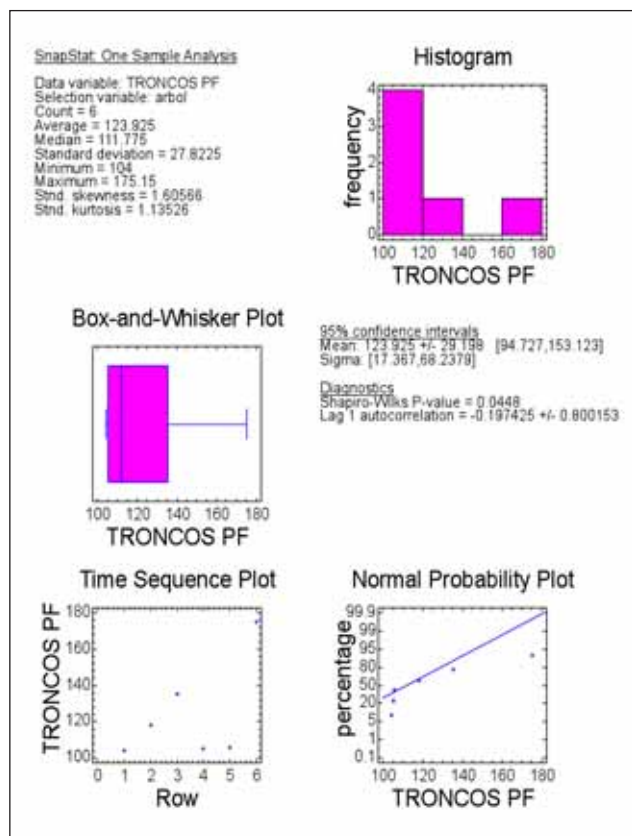
INFORMACIÓN SOBRE MELOCOTONERO
DATOS BIOMASA Y EXTRACCIONES



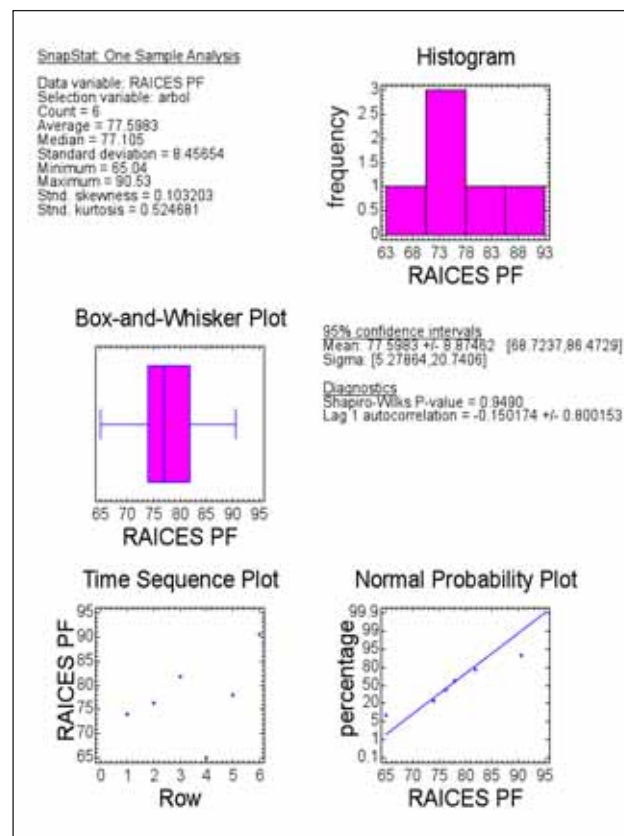
Información estadística muestreo biomasa ramas **poda anual** (kg/árbol) peso fresco.



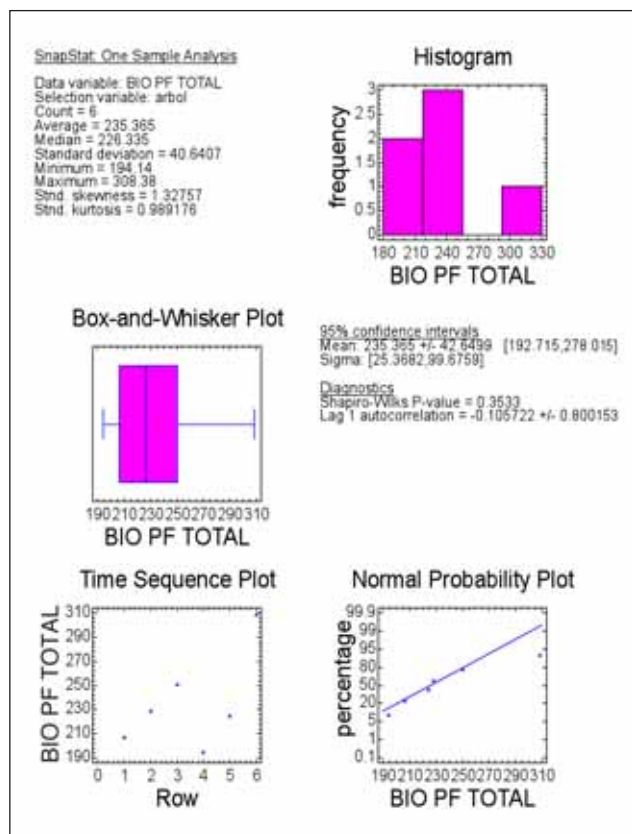
Información estadística muestreo biomasa ramas (no poda) (kg/árbol) peso fresco.



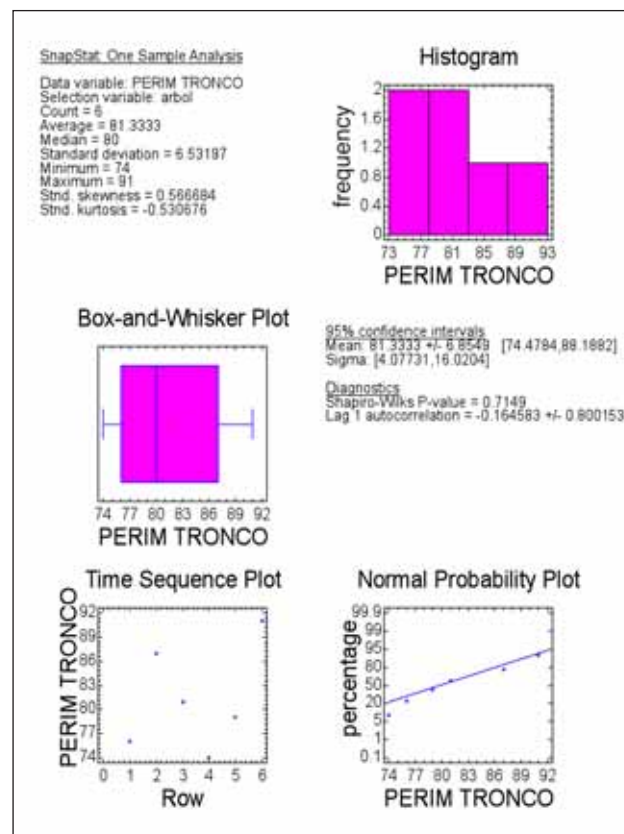
Información estadística muestreo biomasa troncos (kg/árbol) peso fresco.



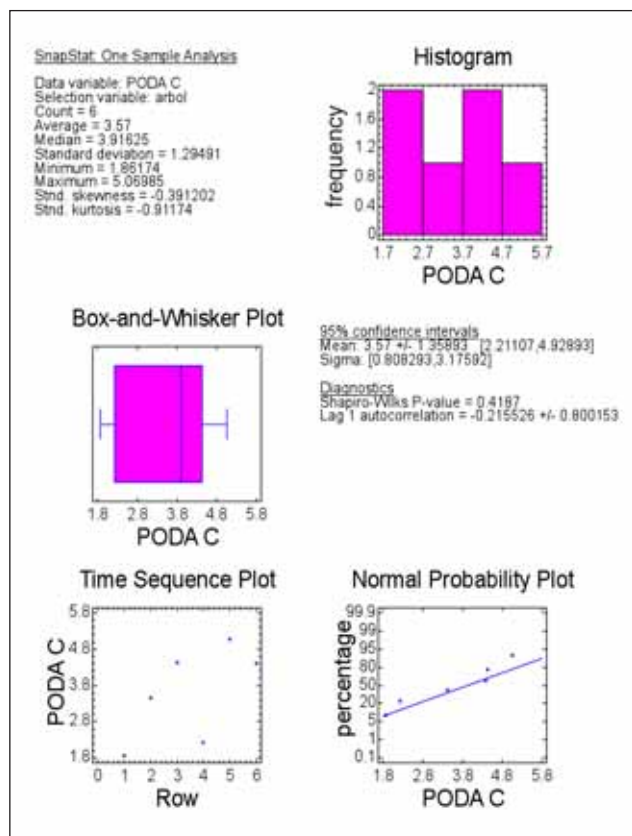
Información estadística muestreo biomasa raíces (kg/árbol) peso fresco.



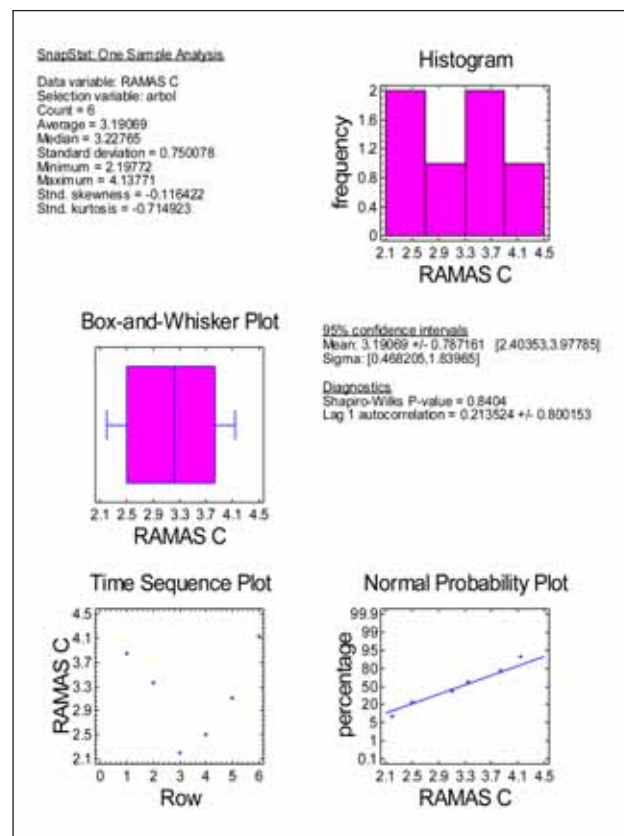
Información estadística muestreo biomasa vegetativa total por árbol (kg/árbol) peso fresco.



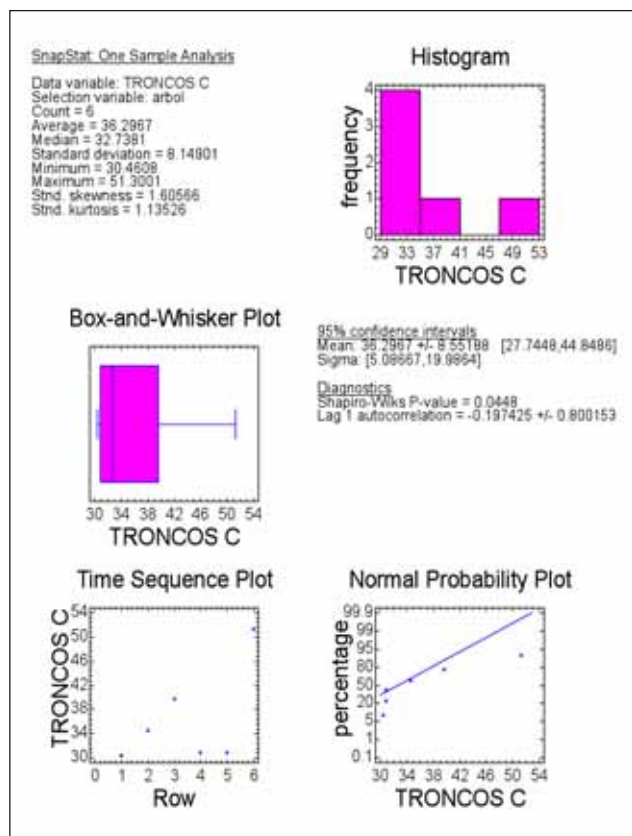
Información estadística perímetro tronco (cm).



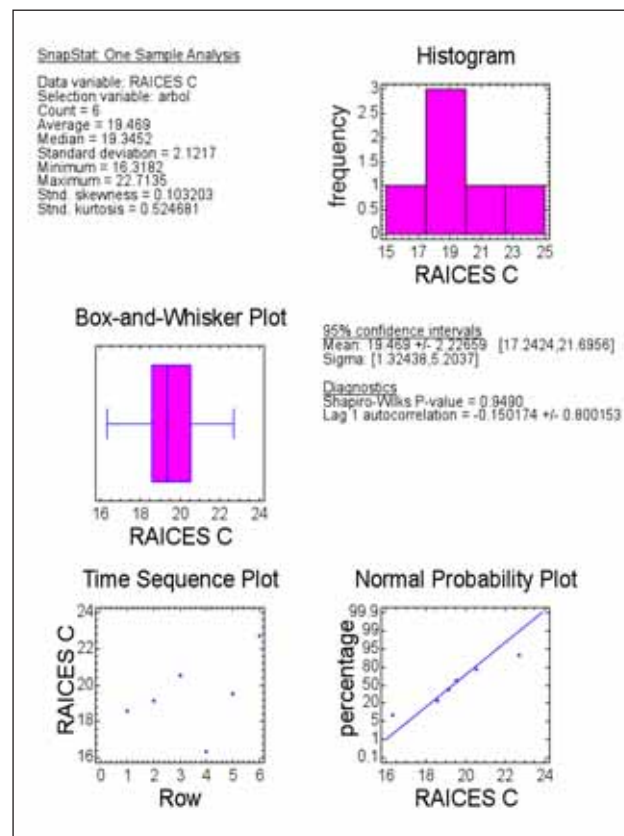
Información estadística muestreo extracciones de carbono por poda anual (kg C/árbol).



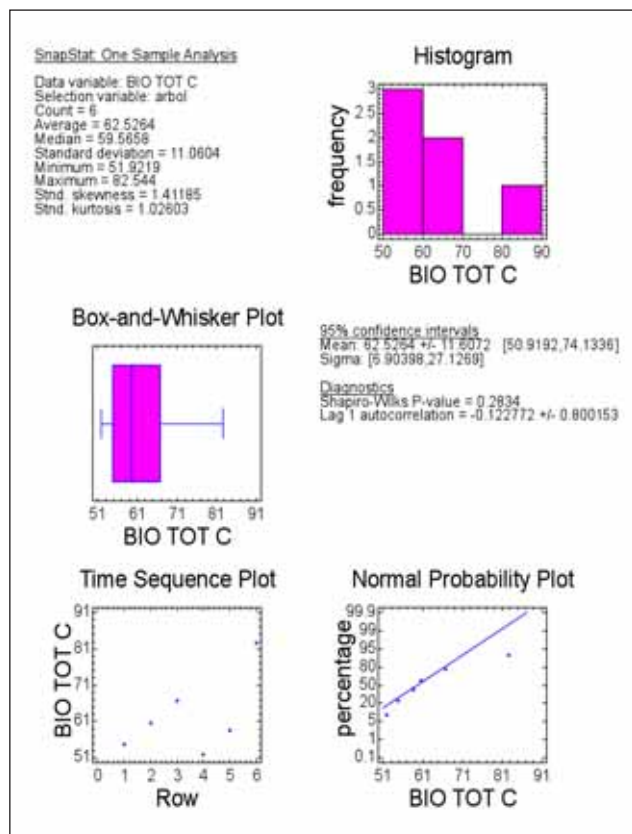
Información estadística muestreo extracciones de carbono por ramas (no poda) (kg C/árbol).



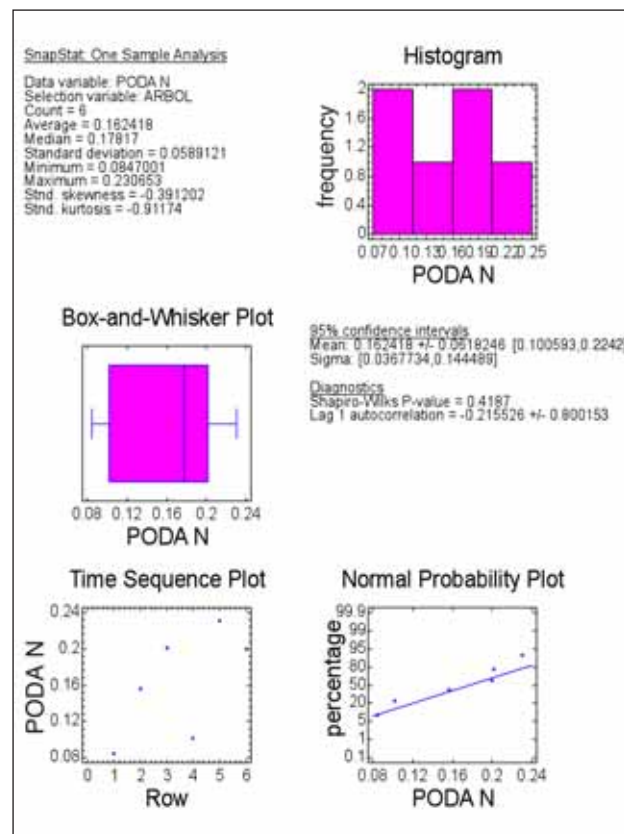
Información estadística muestreo extracciones de carbono por ramas (no poda) (kg C/árbol).



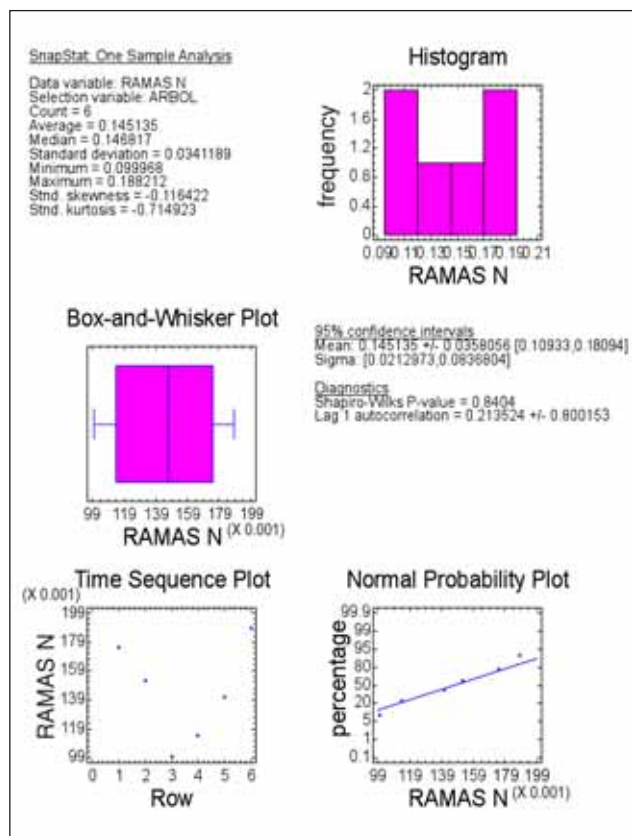
Información estadística muestreo extracciones de carbono por raíces (kg C/árbol).



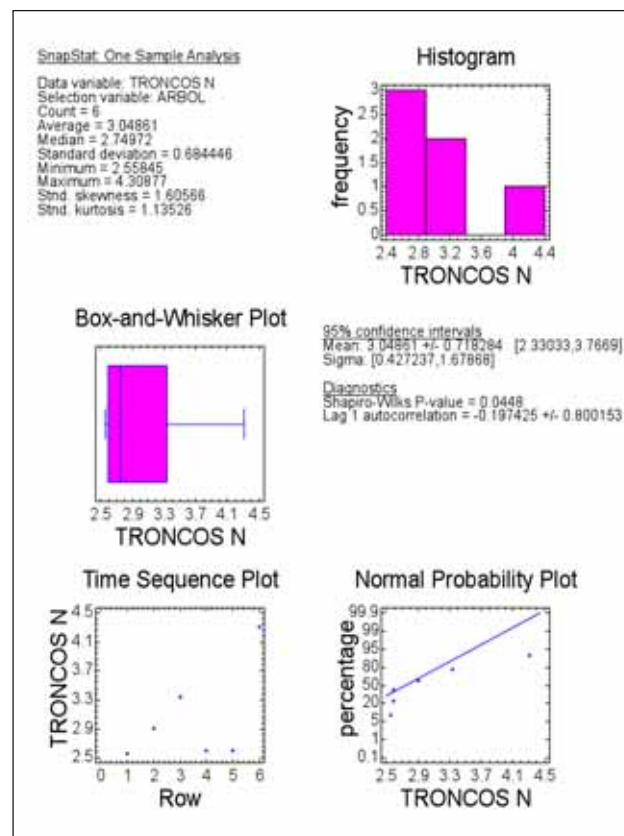
Información estadística muestreo extracciones de carbono por biomasa total vegetativa (kg C/árbol).



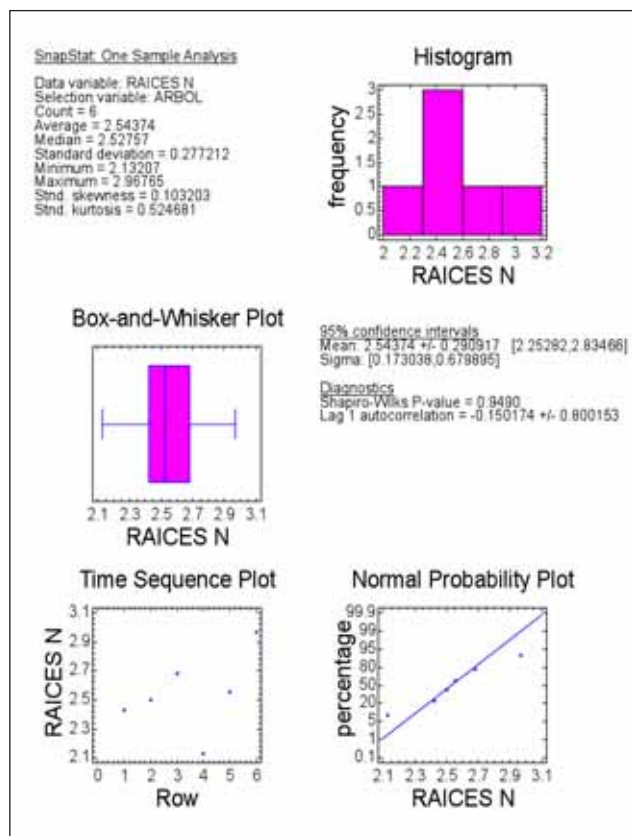
Información estadística muestreo extracciones de nitrógeno total por poda anual (kg N-total/árbol).



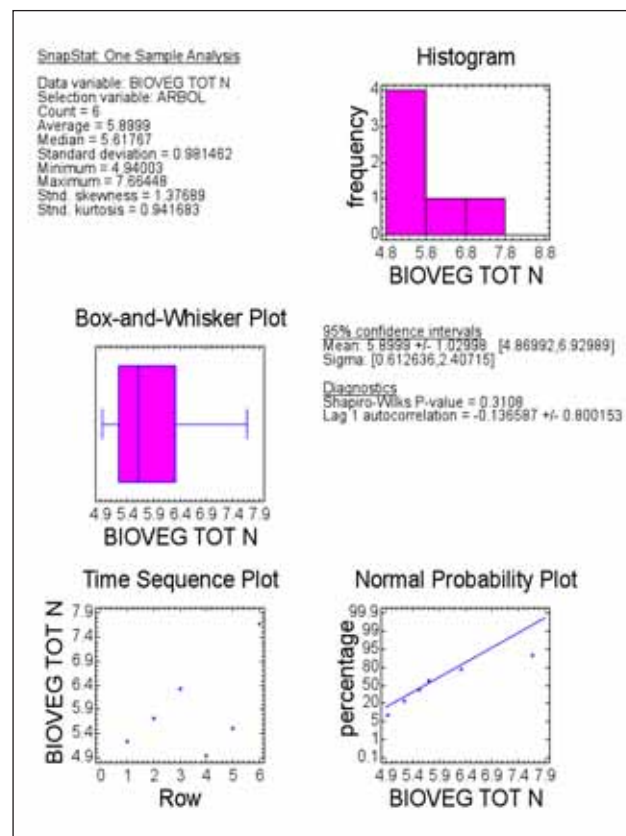
Información estadística muestreo extracciones de nitrógeno total por ramas (kg N-total/árbol).



Información estadística muestreo extracciones de nitrógeno total por troncos (kg N-total/árbol).

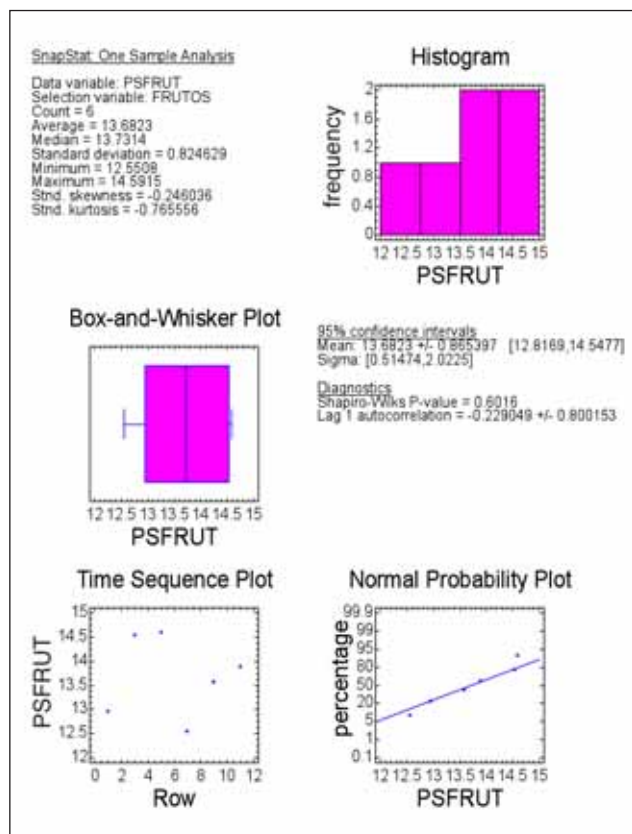


Información estadística muestreo extracciones de nitrógeno total por raíces (kg N-total/árbol).

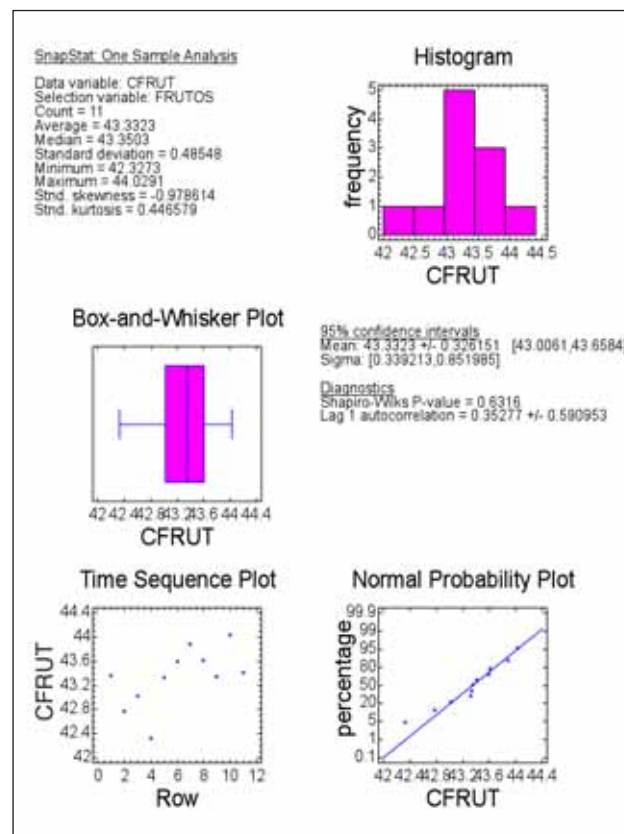


Información estadística muestreo extracciones de nitrógeno total por biomasa vegetativa total (kg N-total/árbol).

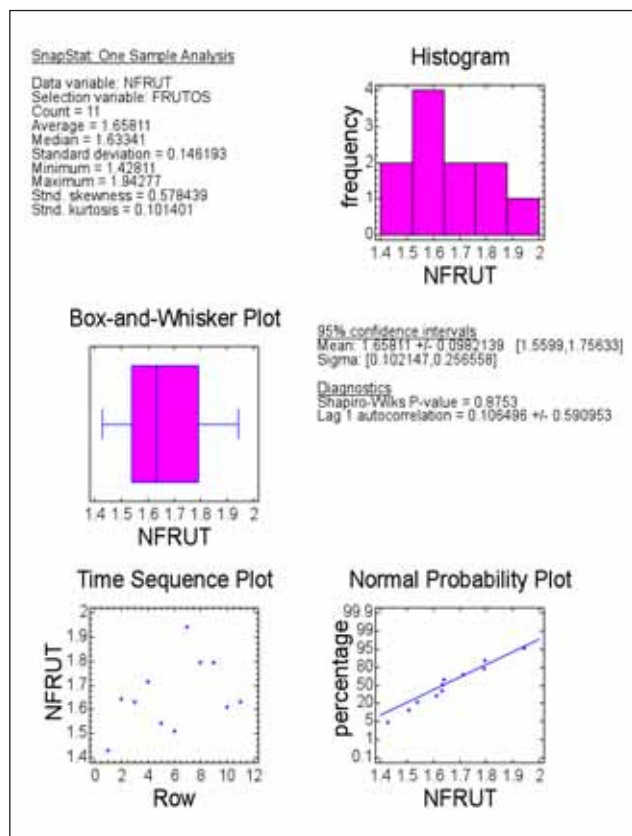
INFORMACIÓN SOBRE MELOCOTONERO



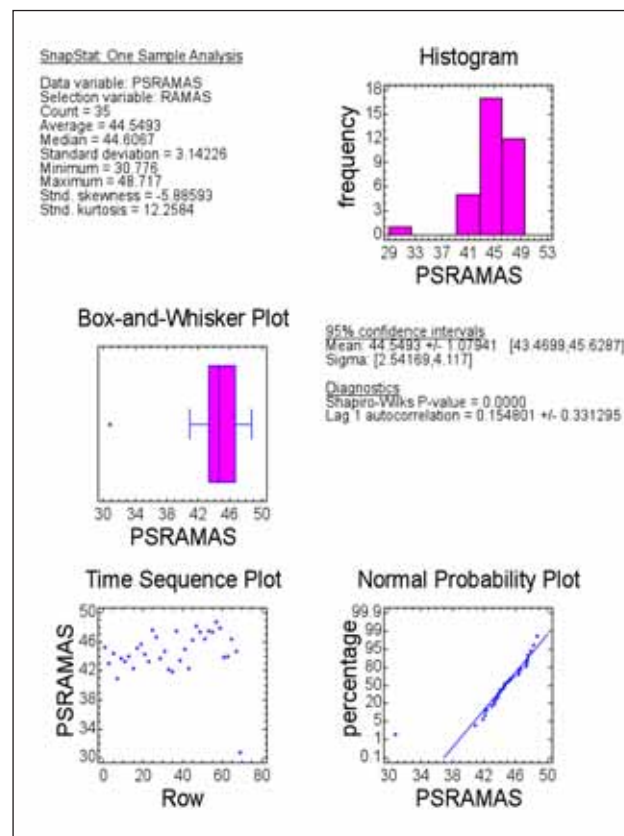
Información estadística muestreo datos del porcentaje en peso seco de los frutos de melocotonero.



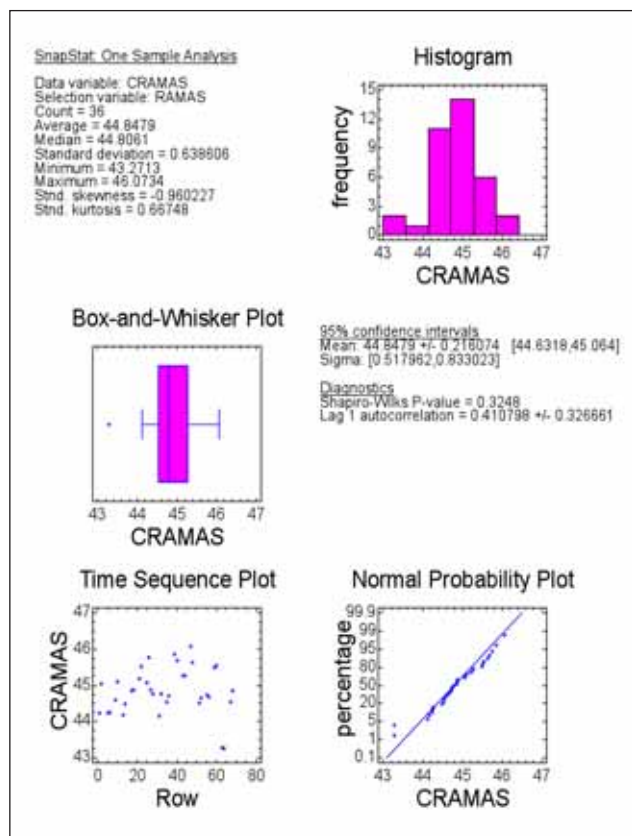
Información estadística muestreo datos del porcentaje de carbono de los frutos de melocotonero (sobre peso seco).



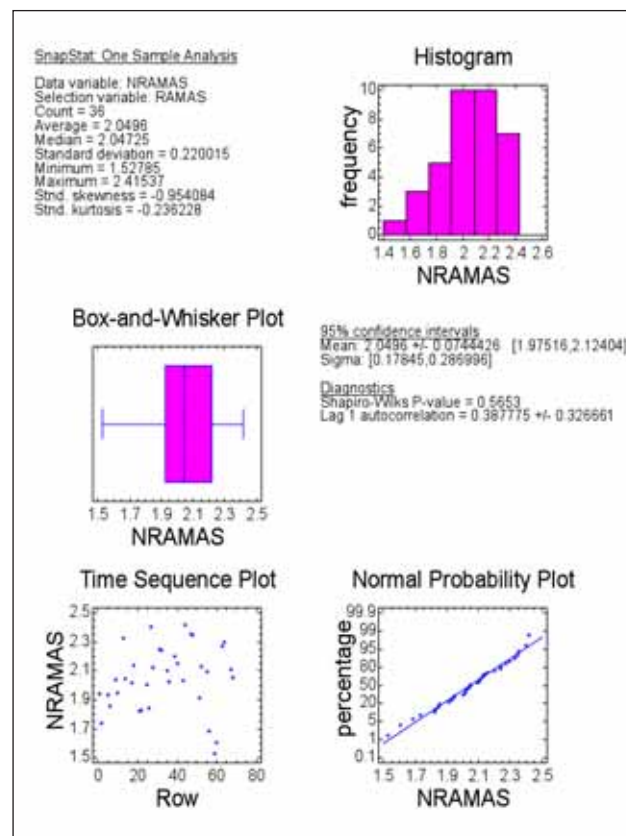
Información estadística muestreo datos del porcentaje de **nitrógeno** de los frutos de melocotonero (sobre peso seco).



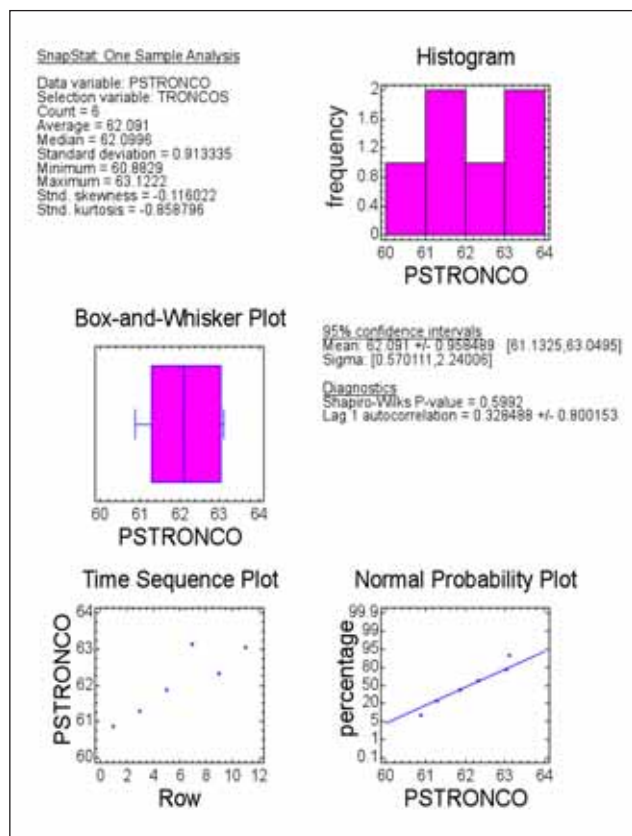
Información estadística muestreo datos del porcentaje en peso seco de las ramas de melocotonero.



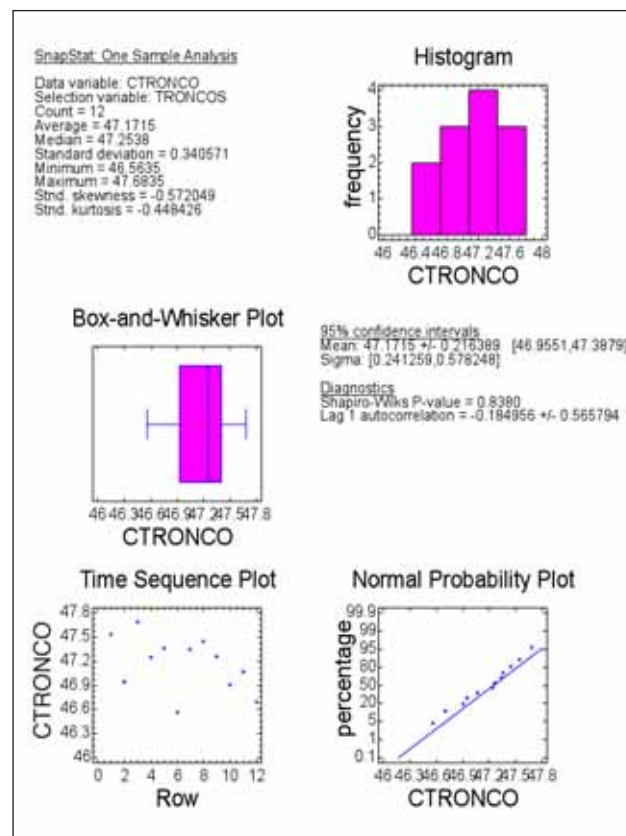
Información estadística muestreo datos del porcentaje en carbono de las ramas de melocotonero (sobre peso seco).



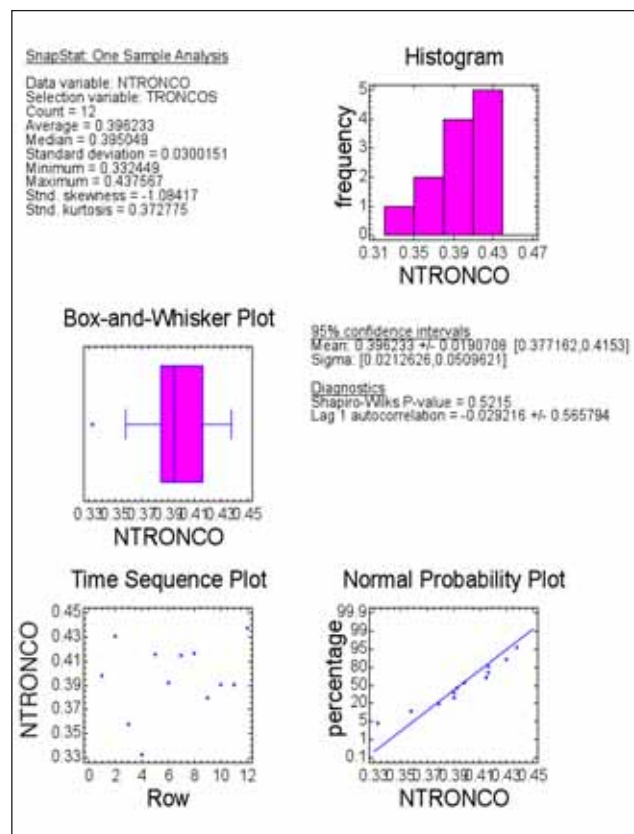
Información estadística muestreo datos del porcentaje en nitrógeno de las ramas de melocotonero (sobre peso seco).



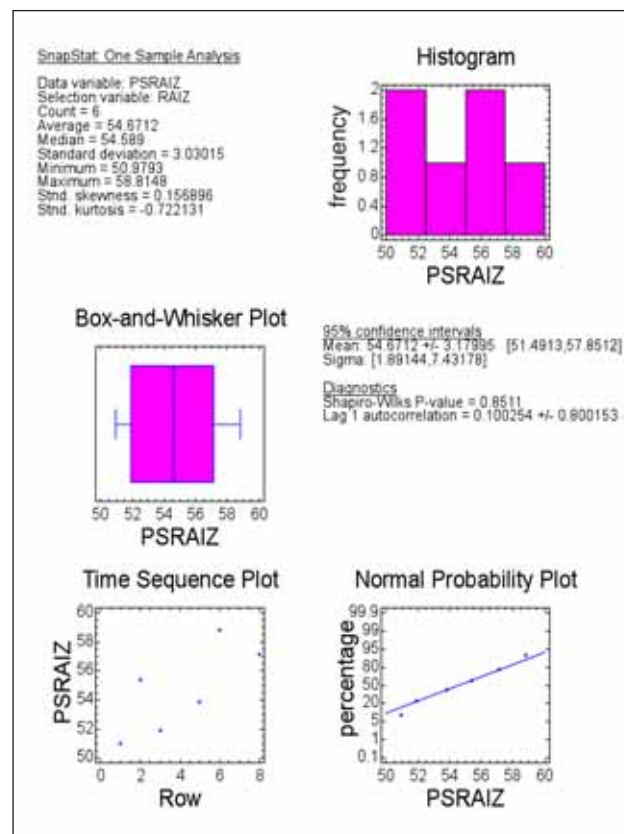
Información estadística muestreo datos del porcentaje en peso seco de troncos de melocotonero.



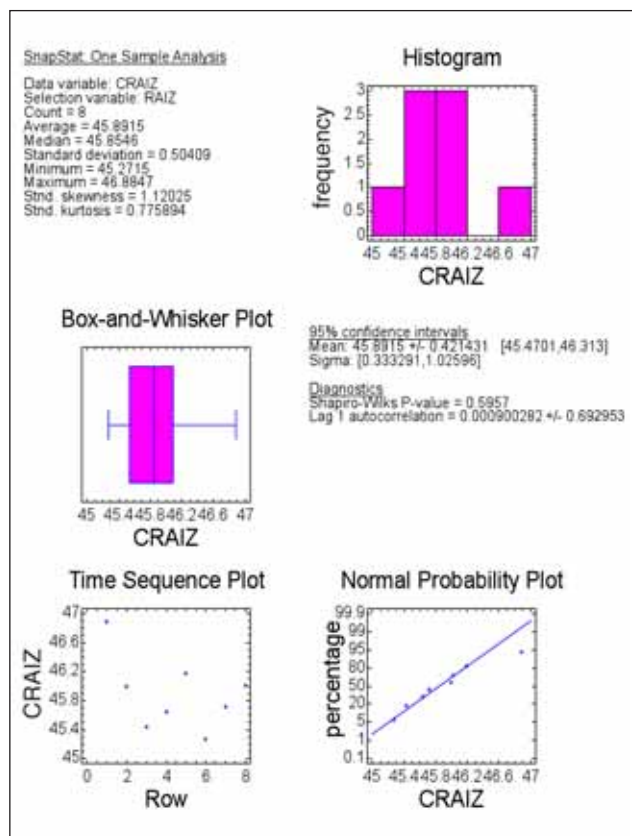
Información estadística muestreo datos del porcentaje en carbono de troncos de melocotonero (sobre peso seco).



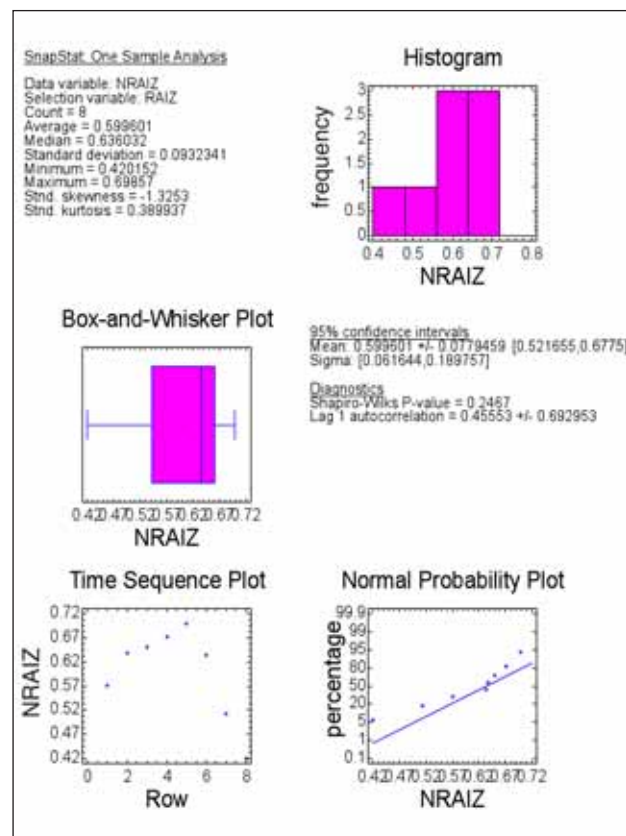
Información estadística muestreo datos del porcentaje en nitrógeno de troncos de melocotonero (sobre peso seco).



Información estadística muestreo datos del porcentaje en peso seco de las raíces de melocotonero.

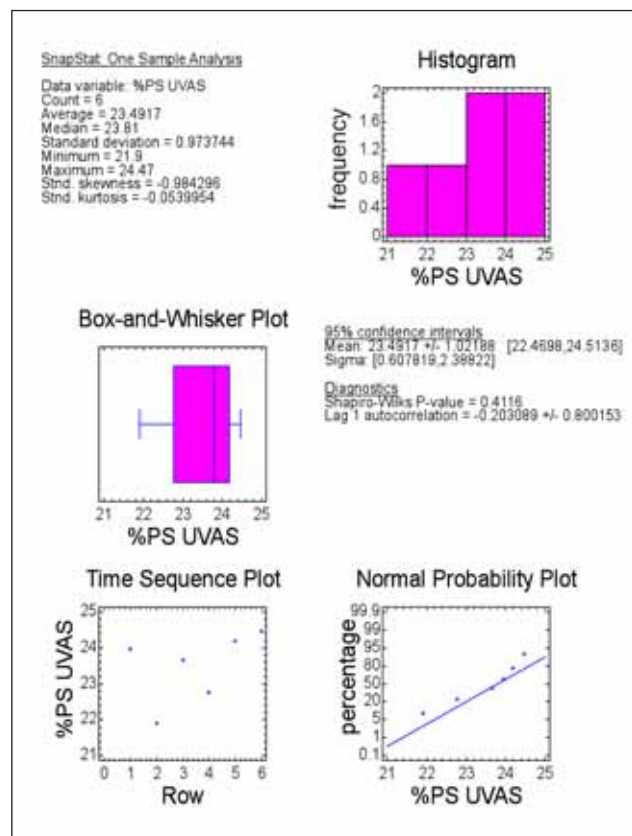


Información estadística muestreo datos del porcentaje en carbono de las raíces de melocotonero (sobre peso seco).

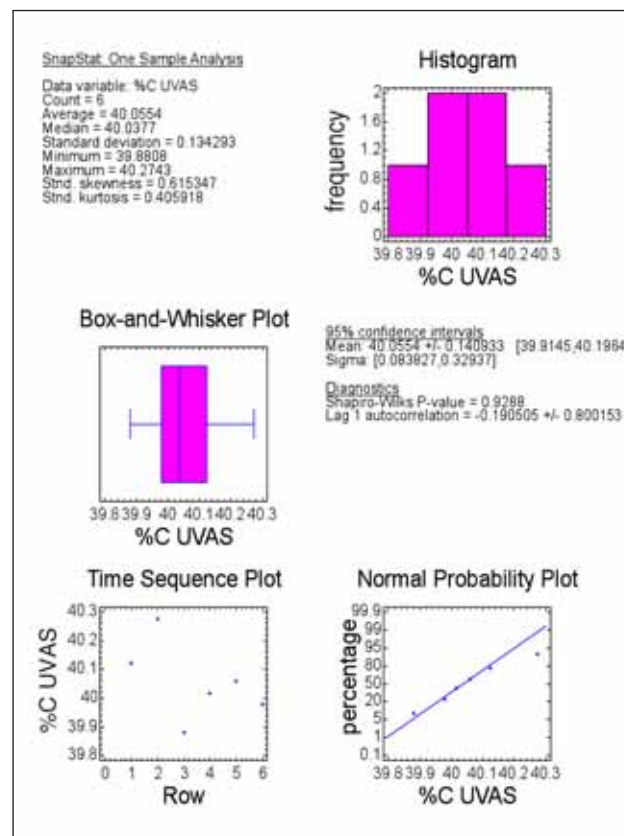


Información estadística muestreo datos del porcentaje en nitrógeno de las raíces de melocotonero (sobre peso seco).

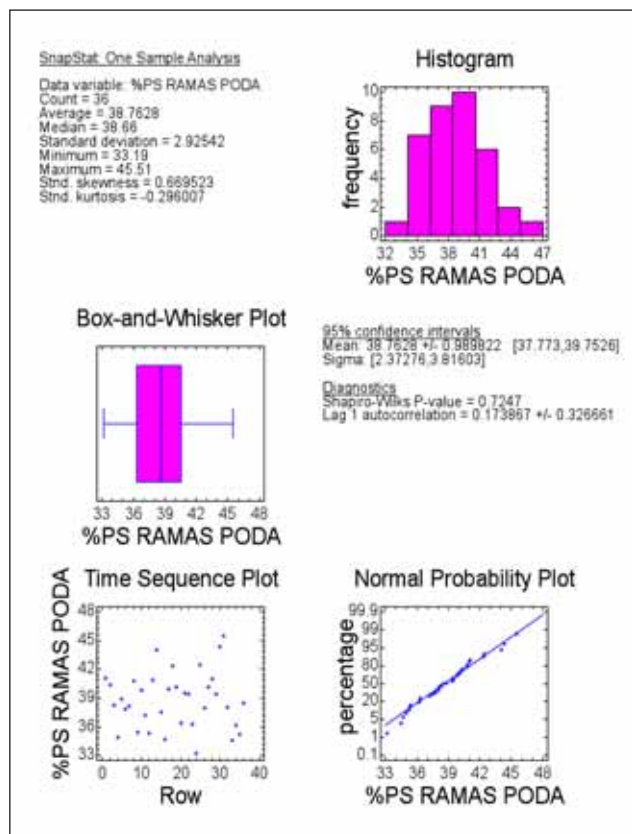
INFORMACIÓN SOBRE UVA DE MESA



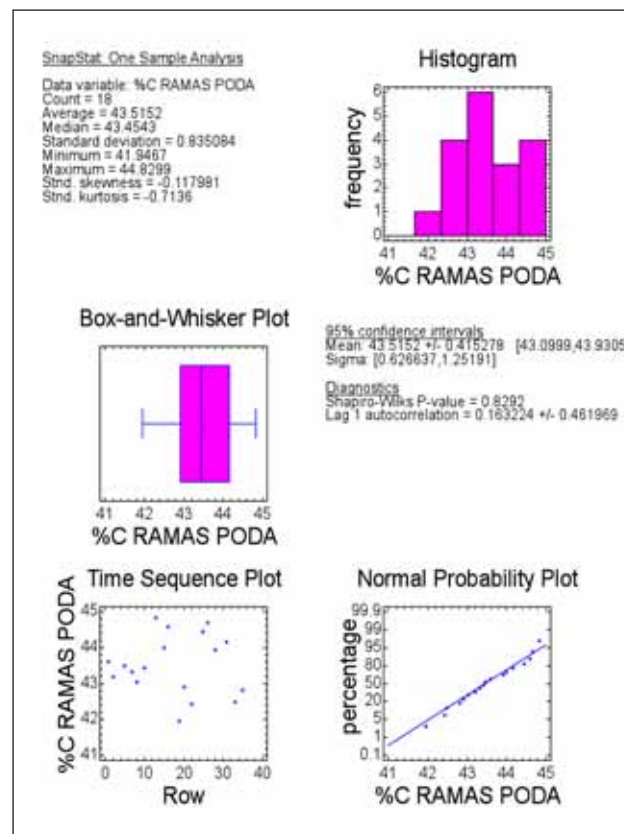
Información estadística datos del porcentaje en peso seco de uva de mesa (frutos).



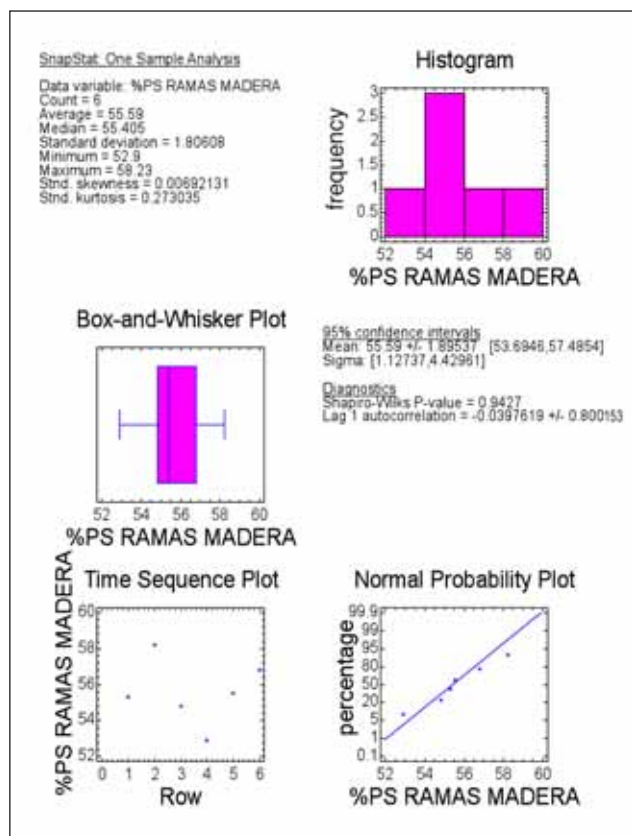
Información estadística muestreo del porcentaje de carbono de los frutos uva de mesa (sobre peso seco).



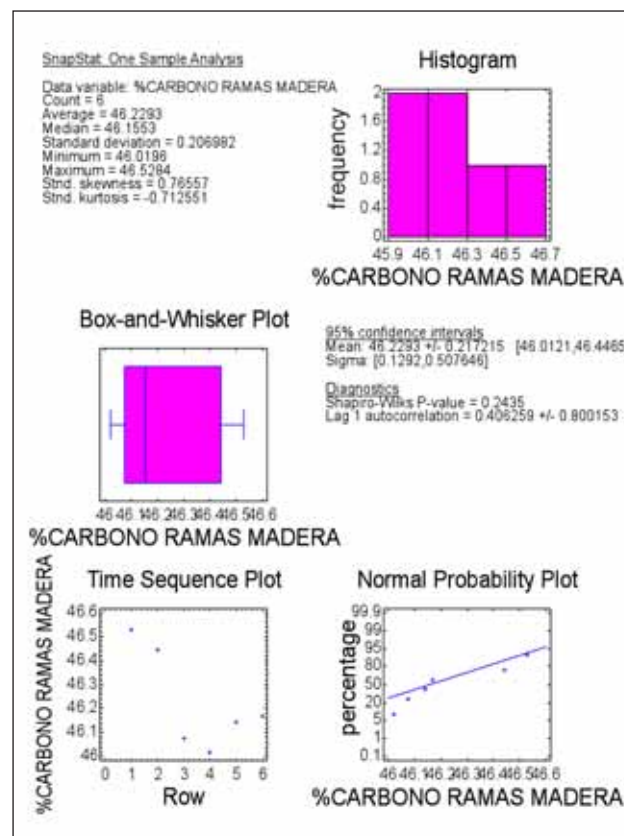
Información estadística datos del porcentaje en peso seco de las ramas de poda.



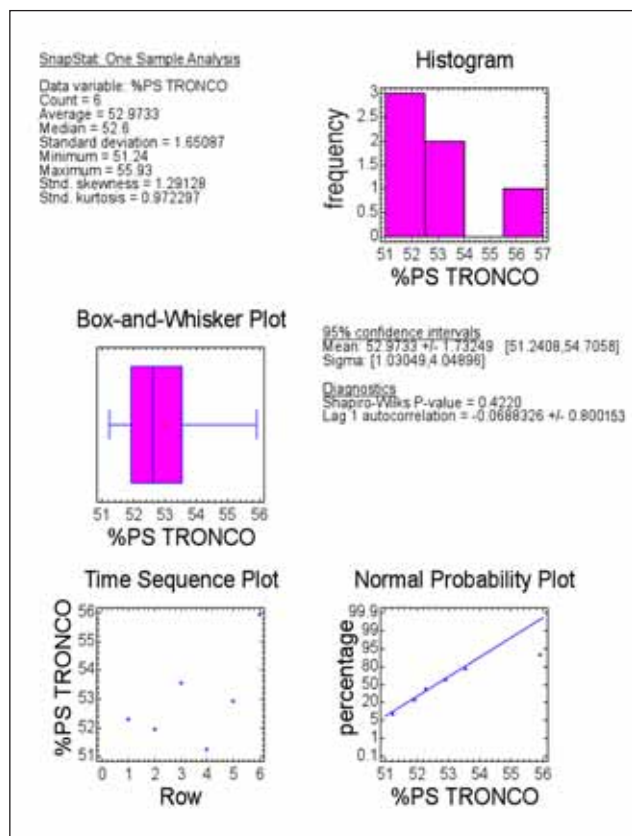
Información estadística muestreo datos del porcentaje en carbono de las ramas de poda.



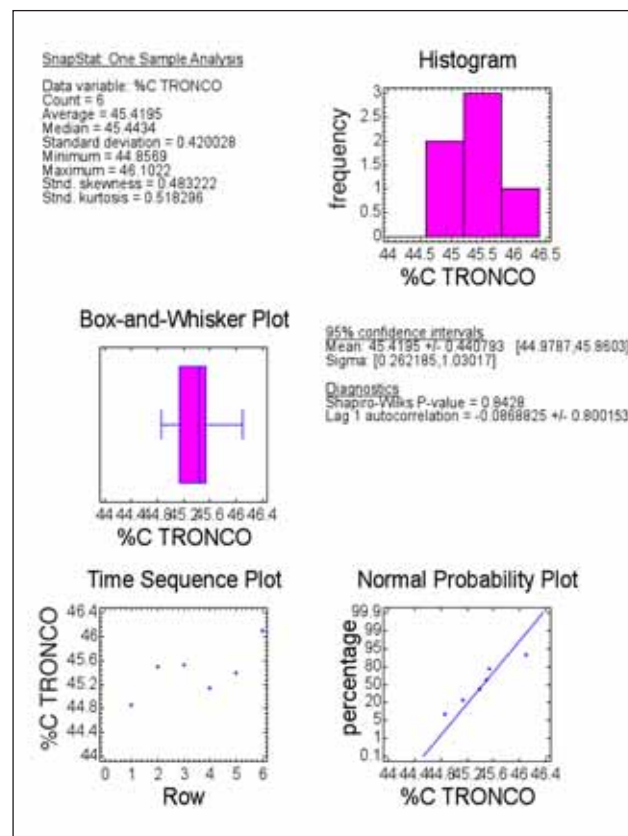
Información estadística muestreo datos del porcentaje en peso seco de ramas (no poda).



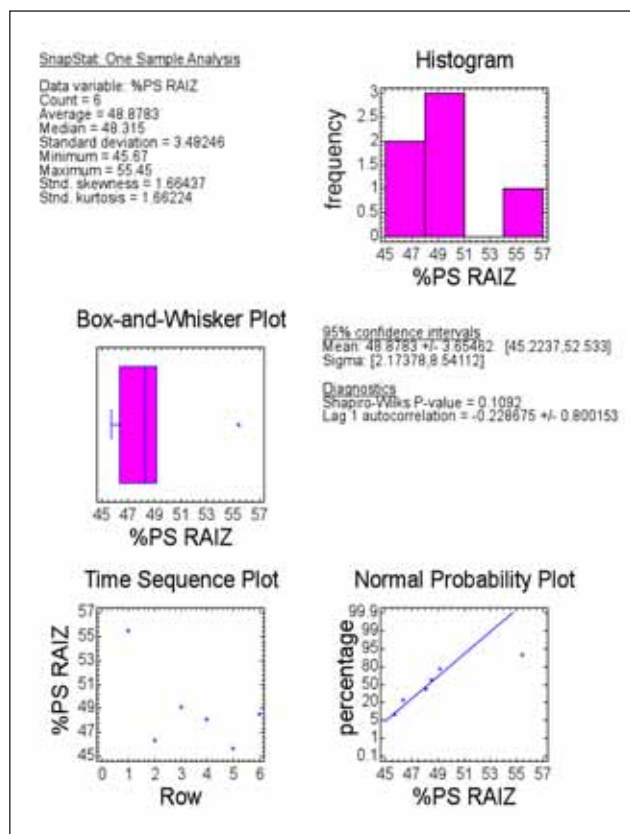
Información estadística datos del porcentaje en carbono de ramas no poda (sobre peso seco).



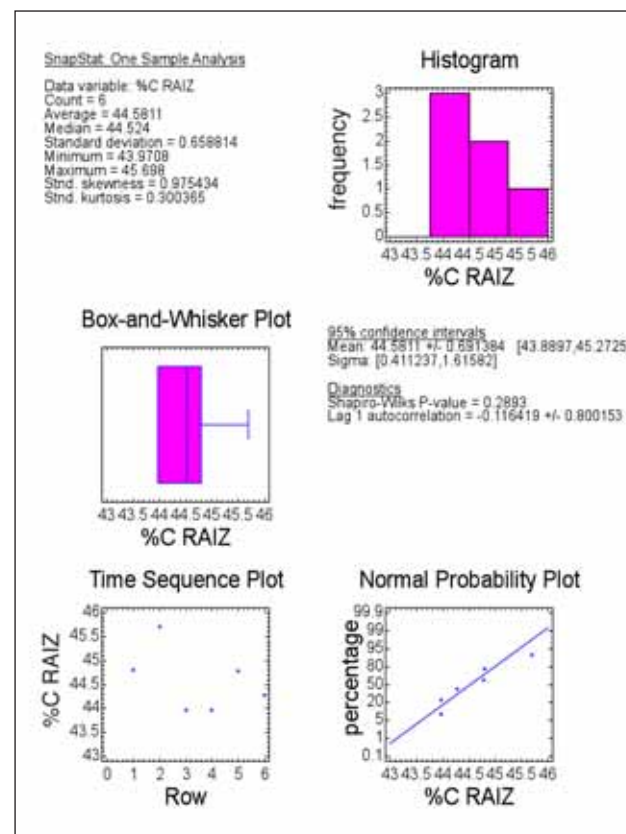
Información estadística muestreo datos del porcentaje en peso seco de troncos.



Información estadística datos del porcentaje en carbono de los troncos (sobre peso seco).

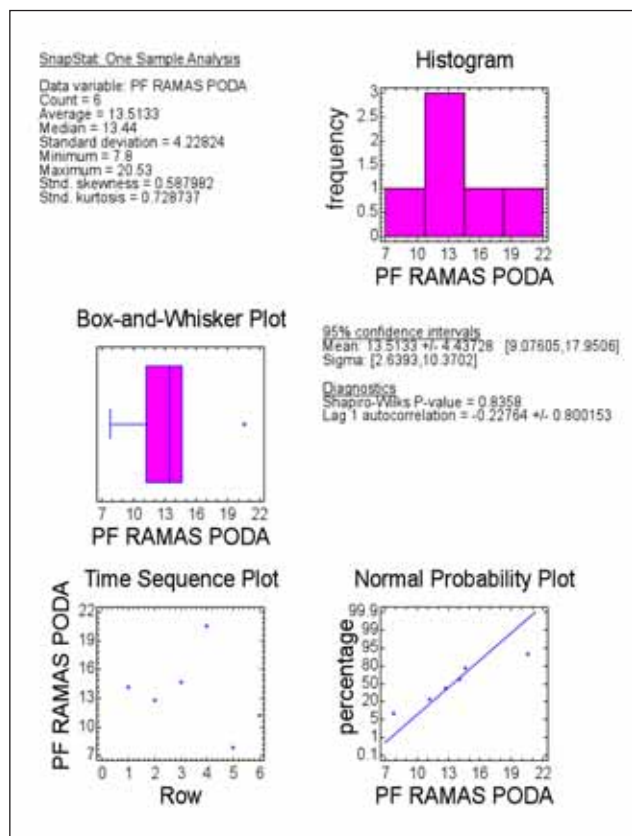


Información estadística datos del porcentaje en peso seco de las raíces.

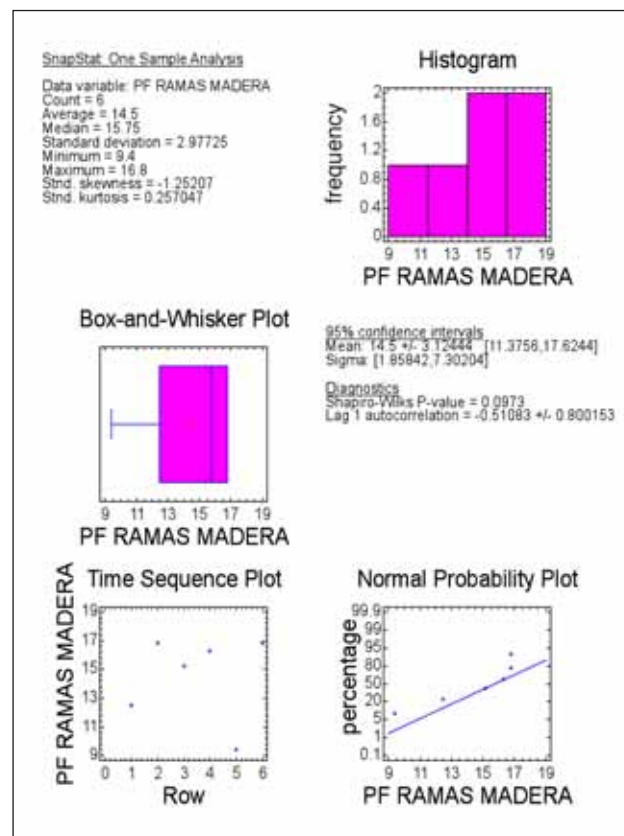


Información estadística muestreo datos del porcentaje en carbono de las raíces (sobre peso seco).

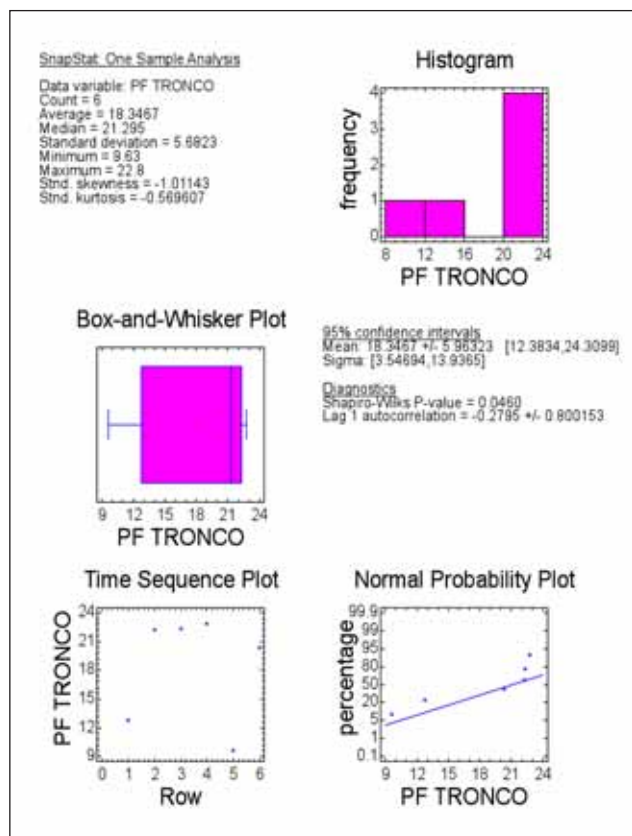
INFORMACIÓN SOBRE UVA DE MESA
DATOS BIOMASA Y EXTRACCIONES



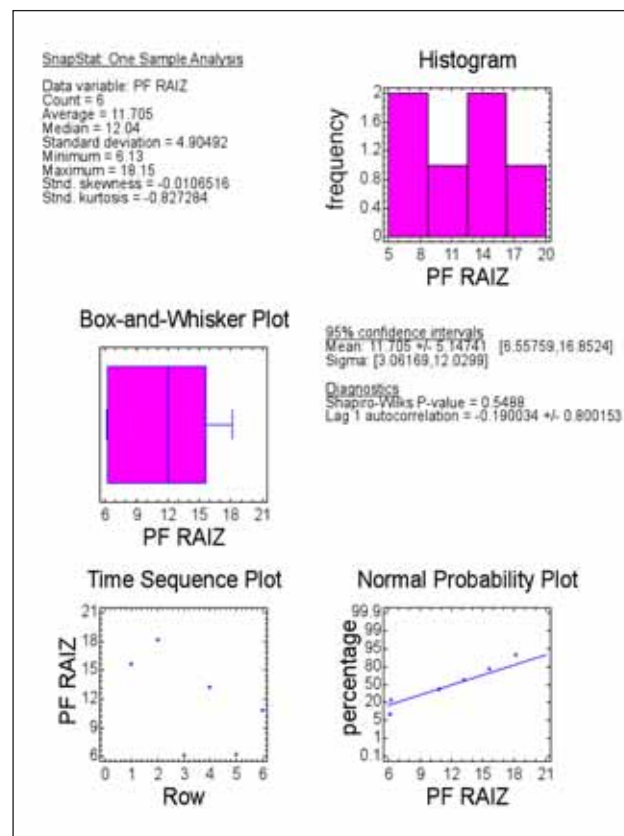
Información estadística datos biomasa ramas de poda anual (peso fresco) (kg).



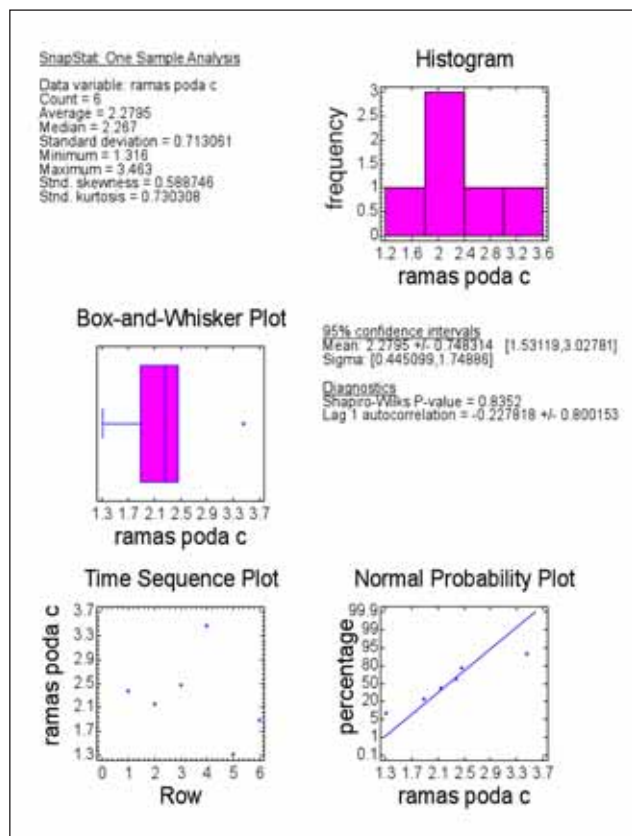
Información estadística muestreo peso fresco ramas (no poda) (kg).



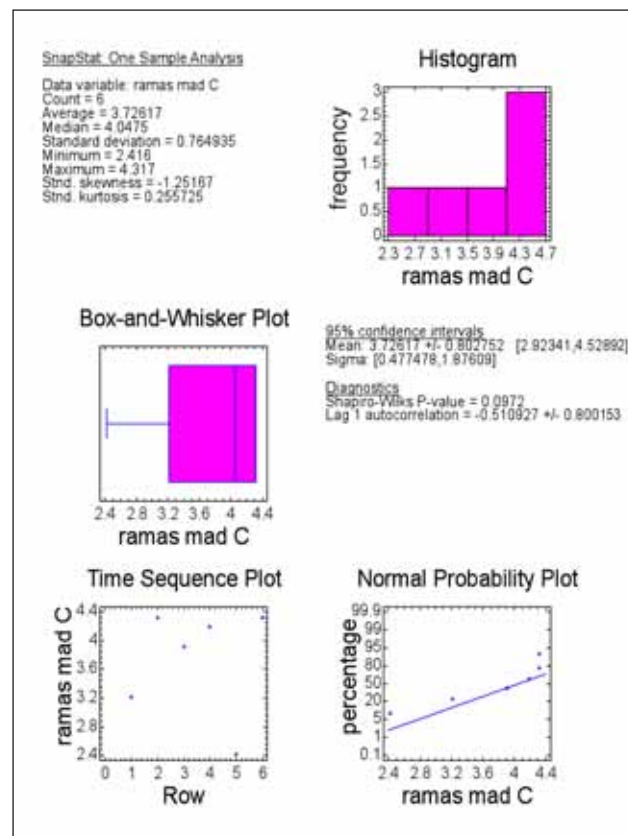
Información estadística datos del peso fresco troncos (kg).



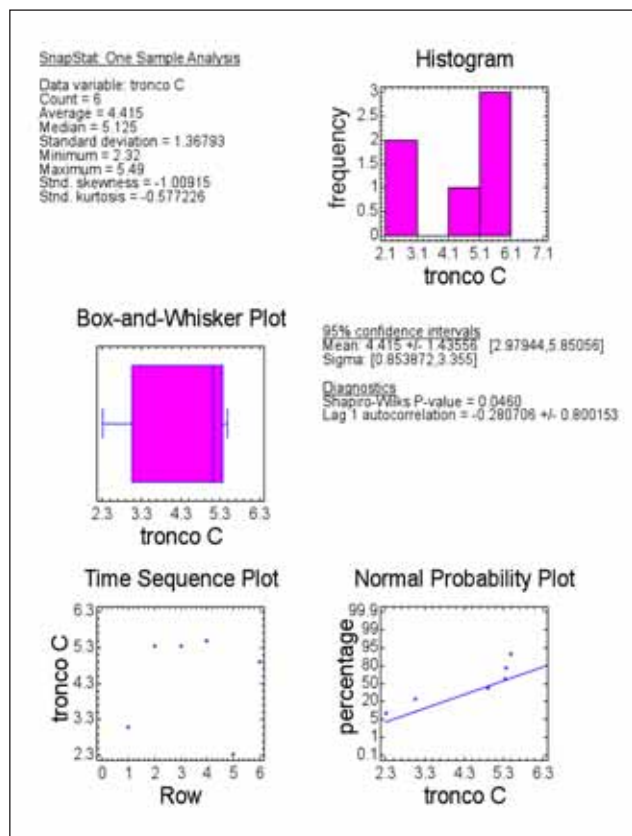
Información estadística muestreo datos peso fresco raíces (kg).



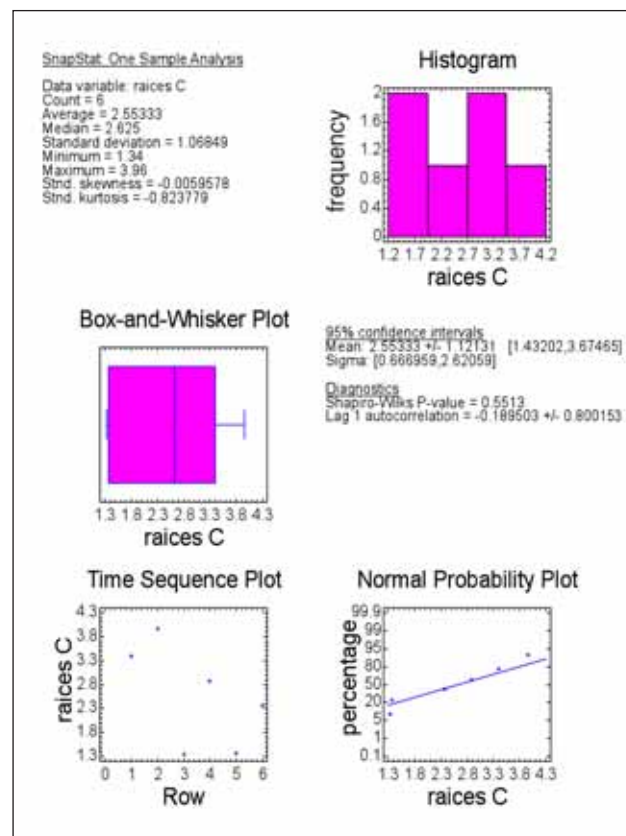
Información estadística extracciones C por poda anual (kg).



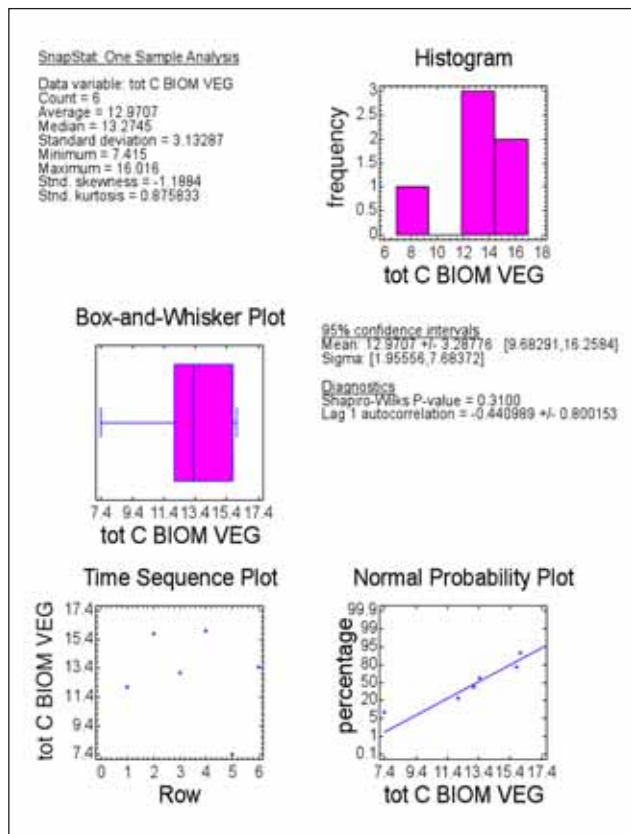
Información estadística extracciones c por ramas (no poda) (kg).



Información estadística extracciones C por troncos (kg).



Información estadística extracciones C por raíces (kg).



Información estadística extracciones C por planta (biomasa vegetativa) (kg).

3.3. DINÁMICA DE CAPTACIÓN DE CO₂ POR CULTIVOS DE NARANJO EN LA REGIÓN DE MURCIA

Alain Baille*, Bernardo Martín, Pedro Nortes, María M. González-Real, Gregorio Egea

**Director y coordinador del proyecto. Universidad Politécnica de Cartagena*

RESUMEN

Este estudio aborda la caracterización de la dinámica de captación neta de CO₂ y la evaluación del potencial de sumidero de CO₂ de sistemas de producción frutícola (cultivos de naranjo) en la Región de Murcia. El intercambio neto de CO₂ del ecosistema (INE) se ha medido in situ, durante el periodo julio-diciembre 2009, por medio del método de covarianza de remolinos en dos fincas de naranjo. El INE representa el flujo neto de CO₂ captado o emitido por un ecosistema, incluyendo la contribución del suelo. Nuestros resultados indican que:

(i) Las explotaciones de cítricos en la Región de Murcia tienen un elevado potencial de sumidero de CO₂ atmosférico, similar o superior en magnitud al de bosques de regiones templadas.

(ii) A escala mensual, los dos agrosistemas estudiados (naranjos adultos de 30 años y naranjos jóvenes de 5 años) se comportan como sumidero de CO₂ en todos los meses del periodo analizado, siendo la captación máxima en julio y mínima en diciembre. El vergel adulto es el sumidero más activo (+ 40% con respecto al vergel joven).

(iii) El riego en periodo de verano y las condiciones climáticas favorables el resto del año son los dos factores que explican el potencial elevado de captación de CO₂ por los cultivos de cítricos en la Región de Murcia.

SUMMARY

The present study deals with the characterisation of the dynamics of net CO₂ uptake and the evaluation of the carbon sink potential of citrus orchards (orange trees) in the Murcia Region. During the period July-Dec 2009, in situ measurements of the Net Ecosystem Exchange (NEE) of two orange orchards were performed by means of the eddy-covariance method. NEE represents the net CO₂ flux absorbed or emitted by the ecosystem, including the contribution of soil exchanges. Our results indicate that:

(i) Citrus orchards in the Murcia Region have a high sink potential in what refers to atmospheric CO₂, comparable in magnitude to that of temperate forests.

(ii) On a monthly scale, the two studied orchards (30-year old and 5-year old trees plantation, respectively) behave as C sink for all the months of the observation period, with a maximum in July and a minimum in December. The adult plantation is the most active sink (+ 40% with respect to the young plantation)

(iii) Irrigation (in summer) and favourable climatic conditions during the rest of the year are the two main factors explaining the high level of CO₂ uptake by citrus orchards in the Murcia Region.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTO Y OBJETIVO DEL ESTUDIO

El ciclo del carbono es la combinación de múltiples procesos físicos, químicos y biológicos que transfieren el carbono entre los principales almacenes de la biosfera: la atmósfera, la vegetación, los suelos, los sistemas acuáticos, los océanos y los sedimentos geológicos. A lo largo del último siglo, las actividades humanas y el creciente uso de energías fósiles han alterado profundamente este ciclo. La preocupación actual acerca del impacto de las emisiones antropogénicas de gases a efecto invernadero -en particular el CO₂- sobre el clima y el ciclo del carbono ha resultado en varias propuestas y esfuerzos para, a largo plazo, reducir la concentración del CO₂ atmosférico. Una de estas propuestas es incrementar el potencial de captación y de secuestro de CO₂ por la vegetación y el suelo, es decir, por los ecosistemas terrestres, sean naturales o con finalidad productiva (agrosistemas).

Queda aún por cuantificar el potencial y la eficacia real de estas medidas de eliminación de gases de efecto invernadero, puesto que las cubiertas vegetales, además de representar un almacén más o menos importante de CO₂, actúan a la vez como ‘sumidero’ vía la fotosíntesis y como ‘fuente’ de CO₂ atmosférico, vía la respiración, ya sea autótrofa (vegetación) o heterótrofa (la que resulta de la actividad de microorganismos en la descomposición de la materia orgánica del suelo o humus). Dentro de este contexto global, el papel de la agricultura en el balance y en el ciclo de carbono puede ser relevante. A la hora de diseñar estrategias y sistemas de producción agrícola que contribuyan a la mitigación de los efectos del cambio climático, es necesario disponer de los elementos siguientes:

(i) conocer los factores bióticos y abióticos que controlan el ciclo del carbono en los principales sistemas de producción agrícola y

(ii) cuantificar y evaluar el potencial de sumidero de estos sistemas.

Estos conocimientos y métodos de evaluación permitirán proponer prácticas culturales sostenibles que conlleven el mejor compromiso entre capacidad de sumidero de CO₂ (beneficios medioambientales) y productividad de los cultivos (beneficios para el agricultor), que son dos componentes de la agricultura sostenible.

El presente estudio, llevado a cabo por la UPCT (Área de Ingeniería Agroforestal) en el marco de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ de la CARM aborda la caracterización de la dinámica de captación *net*a de CO₂ y la evaluación del potencial de sumidero de sistemas de producción frutícola (cultivos de naranjo). Constituye una etapa básica para mejorar nuestra comprensión del ciclo del carbono en estos sistemas de producción, de gran importancia económica en la Región murciana.

1.2. DEFINICIONES

Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos en este estudio, se presenta en lo que sigue las definiciones de los principales términos utilizados para caracterizar los procesos y factores involucrados en el ciclo de carbono. Estas definiciones son las propuestas por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (GECC. 2003).

Almacén (sinónimos: depósito, reserva). Componente de la biosfera, excluida la atmósfera, que tiene la capacidad de almacenar, acumular o liberar CO₂. Los océanos, los suelos y la vegetación son ejemplos de almacenes de carbono.

Autótrofo. Organismo que no depende de fuentes externas de carbono orgánico (compuestos) para aprovisionarse de sus propios componentes orgánicos, que puede

fabricar totalmente a partir de materia inorgánica. Los vegetales son autótrofos (fotoautótrofos, es decir, utilizan la energía solar para producir compuestos de carbono orgánico a partir de carbono inorgánico y agua, en el proceso de fotosíntesis).

Ciclo del carbono. Término empleado para describir la circulación del carbono (en diversas formas, p. e., como dióxido de carbono) en la atmósfera, los océanos, la biosfera terrestre y la litosfera.

Eco(Agro)sistema. Sistema de organismos vivos que interactúan entre sí y con su entorno físico, que también es parte del sistema. Los límites de un ecosistema son algo arbitrarios y dependen del tema de interés o del objeto principal del estudio.

Flujo de carbono. Transferencia de carbono de una reserva de carbono a otra, en unidades de medición de masa por unidad de superficie y tiempo (p.e., t ha⁻¹ año⁻¹).

Fuente de CO₂. Cualquier proceso, actividad o mecanismo que libera CO₂ en la atmósfera.

Intercambio neto de CO₂ del ecosistema (F_{CO2}). Representa el flujo neto de CO₂ captado o emitido por un ecosistema. Se expresa en unidad de masa (g, mole...) por unidad de tiempo y de superficie.

Producción neta del bioma (PNB). Ganancia o pérdida neta de carbono de una región. La PNB es igual a la producción neta del ecosistema menos el carbono perdido a causa de una perturbación (p. e., poda, cosecha, quema de residuos, incendio forestal).

Producción neta del ecosistema (PNE). Ganancia o pérdida neta de carbono de un ecosistema. La PNE es igual

a la producción primaria neta menos el carbono perdido en el proceso de respiración heterotrófica (RH). Por convención, la PNE es positiva cuando hay ganancia de carbono en el ecosistema, y negativa si hay pérdidas.

Producción primaria neta (PPN). Aumento de la biomasa vegetal o del carbono en la vegetación. La PPN es igual a la producción primaria bruta menos el carbono perdido por respiración autotrófica (RA).

Producción primaria bruta (PPB). Cantidad total de carbono fijado desde la atmósfera en el proceso de fotosíntesis.

Respiración. Proceso por el cual los organismos vivos convierten materia orgánica en dióxido de carbono, liberando energía y consumiendo oxígeno.

Respiración autotrófica (RA). Liberación de CO₂ como producto de la respiración de la vegetación (respiración de mantenimiento + respiración de crecimiento).

Respiración heterotrófica. Liberación de CO₂ como producto de la descomposición de materia orgánica.

Respiración del ecosistema (RE). Es la suma de la respiración autotrófica (RA) y de la heterotrófica (RH).

Secuestro de carbono. Proceso de aumento del contenido de carbono en un almacén de carbono.

Sumidero de carbono. Cualquier proceso, actividad o mecanismo que elimine de la atmósfera el CO₂.

1.3. RELACIONES ENTRE LOS DIFERENTES FLUJOS DE CO₂

La Figura 1 representa los flujos primarios (PPB, RA y RH) a considerar en el balance de CO₂ de un ecosistema. La Figura 2 detalla los diferentes componentes de la asimilación de CO₂ (fotosíntesis) y de la respiración, involucrados en el balance de CO₂.

En este estudio, se ha medido el Intercambio neto de CO₂ del ecosistema (F_{CO2}), que representa el flujo de CO₂ ganado (= sumidero) o emitido (= fuente) por el ecosistema en un intervalo dado de tiempo (hora, día...). F_{CO2} es equi-



Figura 1. Los diferentes flujos involucrados en el ciclo de carbono entre vegetación, suelo y atmósfera. La ganancia (o pérdida) de CO₂ del ecosistema es igual a la diferencia entre fotosíntesis bruta (equivalente a la producción primaria bruta, PPB), la respiración autotrófica (parte aérea + raíces, RA) y la respiración heterotrófica (respiración microbiana + descomposición de residuos vegetales, R_H).

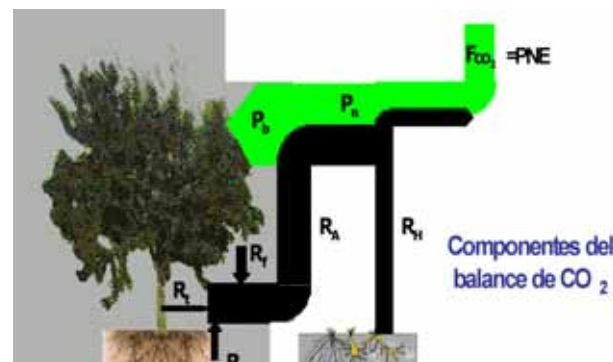


Figura 2. Los diferentes componentes del balance de CO₂:

- P_b = asimilación bruta de CO₂ (= fotosíntesis bruta)
- P_n = asimilación neta de CO₂ (=P_b - R_A)
- R_A = respiración autotrófica = suma respiración follaje (R_r) + tronco (R_t) + raíces (R_r)
- R_H = respiración heterotrófica
- R_E = respiración del ecosistema (= R_A + R_H)
- F_{CO2} = intercambio neto del ecosistema = P_b - R_E = P_n - R_H

valente a la **producción neta del ecosistema (PNE)**, que representa la diferencia entre la producción primaria neta (PPN) y la respiración heterotrófica (R_H):

$$F_{CO_2} = PNE = PPN - R_H$$

Esta relación implica que, a partir de medidas de F_{CO2} y una estimación plausible de R_H, se puede obtener un seguimiento de la PPN, que caracteriza el aumento de biomasa vegetal del ecosistema en un determinado periodo de tiempo. Cabe recordar que PPN constituye una propiedad básica del funcionamiento a largo plazo de un ecosistema. Hoy en día, se utilizan estimaciones de PPN (in situ o con datos de teledetección) como indicador de productividad en aplicaciones relacionadas con la evaluación y la

gestión de los recursos naturales. Nótese que PPN se expresa generalmente en unidad de biomasa (materia seca) por unidad de tiempo y de superficie. Se puede pasar a cantidad equivalente de carbono, considerando que 1 g de material seco contiene aproximadamente 0,5 g de carbono para especies leñosas y 0,45 g C para especies herbáceas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. SITIOS EXPERIMENTALES

Los equipos de medida de flujo de CO₂ se instalaron en dos fincas de naranjos de Pozo Estrecho, Murcia. Las dos fincas, llanas y de gran extensión (> 15 ha), tienen las dimensiones requeridas para utilizar el método de covarianza de remolinos (y en particular, cumplir las condiciones de *fetch*, ver apartado 2.2). Las plantaciones difieren por la edad de los árboles, su índice foliar y el marco de plantación (Figura 3).

- Finca A (naranjos adultos, vistas 1 y 2), de 16 ha de extensión, con naranjos de ~ 30 años de edad (variedad Navelate, sobre porta injerto Cleopatra), 3 a 3,5 m de altura y marco de plantación de 6 x 4 m. Riego por goteo.
- Finca J (naranjos jóvenes, vista 3) de 37 ha de superficie, con árboles jóvenes de 5 años (variedad Navel Powell, sobre porta injerto Carrizo), de 1,5 a 2 m de altura, con marco de plantación de 4,5 x 3 m. Riego por goteo.

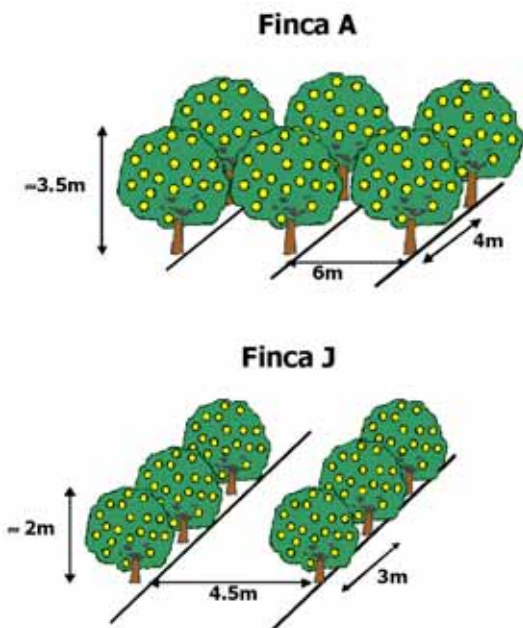
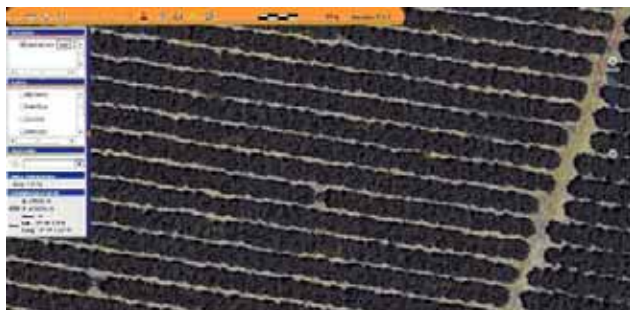


Figura 3. Marco de plantación y dimensiones de los árboles en la finca de naranjos adultos (finca A) y en la de naranjos jóvenes (finca J).



Vista 1. Vista aérea de la parcela estudiada en la finca A (naranjos adultos).



Vista 2. Vista de la finca A (naranjos adultos) tomada a nivel de la torre de medida.



Vista 3. Vista aérea de la parcela estudiada en la finca J (naranjos jóvenes).

2.2. MÉTODO DE MEDIDAS DE FLUJO

2.2.1. MEDIDA DEL INTERCAMBIO NETO DE CO₂ POR LA TÉCNICA DE COVARIANZA DE REMOLINOS

La medida directa del flujo de CO₂ con el método de covarianza de remolinos (*eddy covariance flux-method*) se basa en la relación:

$$F_{CO_2} = \rho \overline{w'c'}$$

donde w' y c' representan respectivamente las fluctuaciones de velocidad vertical y de concentración de CO₂, y ρ es la densidad del aire. En la práctica, F_{CO_2} se determina midiendo las fluctuaciones w' y c' (Figura 4) 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. Si bien la base teórica de este método no es complicada, los requisitos o la instrumentación requeridos son bastante estrictos. Por ejemplo, para las mediciones a pocos metros sobre el nivel del suelo, el límite superior de frecuencia debe ser al menos del orden de 5-10 Hz. Esto explica que, solamente en los últimos años, se hayan logrado progresos suficientes en el desarrollo de instrumentación adecuada (anemómetros sónicos, analizadores de gases a respuesta rápida) y disponible a nivel comercial. Además, los puntos de medida deben tomarse dentro de la capa límite superficial que se desarrolla sobre la superficie del cultivo. Para respetar el *fetch* (= distancia desde la torre hasta el borde de la superficie homogénea), las parcelas deben ser de grandes dimensiones (> 10 ha).

La huella (*footprint*) corresponde al área de la parcela que influencia directamente la medida de flujo, es decir, es la superficie de vegetación-suelo que contribuye a la mayor parte (> 90%) del flujo medido (Figura 5). En nuestro

caso, la huella, calculada a partir de la relación $= \pi (Z_{\text{torre-Zvegetación}})^2$, es del orden de 12 ha.

Es importante subrayar que el flujo de CO₂ medido por estas instalaciones incluye la contribución de la **vegetación más la del suelo**. En términos científicos, se habla del Intercambio Neto de CO₂ del Ecosistema, expresado en unidad de peso (g, kg, tonelada de CO₂) por unidad de superficie (m², ha, km²) y de tiempo (segunda, hora, día, mes, año). En inglés, se conoce como Net Ecosystem Exchange (NEE). En lo que sigue, se utiliza la notación FCO₂ para referirse al intercambio neto. La unidad utilizada es el mg_{CO2} m⁻² s⁻¹ para medidas a corto intervalo de tiempo (media hora) y el kg_{CO2} ha⁻¹ día⁻¹ para los valores diarios.

En la parcela A (árboles adultos), el equipo de medida se colocó a 4,5 m de altura del suelo (1,5 m por encima de la copa, Vistas 4 y 5). En la parcela J (árboles jóvenes), un segundo equipo de medidas se instaló a 3 m de altura (a 1,5 m por encima de la copa, Vista 6).

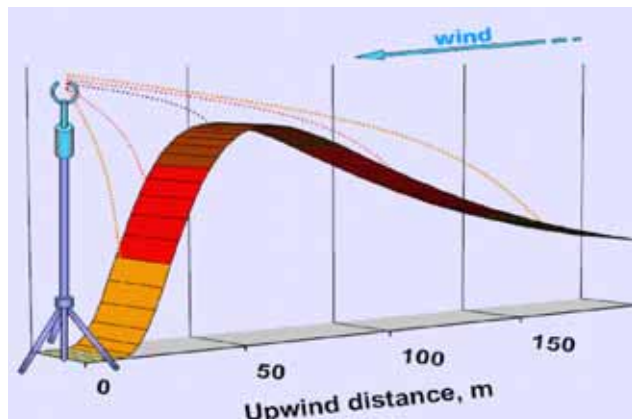


Figura 5. Esquema representando la huella del flujo, es decir el área de terreno que influencia directamente la medida de flujo de CO₂.

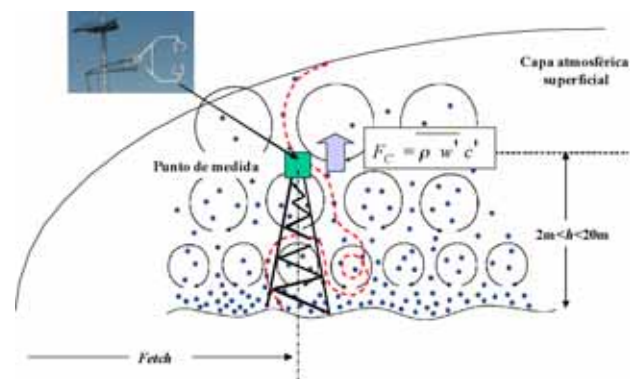


Figura 4. Principio del método de covarianza de remolinos. Se miden las fluctuaciones de velocidad vertical (w') y de concentración de CO₂ (c') inducidas por remolinos turbulentos, y se calcula la covarianza cruzada $\rho w' c'$, que es igual al flujo de CO₂, F_c . La medida debe llevarse a cabo dentro de la capa límite superficial, en una zona suficientemente alejada del borde de ataque. Si h es la altura de las medidas, se debe respetar un valor de *fetch* del orden de 50 a 100 veces el valor de h .



Vista 4. Equipo de *eddy-covariance* (anemómetro sónico, analizador de gases) para la medida del flujo de CO₂ en la finca A (naranjos adultos).



Vista 5. Instalación de los equipos de medida en la finca A (naranjos adultos).



Vista 6. Sistema de medida de flujo de CO₂ por correlación de remolinos, instalado en la finca J (árboles jóvenes).

2.2. MEDIDAS COMPLEMENTARIAS

Respiración del suelo

A partir de agosto 2009 se han llevado a cabo medidas de tasa de emisión de CO₂ del suelo (Rs) en las dos parcelas experimentales. Se midió con un sistema portátil de medida de intercambios gaseosos CIRAS 2[®] (PP Systems, Hitchin, Hertfordshire, UK) (Vista 7), 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 cm² y un volumen de 1.170 cm³ (Vista 8), que mide en sistema cerrado.

Estado hídrico del suelo

El contenido volumétrico de agua en el suelo fue evaluado a partir de sensores TDR, reflectometría en el dominio del tiempo (Moisture Point, mod. MP-917) (Vista 8) utilizando varillas de 30 cm de longitud.



Vista 7. Medidor portátil de intercambios gaseosos CIRAS 2[®].



Vista 8. Cámara de medida de respiración del suelo.



Vista 10. Medidor de temperatura de suelo.



Vista 9. Equipo TDR.

Temperatura de suelo

Se midió la temperatura de suelo usando una sonda Pt-100 portátil (Selvise Pro TT) (Vista 10).

Se establecieron tres puntos de medida, i) bulbo húmedo, ii) zona intermedia entre bulbos y iii) zona seca correspondiente a la mitad de la calle. Las tres puntos de medida tienen unas dimensiones de aproximadamente 1 m² y en cada uno de ellos se realizaron dos medidas de todos los parámetros anteriormente definidos, por lo que en total se tomaron 6 puntos de muestreo (n=6).

3. RESULTADOS

3.1. EVOLUCIÓN DIARIA DE F_{CO2}

(a) Periodo estival

La Figura 6 muestra la evolución del flujo neto de CO₂, F_{CO2}, para un día soleado del mes de julio 2009, en

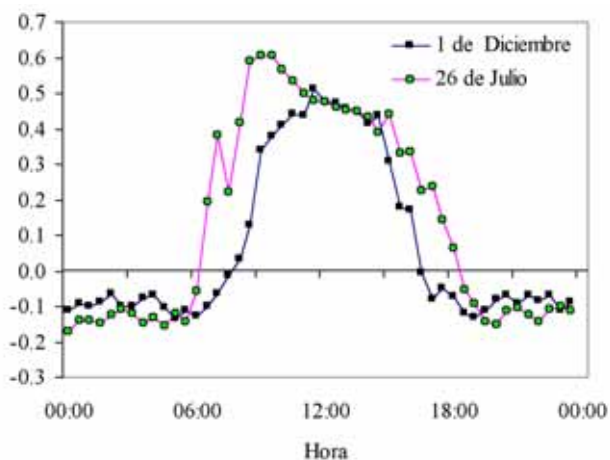


Figura 6. Evolución de F_{CO_2} ($mg\ m^{-2}\ s^{-1}$) para un día típico soleado del mes de julio 2009 (26 de julio) con temperaturas suaves, en las dos parcelas (A y J).

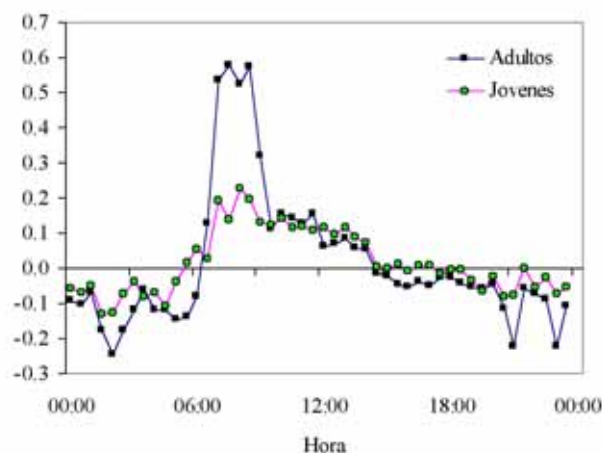


Figura 7. Evolución de F_{CO_2} ($mg\ m^{-2}\ s^{-1}$) para un día soleado del verano 2009 (23 de julio) con condiciones climáticas extremas, en las dos parcelas (A y J).

las dos parcelas. En la plantación adulta, el máximo de captación (valores positivos de F_{CO_2}) ocurrió por la mañana (hacia 9:30-10 horas) y decreció paulatinamente después, para pasar a valores negativos a la puesta del sol. La evolución fue relativamente más uniforme en la plantación joven, pero con valores sustancialmente más bajos de captación. Durante la noche, la respiración de la plantación adulta fue aproximadamente tres veces mayor en valor absoluto que en la plantación joven (de $-0,05\ mg\ m^{-2}\ s^{-1}$ y $-0,15\ mg\ m^{-2}\ s^{-1}$, respectivamente). Integrando los valores sobre 24 horas, se obtuvo una captación neta de CO₂ de $119,9$ y $63,9\ kg\ CO_2\ ha^{-1}\ día^{-1}$ por las plantaciones adulta y joven, respectivamente.

Durante el mes de julio 2009, que fue especialmente caluroso y seco, los cultivos sufrieron varios días de condiciones de estrés climático severo debido a muy altas temperaturas (temperatura máxima de aire $> 35^{\circ}C$) y hu-

medad relativa muy baja. Aunque los árboles fueron correctamente regados, se observó para estos días una fuerte disminución de la fotosíntesis de los árboles (regulación estomática). El control estomático, combinado con una fuerte respiración autotrófica debida a las altas temperaturas, condujo a valores bajos de captación de CO₂ (Figura 7). Integrando los valores sobre 24 horas, se obtuvo una captación neta de CO₂ de $11,8$ y $13,5\ kg\ CO_2\ ha^{-1}\ día^{-1}$ por las plantaciones adulta y joven, respectivamente.

Del análisis del conjunto de días del verano 2009, se puede deducir que (i) la mayor parte de la captación de CO₂ ocurrió por la mañana, periodo del día que presentaba las condiciones climáticas más favorables para la fotosíntesis. Las dos plantaciones, tanto la adulta como la joven, respondieron de forma negativa a las condiciones más desfavorables de la tarde, con una bajada muy

acusada en días con condiciones climáticas extremas (Figura 7).

(b) Periodo otoñal

La Figura 8 muestra la evolución de Fco₂ para un día soleado del otoño 2009 (día 1 de diciembre) en las dos parcelas. En la plantación adulta, el máximo de captación (valores positivos de Fco₂) ocurrió a mediodía (hacia 11:30-12 horas), presentando un patrón bastante simétrico, en contraste con el patrón estival (Figura 6). La evolución es también simétrica en la plantación joven, con valores sustancialmente más bajos que los de la plantación adulta. Durante la noche, la respiración de la plantación adulta fue ligeramente superior en valor absoluto a la de la plantación joven. Integrando los valores sobre 24 horas, se obtuvo una captación neta de CO₂ de 58,6 y 30,0 kg CO₂ ha⁻¹ día⁻¹ por las plantaciones adulta y joven, respectivamente.

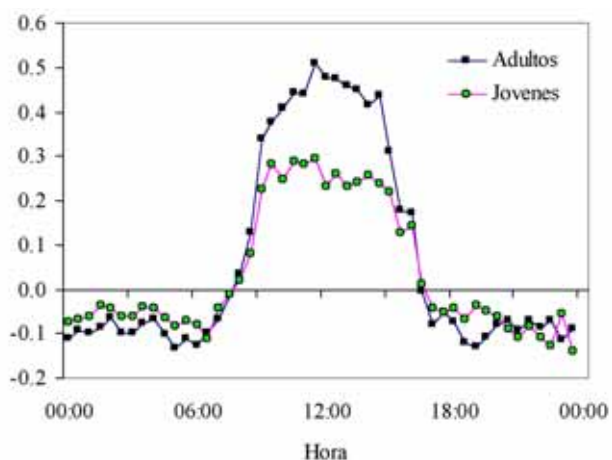


Figura 8. Evolución de Fco₂ (mg m⁻² s⁻¹) para un día soleado del otoño 2009 (1 de diciembre) con condiciones climáticas extremas, en las dos parcelas (A y J).

Estos resultados indican que, en otoño, las plantaciones de naranjo tienen un potencial de captación relativamente elevado comparado con el observado en verano, periodo en el que la radiación fotosintética activa sobrepasa el nivel de saturación de la fotosíntesis para cítricos (800-900 μE m⁻² s⁻¹, a escala foliar) durante bastante horas al día. Además, (i) condiciones de temperatura y humedad relativa favorables a la fotosíntesis y (ii) una respiración reducida con respecto a las condiciones estivales (Figura 9) explican los niveles de captación obtenidos en periodo de otoño.

Nótese una buena correlación entre los valores de captación neta de CO₂ observadas en las dos plantaciones (Figura 10a-b). Este resultado indica que, globalmente, las dos plantaciones se comportan de forma similar en respuesta a los factores medioambientales (clima) y al riego.

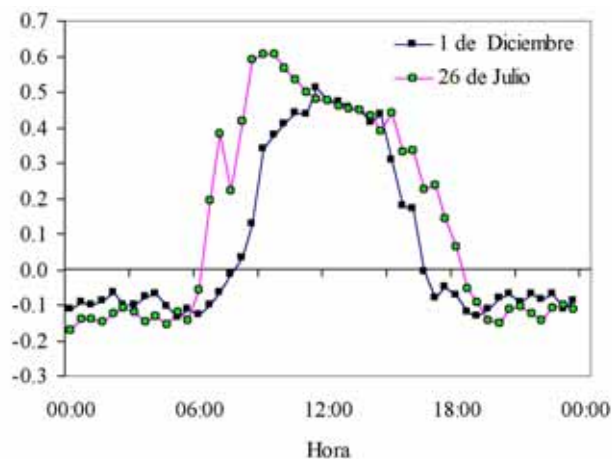


Figura 9. Evolución de Fco₂ (mg m⁻² s⁻¹) en la plantación adulta para días soleados del verano (26 de julio) y del otoño (1 de diciembre) de 2009.

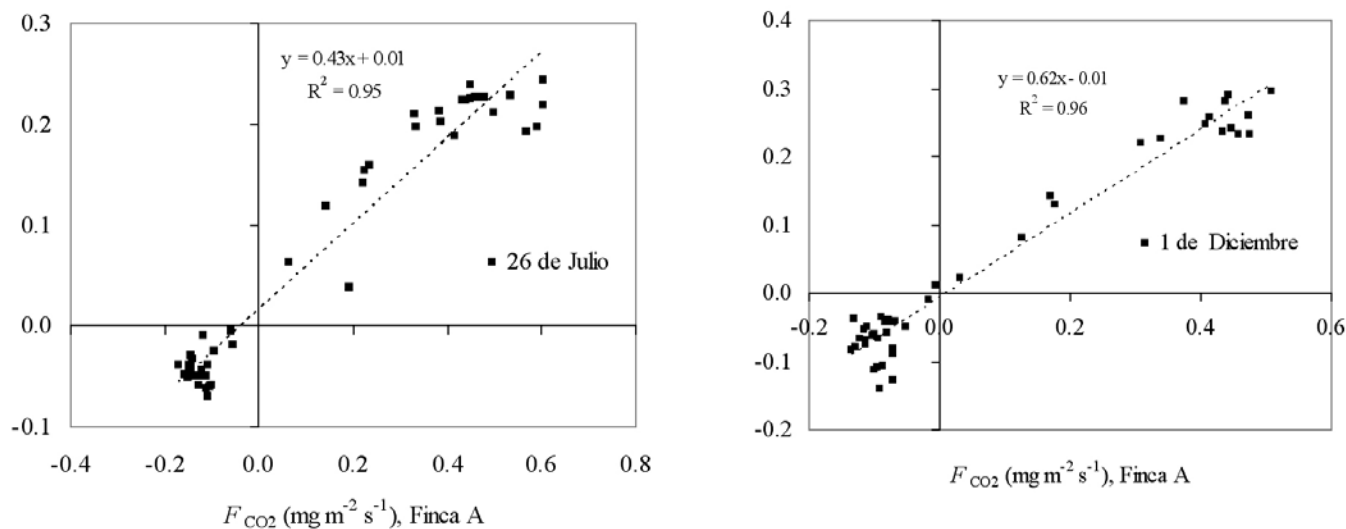


Figura 10. Regresiones lineales entre F_{CO_2} en la plantación adulta y F_{CO_2} en la plantación joven: (a) 26 de julio 2009 y (b) 1 de diciembre 2009.

3.2. FLUJO NETO DE CO₂ A ESCALA DIARIA

La Figura 11 presenta la tasa diaria de captación de CO₂ (en kg CO₂ por hectárea y por día) durante el periodo de máximo calor del verano 2009 (6 de julio al 15 de agosto 2009) en la finca de naranjos adultos. Sobre este periodo de 6 semanas, la cantidad total de CO₂ captado fue de 3.410 kg CO₂/ha, lo que representa a escala diaria un valor medio de 85 kg CO₂ por hectárea y día. Nótese que el máximo alcanzado en este periodo fue del orden de 150 kg por hectárea y día. Los valores mínimos se observaron durante días soleados con temperatura muy alta (estrés climático, ver Figura 7) o días nublados (baja radiación solar) que reducen drásticamente la fotosíntesis neta de los árboles.

La Figura 12 presenta la evolución de la tasa diaria de captación de CO₂ durante el periodo julio a diciembre 2009

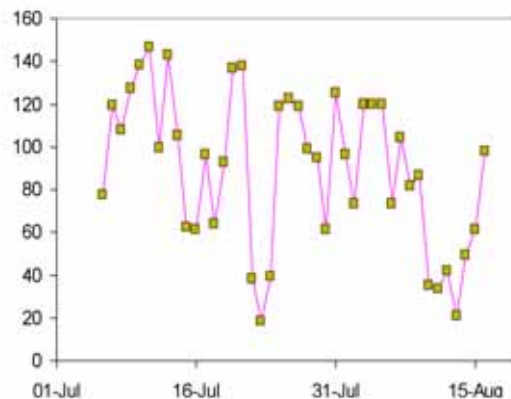


Figura 11. Tasa diaria de captación de CO₂ (en kg CO₂ por hectárea y por día) durante el periodo del 6 de julio al 15 de agosto 2009 en la finca de naranjos adultos.

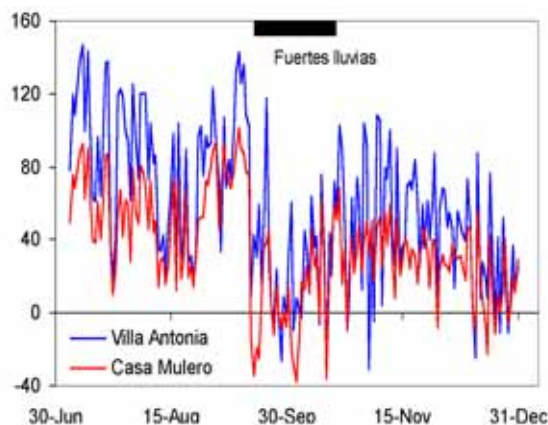


Figura 12. Tasa diaria de captación de CO₂ (en kg CO₂ por hectárea y por día) durante el periodo julio a diciembre 2009 en las dos fincas de naranjos.

en las dos fincas de naranjos. Nótese los valores bajos de captación en los periodos con lluvias (especialmente en septiembre), donde se observan valores negativos de F_{CO₂}. Estos valores negativos (el agrosistema emite más CO₂ que absorbe) se deben a los bajos niveles de radiación y a la fuerte respiración del suelo, que tiene una humedad elevada.

3.3. FLUJO NETO DE CO₂ A ESCALA MENSUAL

La evolución del flujo neto mensual (kg CO₂/mes/ha) de la plantación adulta y joven sobre el periodo julio a diciembre 2009 se muestra en la Figura 13. Los valores positivos indican que el ecosistema (árboles + suelo) se comporta como un sumidero neto de CO₂. Se puede observar una marcada variación estacional entre verano (mes de julio) e invierno (mes de diciembre). Los valores relativamente altos de F_{CO₂} en el mes de noviembre se pueden ex-

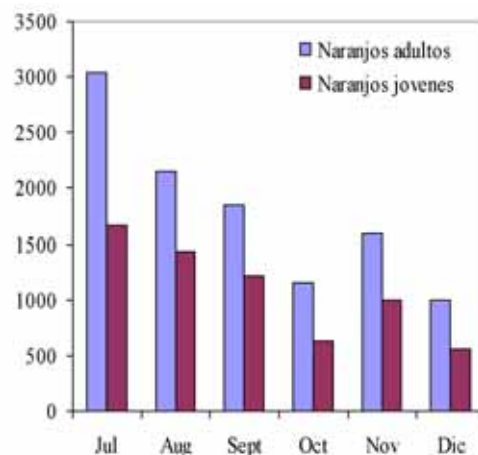


Figura 13. Evolución del intercambio neto del ecosistema (F_{CO₂}, kg CO₂/mes/ha) de las dos plantaciones sobre el periodo julio a diciembre 2009. Los valores positivos indican que el ecosistema (árboles + suelo) se comporta como un sumidero neto de CO₂.

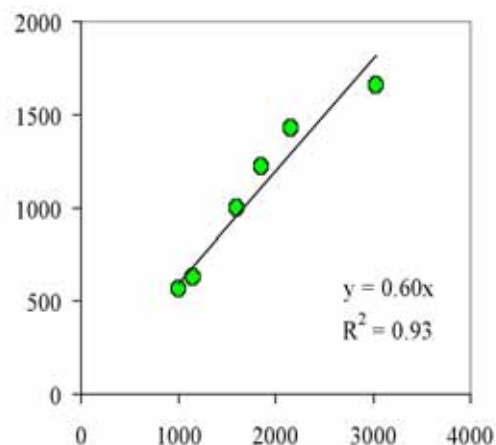


Figura 14. Relación entre los valores mensuales de intercambio neto de CO₂ (F_{CO₂}, kg CO₂/mes/ha) medidas en las dos plantaciones.

plican por los niveles de radiación y temperatura observados durante este mes, el más cálido de los 50 últimos años.

Se ha obtenido una correlación estrecha ($R^2 = 0,93$, Figura 14) entre los valores mensuales de F_{CO_2} de los dos tipos de plantación. La pendiente de la regresión, forzada al origen, es igual a 0,60, lo que indica que se puede considerar que el potencial de captación de la finca con árboles jóvenes representa el 60% del potencial de los árboles adultos.

El cuadro 1 recapitula los valores de F_{CO_2} y la ratio entre los valores medidos en las dos plantaciones.

Cuadro 1. Valores mensuales y ratio del intercambio neto del ecosistema (F_{CO_2} , kg CO₂/ha/mes) en las dos plantaciones de naranjos.

| Mes | F_{CO_2} (adultos) kg CO ₂ /ha/mes | F_{CO_2} (jóvenes) kg CO ₂ /ha/mes | Ratio jóvenes/adultos |
|------------|---|---|-----------------------|
| Julio | 3.039 | 1.659 | 0,55 |
| Agosto | 2.156 | 1.429 | 0,66 |
| Septiembre | 1.849 | 1.218 | 0,66 |
| Octubre | 1.152 | 630 | 0,55 |
| Noviembre | 1.597 | 994 | 0,62 |
| Diciembre | 1.001 | 5.621 | 0,56 |

3.4. ESTIMACIÓN DEL FLUJO NETO DE CO₂ A ESCALA ANUAL

Para los seis meses de observación (julio-diciembre 2009), el sumidero neto de CO₂ se ha elevado a 10.795 kg CO₂/ha para los árboles adultos y a 6.492 kg CO₂/ha para los árboles jóvenes. Suponiendo una evolución similar para los seis primeros meses del año (a confirmar con las medidas del año 2010), se puede estimar que el potencial de captación de CO₂ alcanza unas 20 toneladas de CO₂/ha para los árboles adultos, y 13 t de CO₂/ha para los árboles jóvenes.

4. CONCLUSIONES

A partir de nuestro estudio se desprenden las conclusiones siguientes:

- Las explotaciones de cítricos en la Región de Murcia tienen un potencial e intensidad de sumidero de CO₂ atmosférico elevados, similar o superior en magnitud a la de bosques de regiones templadas.
- Los dos agrosistemas estudiados (naranjos adultos de 30 años y naranjos jóvenes de 5 años) presentan una evolución paralela del intercambio neto de CO₂, siendo el vergel adulto el sumidero más potente. Este resultado es de subrayar, puesto que demuestra que la vida útil de un vergel como sumidero de CO₂ -cuando está cuidadosamente mantenido- es superior a los 30 años. Esto sugiere que es aconsejable promover el mantenimiento y la existencia de vergeles adultos productivos, desde el punto de vista de su papel como sumidero de CO₂.
- Son probablemente el riego (en verano) y las condiciones climáticas favorables (el resto del año) los dos factores que explican el potencial elevado de captación de

CO₂ por los agrosistemas de cultivos regados de cítricos en la Región de Murcia.

- Condiciones climáticas extremas de temperatura, como las observadas en julio 2009, afectan negativamente el potencial de captación de las plantaciones de naranjo. No se han observado efectos duraderos de este tipo de estrés sobre el comportamiento fisiológico de los árboles, debido a que recuperan rápidamente su potencial fotosintético uno a dos días después del evento extremo.

AGRADECIMIENTOS

Todos nuestros agradecimientos a los dueños de las fincas (empresa de Francisco y Mariano Roca, Pozo Estrecho, Murcia), por poner a nuestra disposición las parcelas experimentales y facilitarnos el acceso a los equipos de medida.

3.4. METODOLOGÍA NO DESTRUCTIVA PARA LA OBTENCIÓN DEL BALANCE NETO DE CARBONO EN CULTIVOS LEÑOSOS DE LA REGIÓN DE MURCIA

A. Pérez-Pastor*, M^a R. Conesa, J. M^a de la Rosa, R. Zornoza, M. Corbalán, A. Faz, M^a A. Muñoz, R. Domingo

**Director y coordinador del proyecto. Universidad Politécnica de Cartagena*

RESUMEN

Desde hace unos años se considera que la reducción de la concentración del CO₂ atmosférico es un factor clave para mitigar los efectos negativos del calentamiento global. Si la disminución de las emisiones de CO₂ es un proceso crucial, no lo es de menor importancia el incremento de los sumideros de carbono, de manera que el CO₂ liberado a la atmósfera pueda ser secuestrado en formas estables de carbono. En este sentido, los sistemas agrícolas tienen un gran potencial como sumidero de carbono, ya que fijan CO₂ como biomasa, la que puede ser incorporada al suelo como formas de carbono más estables. Por ello, el objetivo principal de este apartado es establecer una metodología fiable y no destructiva para estimar el balance neto de carbono en cultivos leñosos de la Región de Murcia; una región caracterizada por la escasez de recursos hídricos y suelos con alto contenido en carbonato cálcico y bajo en materia orgánica. Con el desarrollo de esta metodología, se pretende inferir el papel de la agricultura murciana en el ciclo global del carbono.

Mediante la utilización de la metodología propuesta es posible estimar el carbono atmosférico incorporado al sistema suelo-planta de forma no destructiva. De este modo y prescindiendo de podas severas o talas de árboles, se puede estimar el contenido de carbono fijado por el cultivo, así como la fracción de carbono almacenado en el suelo, lo que permite obtener un balance neto global del ciclo del carbono. Con este objetivo, se cuantifica el car-

bono fijado en el sistema suelo-planta (biomasa y carbono orgánico e inorgánico del suelo) y se sustrae el carbono liberado como CO₂ mediante la respiración de plantas y microorganismos. Debido a la alta variabilidad anual, estacional y diaria de la fotosíntesis y a la tasa de respiración del suelo, es necesario llevar a cabo múltiples medidas a lo largo del día y establecer un seguimiento de las mismas durante todo el año. Nuestros resultados muestran que la asimilación de carbono por la planta está correlacionada con el crecimiento vegetativo (diámetro del tronco), variables climáticas (temperatura), características del suelo (humedad) y prácticas agrícolas (aplicación de residuos de poda al suelo). 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 almacenado en función de las condiciones ambientales y las prácticas agrícolas.

SUMMARY

The reduction of the atmospheric CO₂ has been considered as a critical factor to mitigate the negative effects of global warming in the last years. If the reduction of the CO₂ emissions is considered crucial, it is equally important the increment of carbon sinks, so that the CO₂ released to the atmosphere is sequestered in stable forms of carbon. In this sense, agrosystems have a great potential as a carbon sink, since they fix CO₂ as biomass, which can be incorporated in the soil as recalcitrant carbon fractions.

Thus, the main objective of the present chapter is to establish a reliable and non destructive methodology to estimate the net carbon balance in woody crops from Murcia Region, characterised by scarcity in water availability for irrigation and soils with high contents of calcium carbonate and low contents of organic matter. With the development of this methodology, the role of Murcia's agriculture in the global carbon cycle can be inferred.

By using the proposed methodology it is possible to estimate the atmospheric carbon incorporated in the soil-plant system in a non-destructive way. Thus, with no severe pruning or tree felling, the content of carbon fixed by the crop is estimated, as well as the fraction of carbon sequestered in soil. All this permits the achievement of a global net balance of the carbon cycle. For this purpose, the carbon fixed in the soil-plant system is quantified (biomass and soil organic and inorganic carbon), and the carbon released as CO₂ by plants and microorganisms respiration is subtracted. Nonetheless, owing to the high annual, seasonal and daily variability in the photosynthetic and soil respiration rates, it is necessary to carry out multiple measures along the day, besides a constant monitoring during the whole year. Our results show that the assimilation of carbon by plant is correlated with the vegetative growing (trunk diameter), climatic variables (temperature), soil conditions (moisture), and agricultural practices (application of pruning wastes to soil). From these correlations, the effect of environmental variables on the net carbon balance can be quantified, establishing a relationship which permits modelize the sequestered carbon in terms of environmental conditions and agricultural management.

With the optimization of this methodology, environmentally sustainable and economically feasible, the capacity of irrigated woody crops from Murcia Region to fix atmospheric CO₂ and accumulate it in more stable carbon fractions will be determined.

1. INTRODUCCIÓN

La atmósfera es un bien común indispensable para la vida al que todos tenemos la obligación de respetar y conservar en las mejores condiciones posibles. Por su condición de recurso vital y por los daños para la salud humana que pueden derivarse de su contaminación, la protección de la atmósfera, el medio ambiente y la calidad del aire han sido, desde hace décadas, una prioridad de la política ambiental internacional. De esta manera, el cambio climático es una de las principales amenazas para el desarrollo sostenible y representa uno de los mayores retos ambientales con efectos sobre la economía global, la salud y el bienestar social (MARM, 2009).

1.1 EL CICLO DEL CARBONO

El ciclo global del carbono

El carbono es el elemento fundamental de los compuestos orgánicos, en los que se combina con nitrógeno, fósforo, azufre, oxígeno e hidrógeno para constituir las moléculas más importantes para la vida. Como sucede con todos los elementos, la disponibilidad de carbono no es infinita en el planeta y, por tanto, el carbono circula entre la materia orgánica y el ambiente físico-químico de manera constante. El movimiento del carbono ocurre a diferentes escalas espacio-temporales, que van desde el nivel molecular hasta el global. El carbono, en su unión molecular con el oxígeno, constituye el dióxido de carbono (CO₂), gas resultante de procesos tanto geoquímicos como biológicos (Jaramillo, 2004). La cuantificación de los flujos de carbono, a pesar de las grandes incertidumbres asociadas, representa uno de los mayores logros de la investigación sobre el ciclo global del carbono en la última década. En la figura 1 se representa el flujo de carbono en varios sistemas y su relación en las emisiones atmosféricas. Entre la superficie terrestre



Figura 1. El ciclo del carbono (Lozano, 2004).

ya la atmósfera existe un balance en el flujo de CO₂ que debido al cambio en el uso del suelo es actualmente positivo, existiendo un componente residual, que es por inferencia negativo, o comúnmente denominado sumidero de carbono (Macías *et al.*, 2005).

Los sistemas agrícolas como sumidero de carbono

El sector agrícola puede lograr importantes beneficios ambientales minimizando los efectos del calentamiento global (Monterroso *et al.*, 2004), ya que las plantas muestran su capacidad de generar producción primaria al secuestrar el CO₂ atmosférico. El carbono ingresa al sistema por la fotosíntesis y sale del mismo por la respiración de la vegetación y microorganismos. La diferencia entre la cantidad de carbono que ingresa en el sistema en forma de biomasa y la que se pierde, por respiración vegetal y microbiana, representa el balance neto de carbono del mismo (Álvarez, 2006). El CO₂ atmosférico puede ser secuestrado en los sistemas

agrícolas mediante su fijación por los cultivos en forma de biomasa, que suele oscilar entre el 45-50% del peso seco de la planta (Brady y Weil, 2004). Por tanto, durante los periodos en los que los cultivos mantienen tasas de crecimiento elevadas, éstos están desempeñando un importante papel de sumidero de carbono. La descomposición de los restos vegetales da lugar a la liberación de nutrientes y CO₂, al igual que ocurre durante la mineralización del humus. La emisión de CO₂ por descomposición y mineralización constituye la respiración microbiana o heterotrófica del suelo. La tasa de respiración depende de varios factores como son la temperatura (Rustad y Fernández, 1998; Zornoza *et al.*, 2007), la concentración de oxígeno disuelto (Boyd, 1995), el contenido de humedad (Davidson *et al.*, 1998; Zornoza *et al.*, 2007), el pH (Boyd y Pippopinyo, 1994) y la vegetación y el contenido de nutrientes en el suelo (Raich y Schlesinger, 1992; Boyd, 1995). De todos modos, parte de esta materia orgánica procedente de los residuos vegetales sufre diferentes procesos de humificación, contribuyendo al incremento, y por tanto al secuestro, de carbono en el suelo. De este modo, la materia orgánica del suelo no sólo contribuye notoriamente al incremento de la fertilidad del suelo, sino que también tiene un papel importante en el secuestro de carbono (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 1990). De forma esquemática, en la Figura 2 se representa el ciclo del carbono en el sistema suelo-planta.

El total de emisiones mundiales de CO₂ supone uno de los mayores flujos en el ciclo global del carbono y, por tanto, pequeños cambios en la magnitud de la respiración pueden tener un gran efecto sobre la concentración de CO₂ atmosférico (Schimel *et al.*, 1994). Como consecuencia, cada vez se tiende a profundizar más en conceptos como “calidad de carbono” en cuanto a reservorio potencial de nutrientes en el suelo y “estabilidad del carbono”, considerado éste como el insoluble y no oxidable a CO₂, fundamentalmente compuesto por radicales carboxílicos (Faz y Mermut, 2002). Por tanto, las técnicas de reducción de impacto climático en los siste-

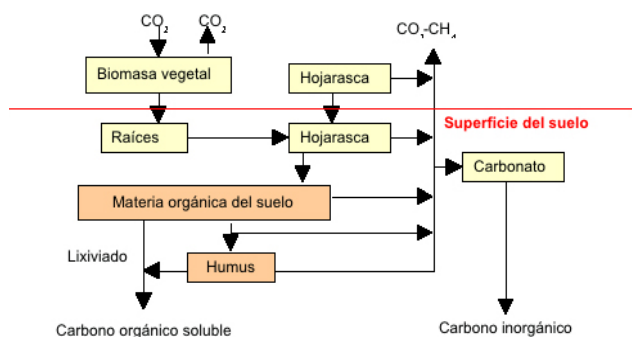


Figura 2. Ciclo del carbono en el sistema suelo-planta (Chesworth, 2004).

mas agrícolas se centran en el aumento de los contenidos de carbono orgánico en la biomasa vegetal y del suelo, mediante la optimización del riego, abonado, fertilización o laboreo para conseguir mayor cantidad de carbono retenido en sus formas más estables (Vallejo *et al.*, 2005). Además, el carbono en los suelos agrícolas neutros o básicos también puede ser retenido en su forma inorgánica como carbonatos (Figura 2). Los carbonatos pueden formarse a partir de CO₂ y óxidos metálicos del suelo en reacciones que son exotérmicas y termodinámicamente favorables, dando como resultado un material que puede almacenar permanentemente las fracciones activas de carbono durante milenios, contribuyendo a la mitigación del calentamiento global (Lackner, 2002).

El carbono en los sistemas agrícolas

Los cambios en la agricultura y el uso del suelo pueden conducir a cambios en la cantidad de carbono almacenado en el sistema suelo-planta. Las actividades agrícolas suponen un 20% del incremento anual de los gases de efecto invernadero (Lemke *et al.*, 2007). Numerosos estudios han demostrado la capacidad del suelo y la producción de biomasa

vegetal como sistemas capaces de capturar carbono y de este modo paliar los efectos del calentamiento global, tanto a nivel internacional (p. ej. Batjes, 1996; Mermut y Eswaran, 2001; Lal, 2004) como nacional (p. ej. Díaz-Raviña *et al.*, 2005; Martín *et al.*, 2009) y regional (p. ej. Albaladejo *et al.*, 2009; Boix-Fayos *et al.*, 2009). Concretamente, Albaladejo *et al.* (2009) observaron que, en la Región de Murcia, los contenidos de carbono orgánico fueron significativamente mayores en frutales en regadío que en tierras en barbecho, sin encontrar diferencias en otros usos. Otros autores señalan, igualmente, la importancia del estudio del manejo de los residuos generados por el cultivo y su relación con los contenidos de carbono en el agrosistema (Liu *et al.*, 2006). Asimismo, estos autores destacan la necesidad de analizar el comportamiento de las reservas de carbono en relación al tipo de fertilizante empleado, señalando que aquellos suelos tratados con fertilizantes de tipo orgánico presentan un incremento significativo de la cantidad de carbono frente a los tratados con fertilizantes inorgánicos (Paustian *et al.*, 1992; Liu *et al.*, 2006). Los suelos de laboreo presentan mayor nivel de emisión de CO₂ y CH₄ que aquellos en no laboreo (Patiño-Zúñiga *et al.*, 2009). Por tanto, entre los factores que influyen en la cantidad y calidad de carbono orgánico en el suelo, resulta muy significativo su uso y manejo (Lal *et al.*, 1998; Houghton *et al.*, 1999; Schurnan *et al.*, 2002). Varios estudios ponen de manifiesto que existen diferencias apreciables en el contenido de biomasa y composición de la materia orgánica en función del sistema de manejo empleado, considerando las distintas técnicas de laboreo, fertilización y riego. Estos estudios reflejan que la fracción más lábil de la materia orgánica del suelo se reduce drásticamente tras el cultivo del suelo (Díaz-Raviña *et al.*, 2005; Martín *et al.*, 2009). Con el cultivo, además, se destruyen macroagregados, incrementándose el porcentaje de carbono secuestrado en los microagregados (Martín *et al.*, 2009). Además, se incrementan los contenidos de carbono almacenado en las fracciones más recalcitrantes, disminuyendo la cantidad de carbono de aque-

llas más lábiles o fácilmente degradables por la microfauna y microflora del suelo.

1.2 MARCO LEGAL

La Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro del 3 al 14 de julio de 1992, también conocida como “Río 92” o “Cumbre para la Tierra”, constituye el primer referente internacional en la protección del medio ambiente y la consecución del desarrollo sostenible. En la Declaración de Río se estipulan las obligaciones y los derechos de los estados en materia de medio ambiente y desarrollo (Naciones Unidas, 1997). El informe de 2004 del secretario general sobre la Aplicación de la Declaración del Milenio proporciona un contexto general sobre cómo el mundo está cumpliendo el Objetivo 7 (Naciones Unidas, 2007). En este informe se especifica que los avances en la aplicación de los convenios y convenciones mundiales han sido desiguales; en este sentido, el Protocolo de Kyoto, de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, ha sido ratificado por 120 países.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) fue creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Entre sus funciones se encuentra la evaluación de la información científica y socioeconómica sobre cambio climático, así como las opciones para mitigarlo y proporcionar asesoramiento científico y técnico a la Conferencia de las Partes.

Normativa nacional y regional

El Consejo Europeo, a través del decreto 2002/358/CE, de 25 de abril de 2002, aprobó el cumplimiento de los compromisos contraídos en relación al Protocolo de Kyoto, y más concretamente a las emisiones de seis gases de efecto

invernadero (GEI): dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). El Protocolo de Kyoto representa un importante paso en la lucha contra el calentamiento del planeta, ya que contiene objetivos obligatorios y cuantificados de limitación y reducción de gases de efecto invernadero.

Por su parte, la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia (Horizonte 2007-2012-2020) define el marco de actuación que deben abordar las administraciones públicas en España para asegurar el cumplimiento del Protocolo de Kyoto, incluyendo un Plan de Medidas Urgentes de la Estrategia de Cambio Climático y Energía Limpia (EECCCL) (MARM, 2009).

En el ámbito local, según queda establecido en el artículo primero del Decreto 325/2008, de 3 de octubre de 2008, la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia, a través de la Dirección General de Planificación, Evaluación y Control Ambiental, es la autoridad competente en aquellas materias relativas al cambio climático y al fomento del medio ambiente, entre otras. Cabe mencionar la existencia de un Pacto Social por el Medio Ambiente y la iniciativa RSCO₂, aprobados en noviembre de 2006 e impulsados por la Consejería de Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio, según queda recogido en el BORM nº 254 de 31 de octubre de 2008, con el fin de fomentar la responsabilidad ambiental y el desarrollo sostenible en el sector empresarial, instando a la contribución de las empresas en el mantenimiento de los ecosistemas en relación a su adaptación a los impactos del cambio climático.

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

En la actualidad se están realizando grandes esfuerzos para intentar estabilizar los valores de concentración del CO₂ atmosférico entre 450 y 650 ppm. Para este propósito, no

sólo se deben adoptar medidas que reduzcan las emisiones, sino que además se debe explotar la capacidad de almacenamiento de carbono de diferentes sistemas terrestres, como son los sistemas agrícolas, de acuerdo con el Protocolo de Kyoto. Sin embargo, y a pesar de la gran cantidad de carbono en los suelos y los grandes cambios experimentados en la materia orgánica del suelo, influenciados por el uso del suelo o de prácticas agrícolas, el uso del suelo como sumidero de carbono para el secuestro del CO₂ atmosférico no está explícitamente incluido en la actual versión del protocolo de Kyoto (artículo 3.4). Sin embargo, son ampliamente reconocidos, tanto por la comunidad científica como por el sector agrícola, los grandes beneficios de mantener e incrementar el carbono del suelo, reduciendo las tasas de mineralización de la materia orgánica (Schlesinger, 2000). En este sentido, IPCC presenta en sus publicaciones la inclusión del suelo como sumidero de carbono para combatir el cambio climático (IPCC, 1996, 2006). Concretamente, en los capítulos 6 y 7 de su publicación “Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático. Documento técnico I del IPCC” (IPCC, 1996), menciona, entre las opciones para mitigar las emisiones de CO₂, la reducción de las emisiones actuales y la creación y refuerzo de sumideros de carbono de los suelos agrícolas y forestales. Los esfuerzos para aumentar los niveles de carbono en el suelo tienen además, como ya se ha comentado, beneficios adicionales en cuanto a mejora de la productividad y sostenibilidad de los agrosistemas o ecosistemas naturales, respectivamente. Además, la producción de nueva biomasa vegetal en sistemas agrícolas y en naturales viene aceptada como sumidero de carbono tanto en el Protocolo de Kyoto como por IPCC.

Buena parte de las nuevas estrategias consideran la adecuada gestión agrícola como el mejor método para fijar el carbono atmosférico de forma permanente a medio-largo plazo. Sin embargo, son numerosos los autores que sostienen que el conocimiento de los factores que determinan la acumulación de este carbono, y su estabilidad a largo plazo, re-

quieran más estudios (Monterroso *et al.*, 2004), así como su relación con los procesos de conservación y productividad de los ecosistemas terrestres, usos del suelo, cambios en el uso del suelo y diferentes técnicas de manejo (Almendros, 2004). Además, aunque la acumulación de carbono en el suelo es más gradual que en la biomasa vegetal, éste se incorpora en compuestos orgánicos de elevada estabilidad y resistentes a la degradación. De este modo, el tiempo de permanencia del carbono contenido en algunas sustancias orgánicas en estos suelos se estima entre 1.000 y 3.000 años (Carballas *et al.*, 1980), siendo de cientos de miles de años para el carbono secuestrado en forma de carbonatos (Lackner, 2002).

De esta manera, para tener una visión holística del secuestro de carbono, es necesario estudiar el contenido y evolución de carbono en el suelo (contabilizando las entradas en forma de residuos vegetales principalmente, y las salidas por respiración edáfica), así como la captura de carbono en la biomasa vegetal (medida neta de fotosíntesis), con un estudio integrado del sistema suelo-planta, así como el carbono aportado por los diferentes abonos orgánicos y hojarasca, de manera que se obtenga un balance global del ciclo del carbono en los agrosistemas (Figura 3).

Por otro lado, la fruticultura murciana está implantada en una zona semiárida caracterizada por la necesidad de regar para satisfacer los requerimientos hídricos de los árboles, y obtener cosechas que permitan a la explotación no sólo no perder competitividad, sino mantener la capacidad productiva de la plantación en los años siguientes. Pero el agua disponible para el riego es cada vez menor y su uso entra en competencia directa con otros sectores de la sociedad; este hecho obliga a un mejor aprovechamiento del recurso en estas explotaciones. De esta forma, en distintas explotaciones frutícolas de la Región de Murcia se están ensayando estrategias de riego deficitario controlado (RDC), basadas en la idea de reducir los aportes hídricos en aquellos períodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción

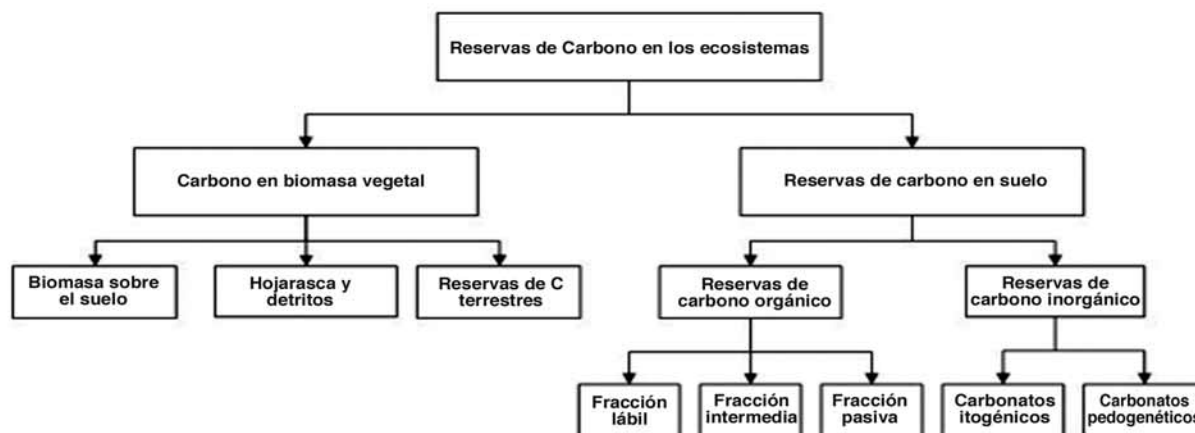


Figura 3. Componentes de las reservas de carbono en los ecosistemas (Lal, 2005).

y calidad de la cosecha, y cubrir plenamente la demanda hídrica de la planta durante el resto del ciclo del cultivo (Chalmers *et al.*, 1981).

Esta reducción del agua aplicada podría contribuir positivamente al balance neto de carbono, ya que la reducción de los niveles de humedad edáfica disminuye la actividad microbiana, con la consiguiente ralentización de la mineralización de la materia orgánica, y disminución de las emisiones de CO₂ por parte del suelo (Buyanowski y Wagner, 1983; Conant *et al.*, 2000; Jabro *et al.*, 2008).

En este sentido, no se conoce hasta la fecha ningún trabajo relacionado con el balance global de carbono en la Región de Murcia. El Decreto nº 450/2009 de 29 de diciembre recoge la realización de acciones de investigación sobre los beneficios ambientales de la agricultura y su adaptación frente a los impactos del cambio climático, donde se contemplan acciones encaminadas a determinar el secuestro de CO₂ por los cultivos más representativos de la Región de Murcia.

La metodología de estudio que aquí se plantea tiene en cuenta la cantidad del carbono incorporado al suelo y a la biomasa, así como las posibles pérdidas por mineralización (desprendimiento de CO₂ a la atmósfera) y lixiviación (y por tanto movilización del carbono a través del perfil del suelo hacia los acuíferos). Además, esta metodología está basada en su gran mayoría en el empleo de técnicas no destructivas, de manera que se pueda determinar el contenido de carbono fijado por los cultivos, y el desprendido por la respiración, sin necesidad de recurrir a extracciones de árboles completos.

Por tanto, el objetivo global del presente estudio consiste en 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.

3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES

Se han escogido cuatro parcelas experimentales localizadas en distintas zonas de la Región de Murcia, con diferentes características edafoclimáticas y cultivos representativos de cada una de ellas.

Parcela 1

Finca de albaricoqueros situada en Fuente-Librilla (Murcia, Figura 4) a una altitud de 350 m sobre el nivel del mar. Para la realización de los ensayos se seleccionó una parcela de 2 ha de la variedad Búlida, injertado sobre patrón franco de Real Fino, de 12 años de edad, a un marco de 8 m x 8 m, podados en vaso y en riego por goteo desde su plantación, a partir de un único lateral por hilera de árboles y 7 goteros autocompensantes por árbol, de 4 L h⁻¹. El clima, típicamente mediterráneo, presentó una evapotranspiración de referencia (ET_o, cubeta clase A) y lluvia media anual de 1.180 mm y 274 mm, respectivamente. El suelo era franco, muy calizo y con bajo contenido en materia orgánica, potasio y fósforo. El agua de riego procedente de pozo presentó una baja conductividad eléctrica, en torno a 0,6 dS m⁻¹. La dosis de riego se determinó semanalmente a partir de ET_o,



Figura 4. Vista general de la parcela experimental de albaricoqueros.

los coeficientes de cultivo proporcionados por Doorenbos y Pruitt (1986), el factor de corrección (Kr), según el porcentaje de área sombreada de acuerdo a Fereres *et al.* (1981), y las lluvias acaecidas en la semana anterior.

Parcela 2

El ensayo se realizó en una explotación comercial de mandarino cv. Fortune (Clementina x mandarina Dancy (*Citrus clementina* Hort. Ex. Tanaka x *Citrus reticulata* Blanco)) injertado sobre mandarino Cleopatra (*Citrus reshni* Hort. ex. Tanaka), situada en Miranda (Cartagena, Figura 5). Los árboles, de 15 años de edad, estaban dispuestos a un marco de plantación de 5 m x 3 m en riego por goteo, a partir de dos líneas portagoteros por fila de árboles y 6 goteros de 4 L h⁻¹ por árbol. La evapotranspiración de referencia (ET_o Penman-Monteith, Allen *et al.*, 1998) y la lluvia media anual fueron de 1.435 mm y 293 mm, respectivamente. El suelo era altamente pedregoso, textura franco-arcillosa, con un nivel medio de materia orgánica y alto en caliza y potasio. El agua de riego procedía de una mezcla de agua del trasvase Tajo-Segura y de pozo, con una conductividad eléctrica resultante de 1,35 dS m⁻¹ durante el primer año, y ligeramente superior a 4 dS m⁻¹ a partir del segundo año. La dosis de riego se determinó de forma similar a lo indicado en la parcela 1.



Figura 5. Vista general de la parcela experimental de mandarinos.

Parcela 3

El ensayo se realizó en almendros, pertenecientes a la Estación Experimental Agroalimentaria (ESEA) 'Tomás Ferro', La Palma (Universidad Politécnica de Cartagena, Figura 6). Los almendros (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb.) cv. 'Marta' estaban injertados sobre Mayor (*Prunus dulcis* vs *Prunus persica*). Los árboles, de 5 años de edad al comienzo de la experimentación, situados a un marco de plantación de 7 m x 6 m, se regaron por goteo a partir de un lateral de riego por hilera de árboles, con 6 goteros auto-compensantes de 4 L h⁻¹ por árbol. La evapotranspiración de referencia (ET_o) y pluviometría promedian un valor de 1.200 mm y 350 mm, respectivamente. El suelo, de textura franco-arcillo-limosa, con un contenido de agua útil de 0,18 m m⁻¹ y densidad aparente de 1,4 g cm⁻³, era pobre en materia orgánica, rico en fósforo y no presentó problemas de salinidad (CE del extracto de saturación de 1,4 dS m⁻¹). El agua de riego tuvo una conductividad eléctrica de 1,20 dS m⁻¹. La dosis de riego se determinó semanalmente con similar metodología que en las anteriores parcelas.



Figura 6. Vista general de la parcela experimental de almendros.

Parcela 4

El estudio se desarrolló en una explotación comercial de nectarinos extratempranos (*Prunus persica*. L) cv. Flanoba, ubicada en el término municipal de Molina de Segura (Murcia, Figura 7). Los árboles presentaban 7 años de edad al inicio del estudio, situados a un marco de plantación de 6 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⁻¹. La evapotranspiración de referencia (ET_o) y pluviometría anual promediaron un valor de 1.360 mm y 235 mm, 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⁻¹. La dosis de riego se determinó semanalmente.



Figura 7. Vista general de la parcela experimental de nectarinos.

4. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS UTILIZADAS

En este apartado se describen las técnicas y metodologías utilizadas para la determinación de los parámetros implicados en el balance del carbono a tres niveles: clima, suelo y planta.

4.1. CLIMATOLOGÍA

El clima es un factor crítico para el desarrollo de las plantas al limitar y modificar procesos fisiológicos. El análisis y el estudio de la influencia de las variables meteorológicas sobre los cultivos agrícolas permite caracterizar la respuesta de los mismos sobre el balance de carbono final. Los datos climáticos necesarios para determinar la influencia de la fisiología de la planta y los requerimientos hídricos de cada cultivo proceden de diferentes estaciones meteorológicas cercanas a cada parcela experimental. Estas estaciones pertenecen al Servicio de Información Agraria de Murcia (SIAM). Las variables climáticas utilizadas son: temperaturas máximas y mínimas diarias, humedad relativa, radiación, velocidad del viento y precipitación.

El déficit de presión de vapor (DPV) (Ec.1) del aire se calculó, a partir de datos de temperatura y humedad relativa, según las ecuaciones (Sánchez-Toribio, 1992):

$$DPV = e_s - e_a \quad \text{[Ecuación 1]}$$

$$e_s = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 T}{T+273,3}\right) \quad \text{[Ecuación 2]}$$

$$e_a = e_s \frac{HR}{100} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

donde e_s (Ec.2) es la presión de vapor a saturación a la temperatura del aire (kPa), e_a (Ec.3) la presión de vapor actual (kPa), T la temperatura (°C) y HR la humedad relativa (%).

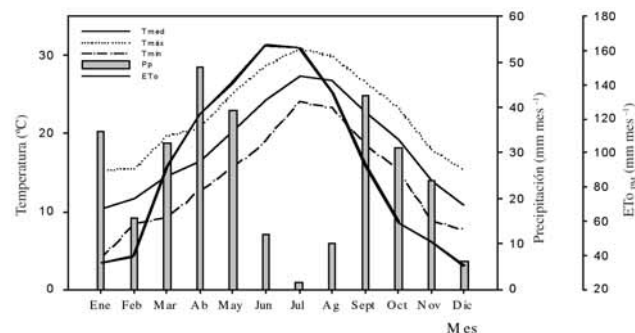


Figura 8. Evolución media mensual de la temperatura máxima (Tmáx °C), mínima (Tmín °C), media (Tmed °C), evapotranspiración de referencia (ETo mm mes⁻¹) y precipitación (Pp, mm mes⁻¹) durante el periodo 2006-2009 en Molina de Segura (cultivo de nectarino).

La evolución estacional de las temperaturas, precipitación y ETo determinada a partir de la metodología FAO (Doorenbos y Pruitt, 1986), correspondientes a dos zonas de estudio (Molina de Segura y el Campo de Cartagena), está representada en las Figuras 8 y 9, respectivamente.

Sánchez-Toribio (1993) describe el clima de las diferentes zonas como seco y cálido, claramente mediterráneo con rasgos subdesérticos. Las precipitaciones suelen presentarse en primavera y a finales de verano, siendo estas últimas, a menudo, de carácter torrencial, lo que disminuye su eficiencia y acentúa el déficit hídrico (Figuras 8 y 9).

4.2. SUELO

Según queda recogido en las recomendaciones establecidas para el IPCC, el muestreo de suelo es considerado como una herramienta esencial en la medida de las variaciones de carbono almacenado así como de las emisiones netas de los gases de efecto invernadero (IPCC, 1996 y

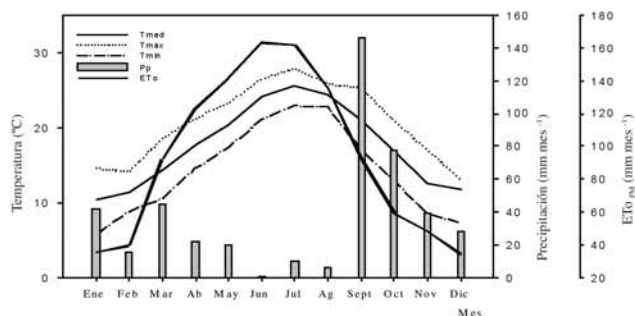


Figura 9. Evolución media mensual de la temperatura máxima (Tmáx ° C), mínima (Tmín ° C), media (Tmed ° C), evapotranspiración de referencia (ETo mm mes⁻¹) y precipitación (Pp, mm mes⁻¹) durante el periodo 2006-2009 en Cartagena (cultivo de almendro).



Figura 10. Equipos de medida del contenido volumétrico de agua en el suelo, TDR (izquierda) y sonda de neutrones (derecha).

2006). De igual forma, se señala que, con un diseño apropiado, podría obtenerse una estimación estadísticamente fiable. El IPCC ha establecido la relación de depósitos de carbono que deben estimarse en tierras agrícolas, considerados para su estudio por esta metodología. El contenido de agua en el suelo, como ya se mencionó anteriormente, influye en la actividad microbiana, con la consiguiente modificación de la mineralización de la materia orgánica y emisión de CO₂ por parte del suelo.

Medida del contenido volumétrico de agua en el suelo

El contenido volumétrico de agua en el suelo (θ_v) se determinó utilizando la técnica de reflectometría en dominio del tiempo (TDR), usando un equipo TEKTRONIX, modelo 1502B (Figura 10). El método TDR fue desarrollado por Topp *et al.* (1980, 1982) y se basa en la determinación de la constante dieléctrica del suelo (K_a), la cual está relacionada con el contenido de agua del mismo. Las medidas se realizaron en la zona humectada por el gotero.

En la parcela de albaricoqueros, θ_v se midió con sonda de neutrones TROXLER 4 300 (Figura 10), para lo cual se instalaron tubos de acceso de acero galvanizado, de 41,5 mm de diámetro interior y 140 cm de longitud. En cada punto de muestreo se colocaron 4 tubos de acceso en dirección perpendicular al lateral de riego, en la zona suroeste de la proyección exterior de la copa. El primer tubo se situó junto al segundo gotero a partir del tronco, y los tres restantes a 1, 2,5 y 4 m del anterior, respectivamente. En cada tubo de acceso se tomaron lecturas cada 10 cm, desde los 20 a los 140 cm. El θ_v de los primeros 10 cm se determinó a partir de muestras de suelo próximas a los tubos. La calibración de la sonda se realizó en la propia parcela experimental.

En el resto de parcelas experimentales, θ_v se determinó a partir de sensores capacitivos, cuya medida se realizaba en continuo (EnviroScan®, Sentek Pty. Ltd) y en discontinuo (Diviner 2000®, Sentek Pty. Ltd). La capacitancia eléctrica de un capacitor que utiliza al suelo como dieléctrico depende del contenido de agua del suelo. Cada sonda constaba de cuatro sensores ubicados a las profundidades de

10, 30, 50 y 70 cm (Figura 11). Las lecturas registradas por los sensores instalados en la parcela experimental eran almacenadas cada 30 minutos en el *datalogger* del EnviroScan.

Las medidas discontinuas se realizaron a partir de una sonda capacitiva portátil (*diviner*). Esta sonda consta de un único sensor capacitivo ubicado en el extremo de la sonda, que mide θ_v a intervalos de 10 cm a medida que se desplaza por el tubo de acceso de la sonda.

Medidas de potencial matricial de agua en el suelo

El potencial matricial del agua en el suelo (Ψ_m) se midió con tensiómetros en las 4 parcelas experimentales, situados a dos profundidades diferentes a 30 y 60 cm y a 25 cm de distancia del gotero (Figura 12).

Los tensiómetros miden la succión o tensión del agua en el suelo. Su fundamento radica en que el agua dentro de la cápsula cerámica adquiere la misma tensión que el agua del suelo en contacto con ella. La lectura en el vacuómetro, con un rango de medida entre 0 y -80 kPa, corresponde al potencial hidráulico de agua en el suelo, el cual viene dado por la siguiente expresión:

$$\Psi_H = \Psi_m + \Psi_g \quad \text{[Ecuación 4]}$$

donde $\Psi_m + \Psi_g$ son las componentes matricial y gravitacional del potencial de agua en el suelo.

Medida del carbono desprendido por la respiración del suelo (C_{RS})

La respiración del suelo es una medida del CO₂ 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 CO₂ en el sistema



Figura 11. Equipo de medida de FDR y *datalogger*.

agrícola. Para la determinación del carbono desprendido por la respiración del suelo, utilizamos un medidor de respiración de suelos (ACE Automatic Soil CO₂ Exchange System, Figura 13). Este medidor de respiración determina el incremento en la concentración de CO₂ que tiene lugar en el interior de la cámara del equipo, con respecto al valor inicial del aire en el lugar de medida.



Fig. 12. Batería de tensiómetros.

Las medidas se realizaron en las parcelas experimentales a partir de 4 puntos de muestreo (Figura 14): 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.

Determinación del contenido total de carbono en el suelo

Con la finalidad de establecer el balance de carbono en el suelo, es necesario determinar el contenido de carbono



Figura 13. Equipo de medida de la respiración de suelos.

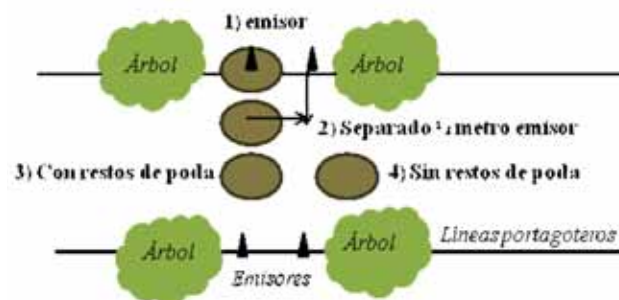


Figura 14. Esquema de la medida de la respiración de suelos.

orgánico e inorgánico (en forma de carbonatos) almacenado en el mismo, de manera que se pueda cuantificar cuál es la variación de carbono en cada uno de los cultivos agrícolas, y si éstos favorecen la acumulación de carbono en el suelo, verificando la aptitud de los suelos agrícolas murcianos como sumideros de carbono.

En cada cultivo de estudio se realizó un seguimiento temporal en función del ciclo fenológico del cultivo. Se realizaron 3 muestreos anuales coincidiendo con la floración, cosecha y poda del cultivo. Para ello se tomaron muestras de suelo a dos profundidades diferentes, en cada punto de medida de la respiración edáfica. Las profundidades de muestreo fueron de 0 a 30 cm y de 30 a 60 cm; éstas se han definido teniendo en cuenta que la acumulación y mineralización de la materia orgánica tiene lugar principalmente en la zona más superficial del suelo, y que las raíces del cultivo en riego por goteo alcanzan una profundidad media de 60 cm. Las muestras tomadas, una vez en el laboratorio, se secaron al aire y posteriormente se tamizaron, empleando un tamiz de 2 mm de diámetro de luz.

La determinación del carbono del suelo está basada en el principio de oxidación por combustión catalítica y de-



Figura 15. Analizador de carbono total.

tección por infrarrojo no dispersivo. Una vez obtenido el carbono total y el carbono inorgánico (carbonatos) por diferencia se obtiene el carbono orgánico. El equipo utilizado es un analizador Shimadzu TOC 5000 A, empleando el módulo para muestras sólidas SSM-5000 (Figura 15).

4.3. PLANTA

La asimilación de carbono por la planta se obtuvo de dos formas: i) a partir de un balance anual en el sistema suelo-planta y ii) a partir de medidas discontinuas durante toda la estación de crecimiento.

Balance anual de carbono en el sistema suelo-planta

Para estimar el dióxido de carbono secuestrado por el cultivo durante un año (C_{anual}) se realiza un balance de carbono en el sistema suelo-árbol. El balance puede realizarse estimando el carbono asimilado por la fotosíntesis neta (C_{Pn}) y el desprendido por la respiración del suelo (C_{RS}) (Ecuación 5). También puede realizarse el balance determinando el incremento de carbono del árbol ($\Delta C_{\text{árbol}}$) y del suelo (ΔC_{suelo}) en un año y el carbono asimilado por la fruta (C_F) (Ecuación 6).

$$C_{\text{anual}} = C_{Pn} - C_{RS} + C_F \quad \text{[Ecuación 5]}$$

$$C_{\text{anual}} = \Delta C_{\text{árbol}} + \Delta C_{\text{suelo}} + C_F \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Los restos de poda no se tienen en cuenta siempre que se depositen en el suelo, ya que 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 de cada órgano del árbol y el incremento de carbono en el suelo afectado. La manera más exacta de determinar la biomasa del árbol es arrancándolo 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 tener que arrancar el árbol.

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).

a) Parte aérea. La biomasa procedente de hojas no aumenta con los años si son adultos, ya que se van cayendo y pasan a formar parte de la materia orgánica del suelo. En nectarino (árboles adultos), 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 por mantenerse constante año tras año. Igualmente en mandarinos adultos se considera que la biomasa procedente de las ramas finas del árbol no aumenta significativamente a lo largo de los años.

Así, el incremento de biomasa de la parte aérea (ΔB_{PA}) de los diferentes cultivos es debido al incremento de biomasa del tronco (ΔB_T) más el de las ramas principales (ΔB_{RP}).

$$\Delta B_{PA} = \Delta B_T + \Delta B_{RP} \quad \text{[Ecuación 7]}$$

El incremento de biomasa de estos tejidos se determina por diferencia de volumen a comienzo y final de año. El volumen se estima a partir de medidas de diámetros (F) y lon-

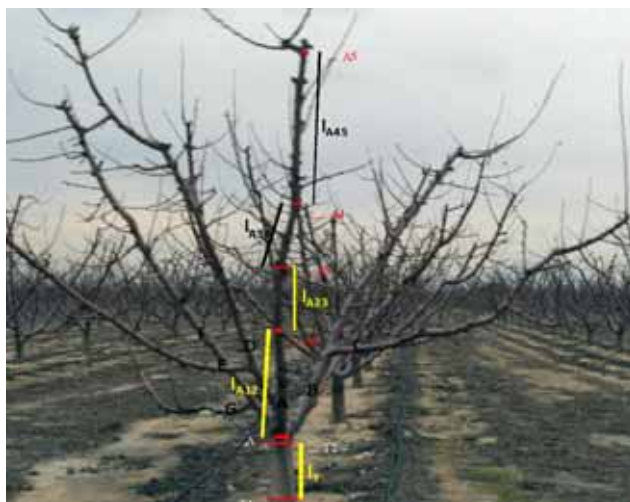


Figura 16. Determinación de diámetros y longitudes de tronco y ramas principales para la estimación del volumen del árbol.

gitudes (*l*) de ramas y tronco (Figura 16). Cada valor de diámetro es la media de dos medidas 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 modo de ejemplo, se indica el cálculo del volumen de tronco (Ecuación 8) y de la rama A (Ecuación 9) del árbol de la figura 16:

$$V_T = \pi \cdot l_T \cdot \frac{\phi_{T1}^2 + \phi_{T2}^2 + \phi_{T1} \cdot \phi_{T2}}{12} \quad \text{[Ecuación 8]}$$

[Ecuación 9]

$$V_A = \pi \cdot (l_{A12} \cdot \frac{\phi_{A1}^2 + \phi_{A2}^2 + \phi_{A1} \cdot \phi_{A2}}{12} + l_{A23} \cdot \frac{\phi_{A2}^2 + \phi_{A3}^2 + \phi_{A2} \cdot \phi_{A3}}{12} + \dots)$$

Una vez calculado el incremento anual de volumen (ΔV_{anual}) se pasa a peso fresco (ΔPf_{anual}) multiplicando por la densidad del tejido (ρ_i) previamente determinada:

$$\Delta Pf_{\text{anual}} = \Delta V_{\text{anual}} \cdot \rho_i \quad \text{[Ecuación 10]}$$

Para pasar el incremento de peso fresco de madera a peso de carbono (ΔC_{anual}) se multiplica por el porcentaje de peso seco (Ps_i) y por la riqueza de carbono de cada tejido (π_i):

$$\Delta C_{\text{anual}} = \Delta Pf_{\text{anual}} \cdot Ps_i \cdot \pi_i \quad \text{[Ecuación 11]}$$

b) **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 hace necesario realizar 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 cm³), cada 15 cm, hasta la profundidad de 120 cm, utilizando un tubo Veihmeyer. Durante 24 h las muestras permanecieron en una disolución acuosa de hexametafosfato sódico al 0,4%, agitando frecuentemente. La separación de raíces y tierra se completó tras sucesivos lavados a través de un tamiz de 0,5 mm. Las raíces fueron clasificadas por diámetros: <1 mm, 1- 5 mm y >5 mm. Los resultados fueron expresados como densidad de longitud radical (DLR, cm de raíz cm⁻³ de suelo).

Balance de carbono durante la estación de crecimiento

La fotosíntesis neta (C_{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 CO₂ se controló utilizando un sistema de inyección del CIRAS 2® (Figura 17) y cilindros de CO₂ comprimidos. Las medidas se realizaron con una frecuencia semanal a concentración ambiente de CO₂ ($350 \pm 5 \mu\text{mol mol}^{-1}$) en la parte soleada de los árboles y en hojas seleccionadas limpias y sanas pertenecientes al tercio medio de las ramas.

Las fluctuaciones del diámetro del tronco (FDT) fueron medidas a partir de la lectura de sensores lineales de desplazamiento variable e inducción diferencial LVDT (Linear Variable Displacement Transducer). Los sensores LVDT (Figura 18) 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. Los sensores LVDT se calibraron periódicamente cuando excedían del rango de medida.

A partir de FDT se obtuvieron los siguientes parámetros (Goldhamer y Fereres, 2001): i) máximo crecimiento diario del diámetro del tronco (MXTD), alcanzado por el tronco a primera hora del día, ii) mínimo crecimiento diario del diámetro del tronco (MNTD), alcanzado por el tronco a mediodía, iii) máxima contracción diaria del diámetro de tronco (MCD), obtenido de la diferencia entre MXTD y MNTD y iv)



Figura 17. Equipo de intercambio gaseoso.



Figura 18. Sensores LVDT, en tronco de mandarina y fruto de nectarino, respectivamente.

tasa de crecimiento diario del tronco (TCD), obtenido por la diferencia entre el valor de MXTD en dos días consecutivos.

El Índice de Área Foliar (IAF) representa una medida de área fotosintética del árbol y resume todos los elementos que determinan la cosecha de los cultivos. En consecuencia es una medida para determinar la asimilación de carbono en los diferentes órganos de los árboles, en relación al crecimiento de cada uno de ellos (Jacobs, 1979). Los parámetros se determinaron mediante el analizador de doseles vegetales LAI-2000, (Figura 19).



Figura 19. Vista general del sensor utilizado para la medida del índice de área foliar (LAI-2000).

Las medidas se realizaron por encima y debajo del dosel vegetal en distintas orientaciones.

Con el objetivo de determinar la fenología de los cultivos, y de esta forma la caída fisiológica de flores y frutos, se realizó el seguimiento de los estadios fenológicos de las yemas de flor, a partir de conteos de yemas, flores y frutos según Frost y Soost (1968) en el caso del mandarino y según la escala general BBCH (Meier *et al.*, 1994) en el resto de cultivos.

Para el estudio de la dinámica de crecimiento del sistema radical se utilizaron minirrizotrones de metacrilato transparente, de 2 m de longitud y 80 y 74 mm de diámetro exterior e interior, respectivamente, con el extremo inferior sellado. Éstos estaban graduados a intervalos de 5 cm con marcas transversales. Los minirrizotrones fueron introducidos en el suelo, formando un ángulo de 45°, en la zona radical activa y en la proyección de la copa. Siguiendo el método descrito por Upchurch y Ritchie (1983), se cuantificó el número de raíces en cada sección del tubo, independientemente de su diámetro y longitud, comenzando las medidas 3 meses des-



Figura 20. Medidas de diámetro de fruto de mandarino y nectarino con calibre digital.

pués de la instalación de los minirrizotrones. El valor de la Densidad de Longitud de Raíces ((DLR), cm de raíz cm⁻³ de suelo) se obtuvo para cada profundidad.

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.

El diámetro del tronco y de las ramas principales se midió con un pie de rey, en dos direcciones perpendiculares entre sí para el caso del albaricoquero (Pérez-Pastor, 2001) y con una cinta métrica en la variedad de cada árbol para el resto de cultivos.

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 (Figura 20).

Tabla 1. Producción y número de frutos por árbol en albaricoquero, mandarino, almendro y nectarino, adecuadamente regados durante el período experimental.

| Albaricoquero | | Mandarino | | Almendro | | Nectarino | |
|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| kg árbol ⁻¹ | fr. árbol ⁻¹ | kg árbol ⁻¹ | fr. árbol ⁻¹ | kg árbol ⁻¹ | fr. árbol ⁻¹ | kg árbol ⁻¹ | fr. árbol ⁻¹ |
| 225,1 | 4.762,2 | 73,6 | 615,2 | 26 | 5.784 | 32 | 305 |

Tabla 2. Contenido de C en los distintos órganos del árbol durante el período experimental.

| Kg C árbol ⁻¹ | | | | | | |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|
| Órgano del árbol | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Media | Media (kg C ha ⁻¹) |
| Tronco | 0,431 | 0,613 | 0,852 | 0,867 | 0,691 | 108,0 |
| Ramas principales | 4,689 | 3,977 | 4,026 | 5,886 | 4,645 | 725,7 |
| Raíces | 5,874 | 5,858 | 6,326 | 5,855 | 5,978 | 934,2 |
| Frutos | 11,392 | 7,937 | 20,077 | 9,760 | 12,291 | 1.920,6 |
| Poda (ramas) | 5,985 | 10,183 | 6,312 | 9,287 | 7,942 | 1.241,0 |
| Hojas | 8,527 | 12,487 | 13,226 | 13,003 | 11,811 | 1.845,5 |
| Suma | 36,90 | 41,06 | 50,82 | 44,66 | 43,36 | 6.775,14 |
| Suma (kg C ha⁻¹) | 5.765,8 | 6.415,4 | 7.941,0 | 6.978,3 | 6.775,1 | |

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 en cada cultivo atendiendo a criterios de calidad y necesidades de mercado. La producción fue evaluada pesando los frutos recolectados en los árboles testigo de cada bloque y tratamiento. El peso medio del fruto se determinó a partir de 100 frutos por árbol. En muestras de 10 frutos/árbol tomadas de cada bloque y repetición, se realizaron medidas de las características físicas y químicas de los frutos.

En la Tabla 1 se recogen las producciones medias (kg árbol⁻¹) y el número de frutos (frutos árbol⁻¹) de los 4 ensayos realizados.

5. RESULTADOS

Con la metodología propuesta en este estudio se pretende, de una forma no destructiva, estimar el carbono atmosférico incorporado en el sistema suelo-planta. De esta manera, sin necesidad de realizar podas severas o talas, se consigue estimar el contenido de carbono fijado por el cultivo, además de determinar el contenido de carbono rete-

nido en el suelo. No obstante, la gran variabilidad anual y diaria que presenta la tasa fotosintética y la respiración del suelo obliga a realizar múltiples medidas a lo largo del día, además de realizar una monitorización constante a lo largo del año.

Todo ello permite la obtención del balance neto global del ciclo del carbono. Para ello se cuantifica el carbono fijado por el sistema suelo-planta (biomasa y carbono orgánico e inorgánico del suelo) y se sustrae el carbono liberado en forma de CO₂ mediante la respiración de la vegetación y microorganismos del suelo.

A modo de ejemplo, la Tabla 2 muestra el carbono fijado en los diferentes órganos del albaricoquero cv. Búlida durante un periodo de 4 años, promediando un total de 6.775,1 kg ha⁻¹ de C.

La Figura 21 muestra la evolución estacional de la precipitación ocurrida durante el ensayo, el volumen de agua de riego aplicado en los dos tratamientos de riego ensayados (un tratamiento control, CTL, regado para satisfacer las necesidades del cultivo, y un tratamiento deficitario controlado (RDC)), la asimilación neta (An) de carbono (C) del cultivo y la respiración del suelo (Rs). Dichos resultados han sido obtenidos de la parcela nº 2 de nectarinos extratempranos cv. Flanoba descrita en la metodología.

An alcanzó los valores más elevados ($\approx 15 \mu\text{m CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en los momentos previos a la recolección durante los dos años estudiados. La reducción del riego en el tratamiento RDC (30% de CTL) promovió una disminución del

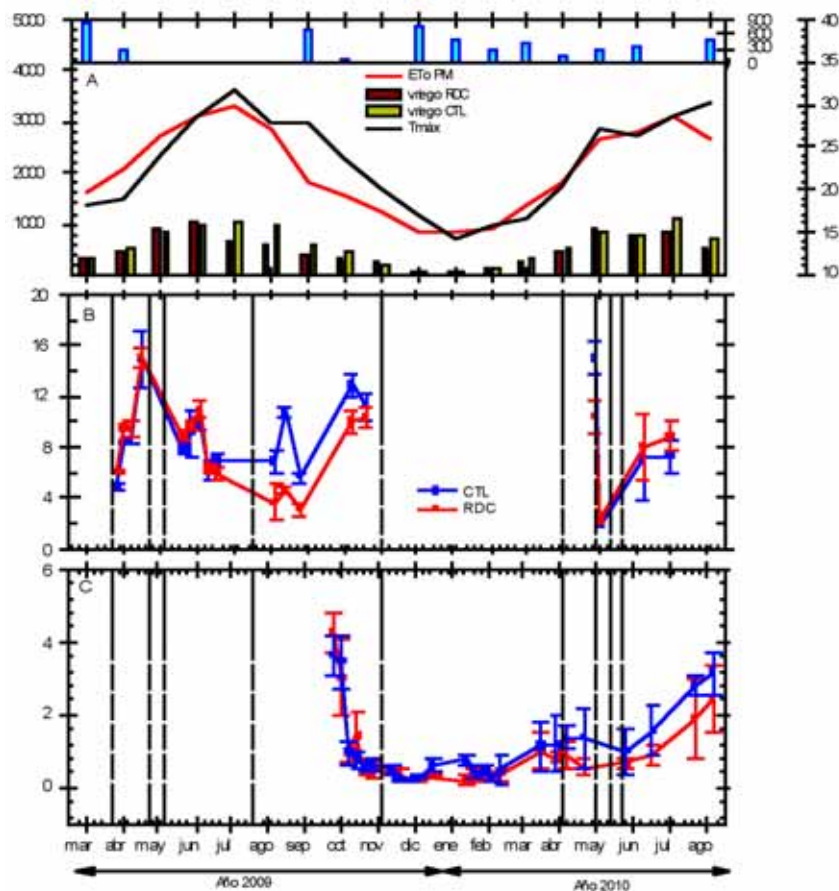


Figura 21. Evolución del volumen de riego en los dos tratamientos de riego CTL y RDC (m³ ha⁻¹), de la temperatura máxima (T_{max}), de la evapotranspiración de referencia (Eto PM, m³ ha⁻¹ mes⁻¹) y de la precipitación (m³ ha⁻¹); (A) evolución de la tasa de asimilación neta (F_n, PAR = 1500 μmol m⁻² s⁻¹, CO₂ = 350 ppm, T_{foliar} ≈ 30°C) y (B) evolución de la tasa de respiración de suelo (Rs, μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) durante el periodo de estudio (C). Las líneas de puntos representan extracciones de carbono por podas o recolección.

Tabla 3. Contenido de C (kg ha⁻¹) en los distintos órganos del árbol durante el período experimental.

| | | Feb. 2009 | Feb. 2010 | Incremento | Extracción |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|
| Tronco y ramas principales | | 5.460 | 6.550 | 1090 | 0 |
| Ramas año anterior | | 155 | 155 | 0 | 90 |
| Brotos del año | | 0 | 0 | 0 | 3.352 |
| Frutos | Aclareo 1 | - | - | | 50 |
| | Aclareo 2 | - | - | | 113 |
| | Cosecha | - | - | | 1.429 |
| Total | | | | 1.090 | 5.034 |

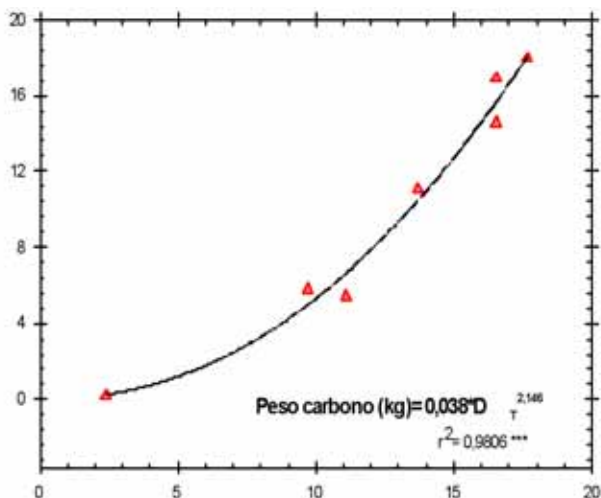


Figura 22. Correlación entre el carbono y el diámetro del tronco y ramas principales de nectarino.

64% durante el período poscosecha. Los valores de R_s oscilaron desde un máximo de $\approx 5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ocurrido en verano, hasta un mínimo de $0,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ que fue constante durante el otoño e invierno (Figura 21). El incremento de la tem-

peratura en primavera aumentó de forma paulatina la tasa de respiración del suelo. Si bien se encontró una estrecha relación de R_s con la temperatura del ambiente ($r = 0,63^{**}$), no se encontraron diferencias significativas de R_s en los dos tratamientos de riego ensayados.

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). 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 22 se muestra el estrecho ajuste encontrado ($r = 0,9806^{***}$) entre los diámetros de tronco y ramas con el C fijado, siendo posible predecir el C inmovilizado en el crecimiento del árbol dentro del rango estudiado.

Se conoce que el carbono está implicado en el crecimiento de los órganos vegetativos como material estructural y como fuente de energía metabólica. De esta forma y a partir del procedimiento ya descrito, se estimó el aumento de biomasa en función del carbono asimilado, obteniéndose una evolución estacional (Figura 23) y el contenido total (Tabla 3) del C fijado por los diferentes órganos del nectarino.

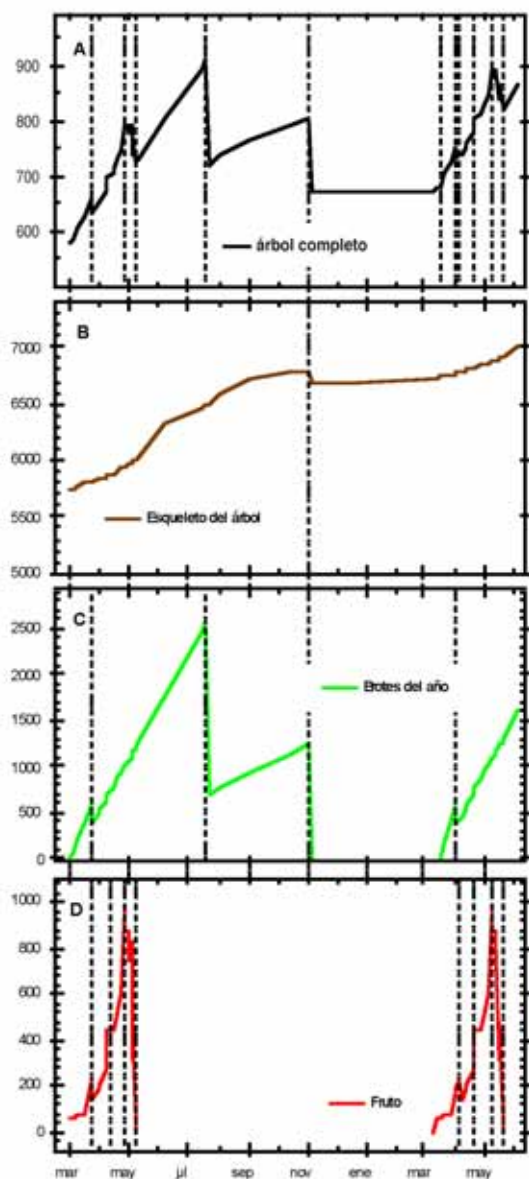


Figura 23. Evolución del contenido en carbono en los órganos del árbol: (A) parte aérea completa; (B) esqueleto del árbol (tronco, ramas principales y ramas del año anterior); (C) brotes del año; (D) frutos. Las líneas de puntos representan extracciones de carbono por podas, aclareos de fruta o recolección.

En la Figura 23 se observa que el C fijado aumenta a medida que crece el árbol y disminuye con las podas realizadas (Figura 23C), con los aclareos de frutos antes de la recolección y con la pérdida de carbono en forma de fruto destinadas al mercado en fresco (Figura 23D). Durante el periodo estudiado los nectarinos han captado 5.034 kg ha⁻¹ de C de la atmósfera a través de la fotosíntesis para incrementar el tamaño de los órganos que se eliminan del árbol anualmente (brotes, hojas y frutos) y 1.090 kg ha⁻¹ de C en el incremento del diámetro del tronco y ramas principales (Tabla 3).

La madera eliminada en las dos podas realizadas en la explotación se incorporaron en su totalidad al suelo, disminuyendo el desprendimiento de CO₂ del suelo. El valor de C desprendido por el suelo fue de 42 kg ha⁻¹.

6. 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 CO₂ en la atmósfera y mitigar los efectos del cambio climático han sido cuantiosos. Si se considera importante reducir las emisiones de CO₂, es igualmente importante incrementar los sumideros de car-

bono, de manera que el CO₂ liberado a la atmósfera sea secuestrado en fracciones de carbono estable. Los agro-sistemas tienen un gran potencial como sumidero de carbono, al fijar el CO₂ 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 CO₂ y acumularlo en formas más estables.

7. REFERENCIAS

- Albaladejo, J., Martínez-Mena, M., Almagro, M., Ruiz-Navarro, A., Ortiz R. 2009. *Factores de control en la dinámica del Carbono Orgánico de los suelos de la Región de Murcia. Avances en estudios sobre desertificación*. Romero A., Belmonte S., Alonso F., López F. (eds.). ICOD 2009. 155-159 pp.
- Almendros, G. 2004. "Investigaciones básicas sobre el origen y la estructura molecular de las formas estables de la materia orgánica relacionadas con el proceso de secuestro de carbono en el suelo". *Edafología* 11: 229-248
- Álvarez, R. 2006. "Balance de carbono en los suelos. INTA-Estación Experimental Agropecuaria Rafaela". *Publicación Miscelánea* n° 105. En: www.inta.gov.ar/rafaela.
- Batjes, N.H. 1996. "Total carbon and nitrogen in the soil of the world". *European Journal of Soil Science*, 47:151-163.
- Bagliolini, M. 1952. "Stades reperes de l'abricotier". *Revue Agr. Vitic. Arboric.* 8: 28-29.
- Boyd, C. E., y S. Pippopinyo. 1994. "Factors affecting respiration in dry pond bottom soils". *Aquaculture* 120:283-293.
- Boyd, C. E. 1995. *Bottom soils, sediment and pond aquaculture*. Chapman and Hall, New York, New York, EEUU.
- Boix-Fayos, C., Martínez-Mena, M., de Vente, J., Albaladejo, J. 2009. *Factores de control en la dinámica del Carbono Orgánico de los suelos de la Región de Murcia. Avances en estudios sobre desertificación*. Romero A., Belmonte S., Alonso F., López F. (eds.). ICOD 2009, pp.183-187.
- BORM n° 254 de 31 de octubre de 2008, por el que se establece el convenio de colaboración entre la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, a través de la Consejería de Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio, y diversas asociaciones.
- Brady, Nyle and Ray Weil. 2008. *The Nature and Properties of Soils*. 14th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 975 p.
- Buyanowski, G.A., Wagner, G.H., 1983. "Annual cycles of carbon dioxide level in soil air". *Soil Science Society of America Journal* 47, 1139-1145.
- Carballas, M., Carballas, T., Guitian, F., Cabaneiro, A. 1980. "Organic-metallic complexes in Atlantic humiferous soils". *Anales de Edafología y Agrobiología*, 39:1033-1043.
- Chesworth, W. 2004. "Redox, soils and carbon sequestration". *Edafología* 11: 37-43.
- Conant, R.T., Klopatek, J.M., Klopatek, C.C., 2000. "Environmental factors controlling soil respiration in three semiarid ecosystems". *Soil Science Society of America Journal* 64, 383-390.
- Davidson, E. A., y S. E. Trumbore, 1995. "Gas diffusivity and production of CO₂ in deep soils of the eastern Amazon". *Tellus*, 47B, 550-565.
- Decisión 2002/358/CE del Consejo, de 25 de abril de 2002, por la que se aprueba en nombre de la Comunidad Europea el Protocolo de Kyoto.
- Decreto 323/2008, de 3 de octubre, del Consejo de Gobierno, por el que se establecen los Órganos Direc-

- tivos de la Consejería de Presidencia y Administraciones Públicas.
- Decreto n.º450/2009, de 29 de diciembre, por el que se modifica el Decreto n.º 572/2008, de 29 de diciembre, por el que se regula la concesión directa de una subvención a la Universidad de Murcia (UMU), la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) y el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, para potenciar la investigación sobre los beneficios ambientales de la agricultura y su adaptación frente a los impactos del cambio climático.
 - Díaz-Raviña M., Bueno J., González-Prieto S.J., Carballas T. 2005. "Cultivation effects on biochemical properties, C storage and 15N natural abundant in the 0-5 cm layer of an acidic soil from temperate humid zone". *Soil and Tillage Research*, 84: 216-221.
 - Doorembos, J. y Pruitt, W.O. 1986. "Las necesidades de agua de los cultivos". *Estudio FAO Rieg. Dren.* 24. Ed. FAO. Roma. 194 pp.
 - Faz, A., Mermut, A., Ortiz, R., Benke, M., Chatson, B. 2002. "13 C CP/MAS-NMR spectra of organic matter as influenced by vegetation, climate and soil characteristics in soils from Murcia, Spain". *Canadian Journal Soil Science*, 82: 403-411.
 - Fereres, E., Pruitt, W.O., Beutel, J.A., Henderson, D.W., Holzaofel, E., Schulbach, H. y Uriu, K. 1981. Evapotranspiration and drip irrigation scheduling. En: *Drip Irrigation Management. Univ. California, Div. Agric. Sci., Davis. Ca. USA.* p. 8-13.
 - Froost, B., Soost R.K. 1968. Seed reproduction: development of gametes and embryos, pp 290-324.
 - Goldhamer, D.A. y Fereres, E. 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Science*, 20, 115-125.
 - Houghton, R., Hackler, J.L., Lawrence, K.T. 1999. The U.S. carbon budget: contributions from Land-use Change. *Science* 285: 574-577 pp.
 - IPCC. 1990. *Climate change*, Cambridge University Press, Cambridge UK (1990).
 - IPCC. 1996. *Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático*. Documento técnico I del IPCC. Génova, Suiza, 84 pp.
 - IPCC. 2006. *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 628 pp.
 - Jabro, J.D., Sainju, U., Stevens, W.B., Evans, R.G., 2008. "Carbon dioxide flux as affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops". *Journal of Environmental Management* 88, 1478-1484.
 - Jacobs. RPWM. 1979. "Distribution and aspects of the production and biomass of eelgrass", *Zostera marina*. L. at Roscoff, France. *Aquatic. Botany.* 7:151-172.
 - Jaramillo, V.J. 2004. "Cambio climático: una visión desde México". El ciclo global del carbono. Instituto Nacional de Ecología. México. En: <http://www.ine.gov.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html>.
 - Lackner, K.S., 2002. "Carbonate chemistry for sequestering fossil carbon". *Annual Review of Energy and the Environment* 27, 193-232.
 - Lal, R. 2004. "Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security". *Science*, 304: 1623-1627.
 - Lal, R. 2005. "Forest soils and carbon sequestration". *Forest Ecology and Management*, 220: 242-258.
 - Lal, R., Kimble, J.M., Follet R.F., Cole C.V. 1998. "The potential of U.S. cropland to sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse effect". Ann Arbor Press. *Chelsea*. 128 pp.
 - Lemke, R.L., Zhong, Z., Campbell, C.A., Zentner, R. 2007. "Can pulse crops play a role in mitigating greenhouse gases from north American agriculture?". *Agromony Journal*, 99: 1719-1725.

- Liu, Y., Yu, Z., Chen, J., Zhang, F., Doluschitz, R., Axmacher, J. 2006. "Changes of soil organic carbon in an intensively cultivated agricultural region: A denitrification-decomposition (DNDC) modelling approach". *Science of the Total Environment*, 372: 203-214
- Lozano, M. D. 2004. "Cambio climático: una visión desde México". Evidencia de cambio climático: cambios en el paisaje. Instituto Nacional de Ecología. México. En: http://www.cambio_climatico.ine.gov.mx/comprendercc/queeselcc/.
- Macías, F., Camps Arbestain, M., Rodríguez Lado, L. 2005. "Alternativas de secuestro de carbono orgánico en suelos y biomasa de Galicia". *Recursos Rurais*, 1: 71-85.
- Madejón, E., Moreno, F., Murillo, J.M., Pelegrín, F. 2007. "Long term impact of conservation tillage under semi-arid mediterranean conditions: effect on soil biochemical properties". *Soil and Tillage Research*, 94: 346-352.
- MARM. 2009. Emisiones de gases en la ganadería. En: www.marm.es/es/ganaderia.
- Martín, A., García-Marco S., Díaz-Raviña M., Carballas T. 2009. "Impacto de diferentes sistemas de cultivo sobre la fracción orgánica de un suelo agrícola del NO de España". Control de la degradación de los suelos y cambio global. Sánchez J., Asins S. (eds). *IV Simposio Nacional CDSCG*, pp. 231-233.
- Meier, U., Graf, H., Hack, H., Hess, M., Kennel, W., Klose, R., Mappes, D., Seipp, D., Stauss, R. Streif, J. y van den Boom, T. 1994. "Phänologische entwicklungsstadien der kernobsten (*Malus domestica* Borkh. und *Pyrus communis* L.), des steinobstes (*Prunus*-Arten) der johannisbeere (*Ribes*-Arten) und der erdbeere (*Fragaria x ananassa* Duch.)". Codierung und beschreibung nach der erweiterten BBCH-Skala, mit abbildungen. *Nachrichtenblatt Deutsche Pflanzenschutz* 46: 141-153
- Mermut, A.R., Eswaran, H. 2001. "Some major development in soil science since the mid-1960s". *Geoderma*, 100: 403-426.
- Monterroso, C., Gil Bueno, A., Pérez Varela, S., Macías, F. 2004. "Restauración de suelos de mina: contribución a la fijación de carbono en el ecosistema terrestre". *Edafología*, 11: 135-148.
- Moreno, F., Murillo, J.M., Pelegrín, F., Girón, I.F., 2006. "Long term impact of conservation tillage on stratification ratio of soil organic carbon and loss of total and active CaCO₃". *Soil and Tillage Research* 85: 86-93.
- Naciones Unidas. 1997. Cumbre para la Tierra +5. Departamento de Información Pública de las Naciones Unidas. DPI/1868/SD. En: www.un.org/dpcsd.
- Naciones Unidas. 2007. Objetivos de Desarrollo del Milenio de la ONU. En: www.un.org/spanish/millenniumgoals.
- Patiño-Zúñiga, L., Ceja-Navarro, J.C., García Gaytán, A., Rivera, F.N, Dendooven, L. "Emisión de gases de efectos invernadero y practicas agrícolas en México". Control de la degradación de los suelos y cambio global. Sánchez J., Asins S. (eds). *IV Simposio Nacional CDSCG*, PP. 235-237.
- Paustian, E. Levine, W.M. Post and I.M. Ryzhova. 1992. "The use of models to integrate information and understanding of soil C at the regional scale". *Geoderma*, 79: 227-260.
- Pérez- Pastor, A. 2001. Estudio agronómico y fisiológico de albaricoquero en condiciones de infradotación hídrica. Tesis doctoral.
- Raich JW., Schlesinger WH (1992) "The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate". *Tellus* 44: 81-89
- Rustad, L.E. and I.J. Fernandez. 1998. "Soil warming: consequences for litter decay in a spruce-fir forest ecosystem in Maine". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1072-1081
- Sánchez-Toribio M.I. 1992. "Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración". Cuadernos Técnicos de la SEG, nº 3. Ed. *Geoforma*. Logroño. 36 pp.
- Sánchez-Toribio M.I. 1993. "Climatología e hidrología agraria en la Región de Murcia en 1992". Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 232 pp.

- Schimel DS, Braswell BH, Holland EA, McKeown R, Ojima DS, Painter TH, Parton WJ, Townsend AR (1994) “Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils”. *Global Biogeochem Cycles* 8 : 279-293
- Schlesinger, W.H. 2000. “Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism”. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 82:121-127.
- Schurnan, H., Janzen, H., Herrick, J.E. 2002. “Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands”. *Environmental Pollution*, 116: 391- 396.
- Topp, G.C., Davis, J.L. y Annan, A.P. 1980. “Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines”. *Water Resour. Res.* 16: 574-582.
- Topp, G.C., Davis, J.L. y Annan, A.P. 1982. “Electromagnetic determination of soil water content using TDR: I”. Applications to wetting fronts and steep gradients. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 672-678
- Upchurch, D.R. y Ritchie, J.T. 1983. “Root observations using a video recording system in mini-rhizotrons”. *Agron. J.* 75, 1009-1015
- Vallejo, V.R., Díaz Fierros, F., De La Rosa, D. 2005. Impacto sobre los recursos edáficos. En: Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Moreno J.M. (ed.). Secretaría General Técnica MMA, Madrid. 355-398 pp.
- Zornoza, R., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenagui, V., Mayoral, A.M., Morales, J., Mataix-Beneyto, J. 2007. “Soil properties under natural forest in the Alicante Province of Spain”. *Geoderma* 142, 334-341.

3.5. ESTUDIO COMPARATIVO DE LA FIJACIÓN DEL CO₂ EN LA VEGETACIÓN NATURAL DE UN TRANSECTO FITOCLIMÁTICO FRENTE A CULTIVOS HORTOFRUTÍCOLAS DE LA REGIÓN DE MURCIA

Alfonso Ros Barceló*, Juan Guerra Montes, Pedro Sánchez Gómez

*Director y coordinador del proyecto. Universidad de Murcia

RESUMEN

En una tentativa de averiguar la capacidad de fijación de CO₂ de siete comunidades de vegetación natural de la Región de Murcia, en el contexto del cambio climático, en este capítulo se estudian las ratios de almacenamiento de CO₂ (g CO₂ kg⁻¹ biomasa) y la ratio de atmósfera reciclada (m³ de atmósfera reciclada kg⁻¹ biomasa) de las siguientes comunidades de plantas: : i) *Chamaerops humilis* y *Periploca angustifolia*, ii) *Thymus* y *Cistus* spp, iii) *Anthyllis cytisoides* y *Rosmarinus officinalis*, iv) *Stipa tenacissima*, v) *Pinus halepensis*, *Quercus coccifera* y *Pistacia lentiscus*, vi) *Q. rotundifolia* y vii) *Juniperus thurifera* y *J. phoenicea*.

Los resultados muestran que tanto la ratio de CO₂ almacenado como la ratio de atmósfera reciclada eran más altas en aquellas comunidades cuyos individuos presentan un contenido elevado de ligno-celulosa. El estudio se completa midiendo la capacidad neta anual de fijación de CO₂ de estas siete comunidades de plantas.

SUMMARY

In an attempt to ascertain the capacity of seven plant communities naturally growing in the Región de Murcia to fix CO₂ in the context of climatic change, we studied the CO₂ storage ratios (g CO₂ kg⁻¹ biomass) and the atmospheric cleaning ratio (m³ of recycled atmosphere kg⁻¹ biomass) of the following plant communities: i) *Chamaerops humilis*

and *Periploca angustifolia*, ii) *Thymus* and *Cistus* spp, iii) *Anthyllis cytisoides* and *Rosmarinus officinalis*, iv) *Stipa tenacissima*, v) *Pinus halepensis*, *Quercus coccifera* and *Pistacia lentiscus*, vi) *Q. rotundifolia* and vii) *Juniperus thurifera* and *J. phoenicea*. The results showed that both the CO₂ storage ratio and the atmospheric cleaning ratio were highest in those plant communities whose individuals showed an high ligno-cellulosic material content. The study is completed by measuring the annual net capacity of the seven plant communities described above for fixing CO₂.

1. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

Objetivos

1) Determinar las velocidades de fijación neta del CO₂ por año en la vegetación natural y en ciertos cultivos hortofrutícolas de la Región de Murcia. 2) Determinar la asimilación total de carbono orgánico por la vegetación natural de un transecto fitoclimático en la Región de Murcia.

Para ello se ha procedido a seguir el siguiente procedimiento que constituye las distintas fases temporales de estudio:

- Seleccionar las especies forestales de mayor interés en función de su importancia en la biomasa de las distintas formaciones vegetales de la Región de Murcia.
- Determinar las tasas de almacenamiento y de fijación neta de CO₂ de plantas jóvenes (plantones) en crecimiento activo.

- b) Determinar la biomasa de cada especie por hectárea con el fin de determinar las tasas de almacenamiento de CO₂ por cada formación vegetal. Determinar las velocidades de fijación neta de CO₂ por cada formación vegetal por hectárea y por año natural (entre el 1 de julio de 2009 y el 30 de junio de 2010).

Los valores obtenidos se compararán con los que presentan ciertos cultivos hortofrutícolas representativos de la Región de Murcia. Entre éstos se han elegido como objeto de estudio cultivos de regadío y cultivos de secano. Entre los cultivos de regadío se han estudiado cultivos de hortalizas (lechuga) y cultivos hortofrutícolas (naranja y melocotonero). Entre los de secano se ha estudiado el olivo joven (acebuche).

2. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

De acuerdo con las distintas zonas bioclimáticas y biogeográficas descritas en la Región de Murcia, se ha procedido a seleccionar zonas representativas de la vegetación natural, haciendo especial énfasis en aquellas formaciones con mayor superficie ocupada, o las de carácter emblemático y características en el contexto de la Región. Para cada formación vegetal se han elegido las especies dominantes, y en consecuencia las que representen el mayor porcentaje de biomasa.

Las formaciones vegetales estudiadas han sido:

Palmitar-cornical termo-inframediterráneo

Vegetación ampliamente representada en la franja costera y sierras sublitorales de la mitad sur provincial donde dominan especies arbustivas como el palmito (*Chamaerops humilis*), cornical (*Periploca angustifolia*) y espino negro (*Rhamnus sp. pl.*), muchas de ellas de areal iberonorteafricano.

Tomillar termo-mesomediterráneo

Formaciones de caméfitos dominadas por especies de la familia de las Labiadas (*Thymus*, *Teucrium*, *Sideritis*, *Satureja*...) y Cistáceas (*Helianthemum*, *Cistus*, *Fumana*), muchas de ellas endémicas de las sierras del sureste ibérico. Ampliamente representadas en todo tipo de ambientes.

Albaidal termo-mesomediterráneo

Formaciones termófilas ampliamente representadas en enclaves más o menos cálidos de la Región, especialmente en la franja litoral y sublitoral sobre sustratos silíceos. Domina la albaida (*Anthyllis cytisoides*). A veces alternan con formaciones de nanofanerófitos como el romero (*Rosmarinus officinalis*) o incluso con espartizales.

Espartizal

Formaciones gramíneas dominadas por el esparto (*Stipa tenacissima*) en mosaico con otros matorrales y pastizales. En la actualidad resulta difícil diferenciar los espartizales de origen antrópico de los naturales, siendo la mayoría de origen mixto. Son muy abundantes en toda la Región, salvo en cotas altas por encima de los 1.100-1.200 m.

Pinar de pino carrasco termo-mesomediterráneo.

Formaciones naturales dominadas por el pino carrasco (*Pinus halepensis*) con un sotobosque muy variado, siendo frecuente la coscoja (*Quercus coccifera*), lentisco (*Pistacia lentiscus*). Son muy frecuentes en toda la Región, escazando por encima de los 1.200 m. En muchos casos constituyen la vegetación secundaria, instalada de forma más o menos natural en lugares donde crecía otro tipo de vegetación donde los pinos no eran tan abundantes.

Carrascal meso-supramediterráneo

Formaciones arbóreas o arbustivas dominadas por la encina o carrasca (*Quercus rotundifolia*). Constituyen la vegetación relictual de buena parte de las zonas altas del

noroste, y lugares más húmedos de las montañas del interior, quedando actualmente algunos retazos. Frecuentemente se presentan formando bosques mixtos con diversas especies de coníferas.

Sabinar mixto supramediterráneo

Formaciones arbóreas o arbustivas abiertas dominadas por sabinas albares y moras (*Juniperus thurifera*, *Juniperus phoenicea*). En mosaico, suelen abundar pastizales de *Brachypodium retusum* y diversos tipos de matorrales. Este tipo de formación es característica de las inmediaciones de El Sabinar (Moratalla) y está considerada como prioritaria en el anexo I de la Directiva Hábitat.

En consecuencia, las especies que se han estudiado, teniendo en cuenta que bajo distintas combinaciones de abundancia-dominancia constituyen el mayor porcentaje de la biomasa de las formaciones forestales citadas, han sido las siguientes: *Chamaerops humilis* (palmito), *Rosmarinus officinalis* (romero), *Cistus-Helianthemum* (jara), *Periploca angustifolia* (cornical), *Quercus rotundifolia* (encina), *Quercus coccifera* (coscoja), *Pinus halepensis* (pino), *Juniperus phoenicea* (sabina común), *Juniperus thurifera* (sabina albar), *Thymus spp*s (tomillo), *Tetraclinis articulata* (ciprés de Cartagena), *Pistacia lentiscus* (lentisco) y *Stipa tenacissima* (esparto); utilizándose para los ensayos de campo plantones de cada especie.

3. FINCA EXPERIMENTAL

Localización de la finca experimental

La finca experimental está localizada en una parcela del SEAF de la Universidad de Murcia.

Tipificación de las muestras

Se han utilizado plantones (individuos de menos de 1 año) de todas las especies, junto a individuos de 1 a 5 años (pino,

sabina albar, sabina común, ciprés de Cartagena, cornical, palmitos, acebuches, naranjos y melocotoneros), e individuos de 10 años (palmitos y pinos) crecidos en condiciones de regadío. Los valores que se dan en la presente memoria corresponden a valores obtenidos bajo condiciones de saturación hídrica y constituyen, por tanto, valores de fotosíntesis neta máxima. En el caso de árboles que presentan una ramificación por año, se ha determinado la edad a partir del número de ramificaciones, edad que se ha confirmado a través de la medida del número de anillos del tronco. Se ha utilizado también el grosor del tronco como medida no destructiva para determinar la edad, una vez que se ha establecido para la flora silvestre el crecimiento medio en grosor de los anillos del tronco por año.

Periodo de estudio

Los individuos se tipificaron en cuanto a su biomasa (peso fresco) en los meses de junio de 2009, enero de 2010 y mayo-junio de 2010. Sólo la última tipificación fue destructiva, consistiendo el proceso en la desecación de las muestras en una estufa a 60° C hasta peso constante, y la molienda de las muestras en un molinillo de bolas hasta un tamaño máximo de partícula de 0,05 mm.

Variables climáticas durante el periodo de estudio

Las variables climáticas durante el periodo de estudio han sido recogidas diariamente en la estación meteorológica del SEAF. Los valores medios de temperatura, humedad relativa (HR) y radiación solar para los periodos de estudio se dan en las Tablas 1 y 2, y los correspondientes valores diarios en las Figuras 1 y 2.

Determinaciones analíticas

Los residuos secos finamente molidos han sido objeto de un análisis elemental de C en un analizador Eager 200. Se ha utilizado como patrón una muestra que contenía 72,27% C, estando todos los contenidos de C de las muestras comprendidos entre el 40 y el 55%.

Tabla 1. Valores medios de temperatura, humedad relativa y radiación solar en los periodos comprendidos entre julio y diciembre de 2009, y enero y junio de 2010.

| Variable atmósfera | Julio-diciembre 2009 | Enero-junio 2010 |
|-------------------------------|----------------------|------------------|
| Temperatura máxima (° C) | 29,53 ± 7,58 | 21,99 ± 7,08 |
| Temperatura mínima (° C) | 16,44 ± 6,42 | 10,17 ± 4,71 |
| HR máxima (%) | 87,69 ± 22,77 | 92,98 ± 10,81 |
| HR mínima (%) | 39,01 ± 70,22 | 39,30 ± 16,46 |
| Radiación (W/m ²) | 599,87 ± 275,81 | 728,64 ± 335,68 |

Tabla 2. Valores medios de temperatura, humedad relativa y radiación solar en los periodos comprendidos entre julio de 2009 y junio de 2010.

| Variable atmósfera | Julio 2009-junio 2010 |
|-------------------------------|-----------------------|
| Temperatura máxima (° C) | 25,75 ± 8,24 |
| Temperatura mínima (° C) | 13,29 ± 6,43 |
| HR máxima (%) | 90,36 ± 17,96 |
| HR mínima (%) | 39 ± 50,85 |
| Radiación (W/m ²) | 664,71 ± 313,71 |

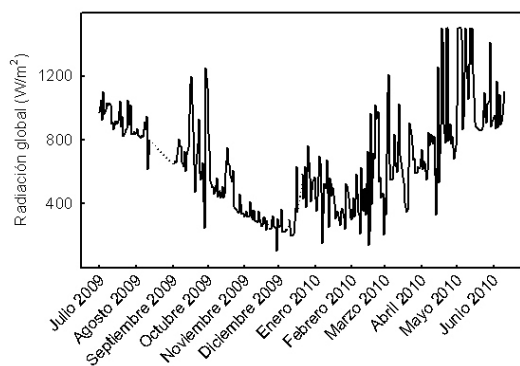


Figura 1. Valores de radiación global diarios entre julio de 2009 y junio de 2010.

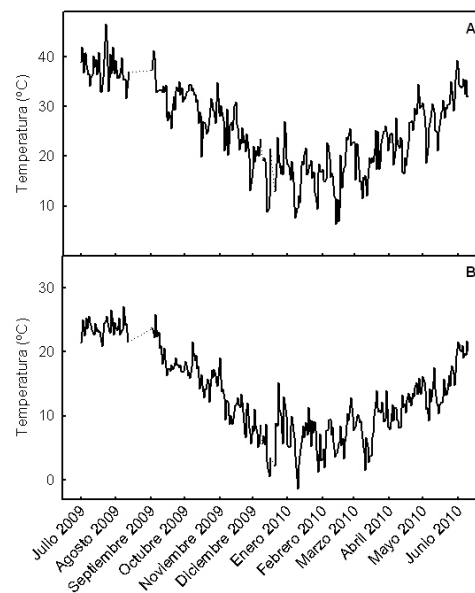


Figura 2. Valores de temperaturas máximas (A) y mínimas (B) diarios entre julio de 2009 y junio de 2010.

Tasas de almacenamiento de C y tasas de almacenamiento de CO₂

A partir del contenido en C de cada muestra, se ha calculado la tasa de almacenamiento de C y la tasa de almacenamiento de CO₂ para cada especie por unidad de biomasa.

Velocidades de fotosíntesis neta

Se han determinado las velocidades de fotosíntesis neta a partir de las determinaciones de C en cada tipificación. Los aumentos en el contenido de C de cada individuo por unidad de tiempo y por unidad de biomasa nos ha servido para calcular las velocidades de fotosíntesis neta normalizada en los periodos de estudio. La determinación de estas velocidades de fotosíntesis neta normalizada tiene dos ventajas. Por una parte nos permite comparar las velocidades de fotosíntesis neta entre individuos de diferentes especies que no presenten la misma edad, pues depende exclusivamente de la especie y no de la edad de los individuos. Este hecho se ha validado experimentalmente con individuos de diferente edad de la misma especie. Por otra parte, nos permite determinar por inferencia las velocidades de fotosíntesis neta de un ecosistema forestal, simplemente conociendo la biomasa de los individuos y su densidad.

Capacidad de saneamiento de la atmósfera de la flora silvestre

Se ha calculado el volumen de atmósfera que se recicla (sanea) (VAR) por cada aumento en 1 kg de biomasa vegetal durante el crecimiento de cada especie. Para estos cálculos se ha tenido en cuenta los niveles actuales de CO₂ en la atmósfera (~385 ppm) y los niveles observados antes del periodo industrial (280 ppm), previos a la aparición del “efecto invernadero”. Los valores que se dan en la presente memoria incluyen también la velocidad de saneamiento de la atmósfera por cada especie, y por cada formación vegetal.

4. RESULTADOS

Relaciones alométricas

Se han establecido las relaciones alométricas de crecimiento para todas las especies objeto de estudio bajo condiciones de regadío. Para estas relaciones, se han determinado los parámetros a y b de la siguiente ecuación general de crecimiento para cada especie:

$$BM = a \Phi^b \text{ (Eq. 1)}$$

donde BM es el peso fresco (biomasa) de la planta (que incluye la suma de la biomasa foliar, biomasa del tronco o del tallo y la biomasa de las raíces), y Φ puede ser la altura de la planta (σ), o el diámetro (δ) del tronco o del tallo, dependiendo de la especie (matorral, arbusto o árbol). Estas relaciones alométricas nos han permitido determinar la biomasa de la vegetación natural (biomasa total) a partir de medidas no destructivas de la altura de sus individuos, o del grosor de sus troncos o tallos. Los valores de a y b obtenidos para cada una de las especies estudiadas se describen en la tabla 3, y se han obtenido a partir de la Eq. 1 linealizada:

$$\ln BM = \ln a + b \ln \Phi \text{ (Eq. 2)}$$

Estas relaciones alométricas no se han calculado para especies como el esparto, el romero o el tomillo vulgar. En el primer caso, el crecimiento de la especie silvestre, medida como cantidad de biomasa, no tiene una dependencia importante del grosor de cada cáñamo, sino del número de cáñamos, mientras que en el caso del romero o del tomillo vulgar, y probablemente del ciprés de Cartagena en el paraje de El Sabinar (Cartagena), el crecimiento de las especies silvestres se encuentra sometido a una fuerte presión por la densidad de herbívoros, por lo que el grosor del tronco, o número de troncos, no necesariamente refleja la cantidad actual de biomasa, sino más bien su historia previa.

Tabla 3. Valores de a y b obtenidos para las diferentes especies estudiadas, así como coeficientes de correlación de las regresiones lineales descritas en la Eq. 2.

| Especie | a | b | r |
|---------------------|----------|--------|--------|
| Pino carrasco | 119,2738 | 2,3469 | 0,9599 |
| Encina | 78,6812 | 2,6887 | 0,8383 |
| Jara blanca | 96,3134 | 2,4298 | 0,9753 |
| Palmito | 5,5224 | 2,6581 | 0,9783 |
| Lentisco | 90,4127 | 2,4461 | 0,9786 |
| Ciprés de Cartagena | 161,0992 | 2,8642 | 0,8151 |
| Sabina albar | 418,9784 | 2,4517 | 0,9713 |
| Sabina común | 327,7894 | 2,3591 | 0,9759 |
| Cornical | 97,1640 | 2,3484 | 0,9519 |

Tabla 4. Tasas de almacenamiento de C y de CO₂ de matorrales, arbustos y arbolados de la Región de Murcia, normalizadas por unidad de biomasa.

| Especie | Tasa de almacenamiento de C (g C Kg ⁻¹ biomasa) | Tasa de almacenamiento de CO ₂ (g CO ₂ Kg ⁻¹ biomasa) |
|----------------|---|---|
| Palmito | 212 ± 17 | 777 ± 62 |
| Romero | 202 ± 16 | 741 ± 60 |
| Jara blanca | 110 ± 11 | 401 ± 41 |
| Cornical | 153 ± 12 | 561 ± 44 |
| Encina | 235 ± 18 | 861 ± 70 |
| Coscoja | 260 ± 21 | 952 ± 76 |
| Pino carrasco | 301 ± 24 | 1.103 ± 88 |
| Sabina común | 124 ± 9 | 456 ± 36 |
| Sabina albar | 153 ± 12 | 561 ± 45 |
| Tomillo vulgar | 112 ± 9 | 411 ± 33 |
| C. Cartagena | 230 ± 18 | 842 ± 67 |
| Lentisco | 121 ± 1 | 443 ± 30 |
| Esparto | 189 ± 7 | 693 ± 28 |
| Albaida | 105 ± 7 | 385 ± 25 |

Tasas de almacenamiento de C y CO₂

De los resultados expuestos en la Tabla 4 se desprende que las mayores tasas de almacenamiento de CO₂ por uni-

dad de biomasa son mostradas por el pino carrasco, seguidos muy de cerca por la coscoja, la encina y el ciprés de Cartagena. Este resultado probablemente obedece a la

Tabla 5. Tasas de almacenamiento de C y de CO₂ de hortalizas y cultivos de secano de la Región de Murcia, normalizadas por unidad de biomasa.

| Especie | Tasa de almacenamiento de C (g C Kg ⁻¹ biomasa) | Tasa de almacenamiento de CO ₂ (g CO ₂ Kg ⁻¹ biomasa) |
|-----------|---|---|
| Lechuga | 57 ± 9 | 207 ± 35 |
| Acebuches | 128 ± 6 | 472 ± 22 |

Tabla 6. Volumen de atmósfera reciclable (VAR) a niveles previos a la observación del “efecto invernadero” de matorrales, arbustos y arbolados de la Región de Murcia, normalizado por unidad de biomasa.

| Especie | Volumen de atmósfera reciclable (m ³ kg ⁻¹ biomasa) |
|---------------------|---|
| Palmito | 7,40 ± 0,58 |
| Romero | 7,05 ± 0,56 |
| Jara blanca | 3,81 ± 0,39 |
| Cornical | 5,34 ± 0,42 |
| Encina | 8,20 ± 0,65 |
| Coscoja | 9,06 ± 0,72 |
| Pino carrasco | 10,5 ± 0,08 |
| Sabina común | 4,34 ± 0,33 |
| Sabina albar | 5,34 ± 0,42 |
| Tomillo vulgar | 3,91 ± 0,31 |
| Ciprés de Cartagena | 8,01 ± 0,64 |
| Lentisco | 4,21 ± 0,28 |
| Esparto | 6,60 ± 0,26 |
| Albaida | 3,66 ± 0,24 |

gran cantidad de material ligno-celulósico por unidad de biomasa que presentan estas especies. En el lado contrario, el lentisco, el tomillo vulgar, la jara blanca y la albaida son los que presentan menores tasas de almacenamiento de CO₂ por unidad de biomasa. A partir de estos resultados se puede concluir que son, en este orden, el pino carrasco, la

Tabla 7. Volumen de atmósfera reciclable (VAR) a niveles previos a la observación del “efecto invernadero” de hortalizas y cultivos de secano de la Región de Murcia, normalizado por unidad de biomasa.

| Especie | Volumen de atmósfera reciclable (m ³ kg ⁻¹ biomasa) |
|-----------|---|
| Lechuga | 1,97 ± 0,33 |
| Acebuches | 4,49 ± 0,20 |

coscoja, la encina y el ciprés de Cartagena los sumideros de CO₂ atmosférico más eficaces por unidad de biomasa de la flora silvestre, pudiendo llegar a fijar cantidades de CO₂ de la misma magnitud que la propia biomasa vegetal. Como cabe esperar, las tasas de almacenamiento de CO₂ por unidad de biomasa para la flora silvestre (Tabla 4) son superiores a las mostradas por ciertas hortalizas y ciertos cultivos de secano (Tabla 5), donde en su selección agrícola priman más otras características que su alto contenido en fibra ligno-celulósica.

Capacidad de saneamiento de la atmósfera de la flora silvestre

Como es obvio, los resultados descritos en las Tablas 6 y 7 para la capacidad de saneamiento de la atmósfera de la flora silvestre siguen las mismas tendencias que los obtenidos para las tasas de almacenamiento de CO₂

Tabla 8. Valores de fotosíntesis neta normalizada (kg CO₂ fijado año natural⁻¹ kg⁻¹ biomasa) para cada una de las especies estudiadas en los periodos comprendidos entre julio y diciembre de 2009 y enero y junio de 2010, así como valores de inferencia estimados en su caso para un año natural; @, especies que presentaron mutilación de hojas en los periodos estudiados.

| Especie | Fotosíntesis neta normalizada kg CO ₂ fijado año natural ⁻¹ Kg ⁻¹ biomasa | | | |
|----------------|--|-------------------|-------------------|----------------|
| | Julio 09-diciembre 09 | Enero 10-junio 10 | Julio 09-junio 10 | Anual |
| Palmito | 1,46 ± 0,20 | | 1,30 ± 0,25 | 1,30 ± 0,25 |
| Romero | 1,24 ± 0,79 | | 2,12 ± 0,21 | 2,12 ± 0,21 |
| Jara blanca | 9,04 ± 0,69 | | 21,50 ± 4,04 | 21,50 ± 4,04 |
| Cornical @ | | | 1,68 ± 0,20 | 1,68 ± 0,20 |
| Encina @ | 0,06 ± 0,01 | | 0,80 ± 0,12 | 0,80 ± 0,12 |
| Coscoja @ | 0,42 ± 0,19 | | 0,49 ± 0,01 | 0,49 ± 0,01 |
| Pino carrasco | 6,38 ± 1,43 | | 10,63 ± 0,89 | 10,63 ± 0,89 |
| Sabina común | 1,27 ± 1,16 | | 2,09 ± 0,53 | 2,09 ± 0,53 |
| Sabina albar | 1,08 ± 0,13 | | 1,43 ± 0,05 | 1,43 ± 0,05 |
| Tomillo vulgar | | 1,81 ± 0,38 | | 1,81 ± 0,38 |
| C. Cartagena @ | 2,12 ± 0,00 | | 1,80 ± 0,00 | 1,80 ± 0,00 |
| Lentisco | 6,37 ± 0,34 | | 8,07 ± 2,06 | 8,07 ± 2,06 |
| Esparto | 1,75 ± 0,84 | | 4,66 ± 1,24 | 4,66 ± 1,24 |
| Albaida | | 2,63 ± 0,39 | | 2,63 ± 0,39 |
| Lechuga | 77,57 ± 17,75 | | | 77,57 ± 17,75 |
| Melocotonero | | | | Por determinar |
| Naranja | | | | Por determinar |
| Acebuches | | 2,31 ± 0,20 | | 2,31 ± 0,20 |

(Tablas 4 y 5), siendo el pino carrasco capaz de reciclar hasta 10 m³ de atmósfera (en c.n.) por cada aumento en 1 kg de biomasa vegetal.

Valores de fotosíntesis neta normalizada de la flora silvestre

Los valores de fotosíntesis neta normalizada (FNN) para la flora silvestre y para algunos cultivos agrícolas se dan en la Tabla 8. Estos valores incluyen los obtenidos en los periodos comprendidos entre julio y diciembre de 2009, enero y junio de 2010, y julio de 2009 a junio de 2010. En la presente memoria se tomaron los valores ob-

tenidos en el periodo julio de 2009-junio de 2010 como los correspondientes a un año natural. En otros casos, como el caso del tomillo vulgar, albaida y acebuches, se tomaron por inferencia los valores obtenidos en el periodo de enero a junio 2010 como los equivalentes a los de un año natural; y éste también fue el caso de la lechuga, para la que los valores obtenidos en el periodo de julio a diciembre 2009 se tomaron por extrapolación como los correspondientes a los de un año natural. Esta aproximación puede ser válida, ya que los valores medios de temperaturas y radiación solar en estos periodos no son significativamente diferentes entre ellos, ni entre cada una de

Tabla 9. Nombre vulgar y sistemático de las especies objeto de estudio, parajes estudiados, altitud sobre el nivel del mar, coordenadas esféricas de las localizaciones y número de pies por ha de cada una de las especies.

| Nombre vulgar | Nombre sistemático | Paraje | Altitud (m) | Latitud (N)/ longitud (W) | Nº de pies ha ⁻¹ |
|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Ciprés de Cartagena | <i>Tetraclinis articulata</i> | El Sabinar, Cartagena | 54 | 37° 37.280' / 000° 47.810' | 60 |
| Cornical | <i>Periploca angustifolia</i> | Monte de San Julian, Cartagena | 73 | 37° 34.580' / 000° 57.783' | 3.000 |
| Coscoja | <i>Quercus coccifera</i> | El Chopillo, Moratalla | 383 | 38° 16.298' / 001° 46.189' | 90 |
| Encina | <i>Quercus rotundifolia</i> | Carrascal de Bagil, Moratalla | 1.299 | 38° 14.949' / 002° 02.178' | 186 |
| Esparto | <i>Stipa tenacissima</i> | Cabezo de la Galera, La Unión | 79 | 37° 35.300' / 000° 52.200' | 6.000 |
| Jara blanca | <i>Cistus albidus</i> | Casas de la Morra, Cartagena | 339 | 37° 35.733' / 001° 08.500' | 4.500 |
| Lentisco | <i>Pistacia lentiscus</i> | El Chopillo, Moratalla | 383 | 38° 16.298' / 001° 46.189' | 110 |
| Palmito | <i>Chamaerops humilis</i> | Cabezo Beaza, Cartagena | 124 | 37° 37.650' / 000° 57.450' | 510 |
| Pino carrasco | <i>Pinus halepensis</i> | El Chopillo, Moratalla | 383 | 38° 16.298' / 001° 46.189' | 60 |
| Romero | <i>Rosmarinus officinalis</i> | Zaen, Moratalla | 1.205 | 38° 13.411' / 002° 04.840' | 4.700 |
| Sabina albar | <i>Juniperus thurifera</i> | Calar de la Santa, Moratalla | 1.163 | 38° 11.799' / 002° 10.828' | 285 |
| Sabina común | <i>Juniperus phoenicea</i> | Casicas del Portal, Moratalla | 1.216 | 38° 14.785' / 002° 00.658' | 204 |
| Tomillo vulgar | <i>Thymus vulgaris</i> | Calar de la Santa, Moratalla | 1.163 | 38° 11.799' / 002° 10.828' | 48.200 |
| Albaida | <i>Anthyllis cytisoides</i> | Casas de la Morra, Cartagena | 292 | 37° 35.666' / 001° 08.666' | 5.200 |

Tabla 10. Biomasa por pie y por ha de cada especie en los parajes estudiados.

| Especie | Biomasa (kg) pie ⁻¹ | Pies ha ⁻¹ | Biomasa (kg) ha ⁻¹ |
|---------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Esparto | 3,44 ± 0,18 | 6.000 | 20.676 ± 1.092 |
| Albaida | 1,90 ± 0,34 | 5.200 | 9.885 ± 1.778 |
| Tomillo vulgar | 0,30 ± 0,10 | 48.200 | 14.868 ± 5.187 |
| Romero | 6,08 ± 2,83 | 4.700 | 28.611 ± 13.331 |
| Jara blanca | 0,60 ± 0,01 | 4.500 | 2.697 ± 45 |
| Coscoja | 21,8 ± 17,4 | 90 | 1.963 ± 1.573 |
| Pino carrasco | 285 ± 151 | 60 | 17.111 ± 9.060 |
| Cornical | 29,0 ± 0,7 | 3.000 | 87.000 ± 2.364 |
| Palmito | 24,2 ± 2,9 | 510 | 12.371 ± 1.488 |
| Ciprés de Cartagena | 76,7 ± 37,9 | 60 | 4.605 ± 2.274 |
| Sabina albar | 102 ± 87 | 285 | 29.215 ± 24.845 |
| Lentisco | 10,3 ± 7,5 | 110 | 1.143 ± 830 |
| Sabina común | 111 ± 82 | 204 | 22.644 ± 16.728 |
| Encina | 317 ± 260 | 186 | 59.080 ± 49.200 |

Tabla 11. Valores de fotosíntesis neta máxima de cada formación vegetal en los parajes estudiados.

| Especie | Biomasa (Kg) pie ⁻¹ | Pies ha ⁻¹ |
|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Espartal | Cabezo de la Galera (La Unión) | 96,35 ± 5,44 |
| Jaral de estepa blanca | Casas de la Morra (Cartagena) | 57,83 ± 0,98 |
| Albaidal | Casas de la Morra (Cartagena) | 25,98 ± 1,48 |
| Romeral | Zaen (Moratalla) | 60,66 ± 4,55 |
| Cornical | M. de San Julián (Cartagena) | 146,16 ± 17,84 |
| Palmitar | Cabezo Beaza (Cartagena) | 16,08 ± 3,64 |
| Sabinar albar | Calar de la Santa (Moratalla) | 41,77 ± 35,54 |
| Tomillar | Calar de la Santa (Moratalla) | 26,91 ± 2,01 |
| Sabinar común | Casicas del Portal (Moratalla) | 47,32 ± 34,96 |
| Sabinar (Ciprés de Cartagena) | El Sabinar (Cartagena) | 8,28 ± 4,12 |
| Carrascal (Encinar) | Carrascal de Baril (Moratalla) | 47,26 ± 40,41 |
| Pinar de pino carrasco | El Chopillo (Moratalla) | 181,89 ± 14,24 |
| Lentiscar | El Chopillo (Moratalla) | 9,22 ± 7,09 |
| Coscojar | (El Chopillo) Moratalla | 0,96 ± 0,79 |

Tabla 12. Valores de fotosíntesis neta máxima del chaparral de El Chopillo (Moratalla).

| Formación vegetal compleja | Fotosíntesis neta máxima (mg CO ₂ año ⁻¹ ha ⁻¹) |
|----------------------------|---|
| Total | 192,07 ± 24,33 |
| Pinar de pino carrasco | 181,89 ± 14,24 |
| Lentiscar | 9,22 ± 7,09 |
| Coscojar | 0,96 ± 0,79 |

Tabla 13. Valores de fotosíntesis neta máxima del sabinar de sabina albar del Calar de la Santa (Moratalla).

| Formación vegetal compleja | Fotosíntesis neta máxima (mg CO ₂ año ⁻¹ ha ⁻¹) |
|----------------------------|---|
| Total | 68,68 ± 37,25 |
| Sabinar albar | 41,77 ± 35,54 |
| Tomillar | 26,91 ± 2,01 |

ellos y los correspondientes valores medios anuales (Tablas 1 y 2). De los valores expuestos en la Tabla 8, se desprende que son la lechuga, la jara blanca y el pino carrasco los que presentan mayores tasas de FNN, destacando que la lechuga es capaz de presentar valores de FNN siete veces superiores a los mostrados por el pino carrasco. En la cara opuesta, son la encina y la coscoja las que presentan menores tasas de FNN. En los resultados descritos en la Tabla 8 hay que tener en cuenta que tanto el cornical como el ciprés de Cartagena, la encina y la coscoja sufrieron periodos de auto-mutilación masiva de hojas en el mes de julio de 2009 y, en el caso de la coscoja, también en diciembre de 2009, por lo que los datos de FNN para estas especies pueden estar infravalorados.

Una vez obtenidos los datos de FNN en la finca experimental para todas las especies, el siguiente paso incluyó la

determinación de la biomasa de cada especie en cada formación vegetal, para así poder determinar las velocidades de fotosíntesis neta anuales en cada ecosistema.

Definición de los ecosistemas: tipos de vegetación y localización

La definición de los ecosistemas, sus tipos de vegetación y localización se dan en el Anexo I. Los resultados más relevantes sobre la composición de las especies, la localización de los parajes, la altitud sobre el nivel del mar, sus coordenadas esféricas y el número de pies por ha se resumen en la Tabla 9 de la presente memoria.

Determinación de la biomasa

En la Tabla 10 se dan los resultados obtenidos para la biomasa por pie y por ha de cada una de las especies en los parajes estudiados. En el caso del esparto, la albaída, el tomillo vulgar y la jara blanca, la biomasa por pie de estas especies se determinó directamente por recogida de muestras en los parajes estudiados. En el caso del pino carrasco, cornical, palmito, ciprés de Cartagena, sabina albar y sabina común, la biomasa por pie se determinó de acuerdo con las ecuaciones alométricas descritas en la Tabla 3. Finalmente, en el caso de la coscoja, la biomasa por pie se determinó a partir de medidas no destructivas de dosel de acuerdo con Sternberg & Shoshany (2001).

Los errores estándar excesivamente altos en la determinación de la biomasa por pie observados para algunas especies obedecen a dos factores: el primero de ellos es la alta heterogeneidad de los especímenes en los parajes estudiados. Así, y como ejemplo, en el sabinar albar del Calar de la Santa (Moratalla) conviven individuos que presentan perímetros del tronco que varían entre 17 cm y 97 cm. El segundo factor es la incertidumbre de los valores de inferencia calculados de acuerdo a las líneas de regresión descritas en la Eq. 2, especialmente cuando los coeficientes de correlación son excesivamente bajos (< 0,9500) como es

Tabla 14. Velocidad de saneamiento (‘cleaning’) de la atmósfera de cada formación vegetal simple en los parajes estudiados.

| Formación vegetal simple | Velocidad de saneamiento de la atmósfera (hm ³ ha ⁻¹ año ⁻¹) |
|--------------------------------|--|
| Espartal | 0,91 ± 0,05 |
| Jaral de estepa blanca | 0,55 ± 0,01 |
| Albaidal | 0,24 ± 0,01 |
| Romeral | 0,58 ± 0,04 |
| Cornical | 1,39 ± 0,17 |
| Palmitar | 0,15 ± 0,03 |
| Sabinar albar | 0,39 ± 0,34 |
| Tomillar | 0,25 ± 0,02 |
| Sabinar común | 0,45 ± 0,33 |
| Sabinar de Ciprés de Cartagena | 0,08 ± 0,04 |
| Carrascal (encinar) | 0,45 ± 0,38 |
| Pinar de pino carrasco | 1,73 ± 0,13 |
| Lentiscar | 0,08 ± 0,06 |
| Coscojar | 0,01 ± 0,01 |

el caso, especialmente, de la encina y el ciprés de Cartagena. Aunque lamentablemente una vez cometidos estos errores se propagan hasta el final de los cálculos (Tabla 11 y siguientes), también cabe decir que estos errores están presentes (incluso en mayor magnitud) en todos los estudios publicados sobre fotosíntesis neta de ecosistemas terrestres, especialmente si cubren áreas del mediterráneo (Evrendilek y col. 2006), donde la heterogeneidad de las poblaciones es extraordinariamente grande.

Velocidad de fotosíntesis neta máxima de las diferentes formaciones vegetales

Las velocidad de fotosíntesis neta máxima (FNM) por las diferentes formaciones vegetales se dan en la Tabla 11. De los resultados expuestos en esta tabla puede deducirse que

son el pinar de pino carrasco de El Chopillo (Moratalla) y el cornical del Monte de San Julián (Cartagena) los que presentan una mayor FNM, con valores de 181,89 ± 14,24 y 146,16 ± 17,84 mg CO₂ año⁻¹ ha⁻¹. En el lado contrario, se encuentra el sabinar de Ciprés de Cartagena de El Sabinar (Cartagena), que presenta valores de sólo 8,28 ± 4,12 mg CO₂ año⁻¹ ha⁻¹.

Si se examinan dos formaciones vegetales específicas como son el chaparral de El Chopillo (Moratalla) (Tabla 12), compuesto por tres especies dominantes, el pino carrasco, el lentisco y la coscoja, y el sabinar albar del Calar de la Santa (Moratalla) (Tabla 13), compuesto por dos especies dominantes, un sabinar de sabina albar y un tomillar, puede decirse que, en la primera formación vegetal, es el pinar de pino carrasco el responsable del 95% del CO₂ fijado por año, mientras que, en el sabinar, es la sabina albar la especie responsable del 60% del CO₂ fijado por año.

Finalmente, si se estudian las velocidades de saneamiento de la atmósfera por cada formación vegetal simple, los valores (Tabla 14) siguen las mismas tendencias que los observados para la FNM (Tabla 11), siendo de destacar que un pinar de pino carrasco es capaz de reciclar hasta 1,73 ± 0,13 hm³ de atmósfera año⁻¹ ha⁻¹ (medida en c.n.).

Definición de los ecosistemas: tipos de vegetación y localización

Albaidales: *Anthyllis cytisoides*

Localización

Morra de las Casas, Cartagena
 292 m (37° 35.750' N/001° 08.666'W)

Descripción de la vegetación

Tomillares y matorrales caracterizados por la presencia de *Thymus hyemalis*, *Thymus membranaceus* y *Sideritis murgetana subsp. littoralis*. Además de estas especies son abun-

dantes otras caméfitos y nanofanerófitos como *Atractylis humilis*, *Fumana ericoides*, *Helianthemum almeriense*, *Helianthemum viscarium*, *Helichrysum italicum*, *Teucrium capitatum* subsp. *gracillimum*, *Teucrium murcicum*, *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Globularia alypum*, *Rosmarinus officinalis* y *Anthyllis cytisoides*, entre otros. La comunidad modelo elegida se reconoce como una variante sobre suelos silicatados con dominancia de *Anthyllis cytisoides*.

Serie de vegetación

Etapa de degradación de *Chamaeropo humilis-Rhamnetyloicoidis* S.

Fitosociología

ROSMARINETEA OFFICINALIS RIVAS-MARTÍNEZ, T.E., DÍAZ, F. PRIETO, LOIDI & PENAS

Ord. *Anthyllidetalia terniflorae* Rivas Goday, Rigual, Esteve, Borja & Rivas-Martínez in Rivas Goday & Borja 1961 em. Alcaraz & Delgado 1998.

All. *Thymo moroderi-Sideritidion leucanthae* O. Bolòs 1957 corr. Alcaraz, T.E. Díaz, Rivas-Martínez & P. Sánchez 1989.

Ass. *Saturejo canescentis-Cistetum albidi* Rivas Goday 1954 corr. Alcaraz, T.E. Díaz, Rivas-Martínez & P. Sánchez 1989.

Protección. Decreto 50/2003 y Directiva Hábitat

Anthyllis cytisoides es especie no incluida en el Anexo I del Decreto regional de protección de la flora silvestre.

Hábitat de Interés Comunitario No Prioritario No Raro: Variante de *Anthyllis cytisoides* de suelos silicatados 5330 433442 *Saturejo canescentis-Cistetum albidi* Rivas Goday 1954 corr. Alcaraz, T. E. Díaz, Rivas-Martínez & P. Sánchez 1989.

Muestreo

Número de pies/hectárea de la *Anthyllis cytisoides*: 5.200.



Albaidal.



Anthyllis cytisoides.

Carrascal: *Quercus rotundifolia*



Localización

Bagil, Moratalla.

1.299 m (38° 14.949'N/002° 02.178'W).

Descripción de la vegetación

Bosques de carrasca más o menos densos con un sotobosque rico en arbustos. Las especies representativas de esta comunidad son *Quercus rotundifolia*, *Berberis vulgaris* subsp. *australis*, *Crataegus monogyna*, *Cytisus scoparius* subsp. *reverchonii*, *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*, *Juniperus phoenicea* subsp. *phoenicea*, *Lonicera etrusca*, *Rosa micrantha*...

Serie de vegetación

Berberido hispanicae-Querceto rotundifoliae S. *junipere-toso thuriferaes*.

Fitosociología

QUERCETEA ILICIS BR.-BL. EX A. & O. BOLÒS 1950



Carrascal.

Ord. *Quercetalia ilicis* Br.-Bl. ex Molinier 1934 em. Rivas-Martínez 1975.

All. *Quercion broteroi* Br.-Bl., P. Silva & Rozeira 1956 em. Rivas-Martínez 1975 corr. Ladero 197.

Suball. *Paeonio broteroi-Quercenion rotundifoliae* Rivas-Martínez in Rivas-Martínez, Costa & Izco 1986.

Ass. *Berberido hispanicae-Quercetum rotundifoliae* Rivas-Martínez 1987.

Protección. Decreto 50/2003 y Directiva Hábitat

Quercus rotundifolia es especie incluida en el Anexo I del Decreto regional de protección de la flora silvestre: categoría 'De Interés Especial'.

Hábitat de Interés Comunitario No Prioritario No Raro: 9340 834012 *Berberido hispanicae-Quercetum rotundifoliae* Rivas-Martínez 1987.

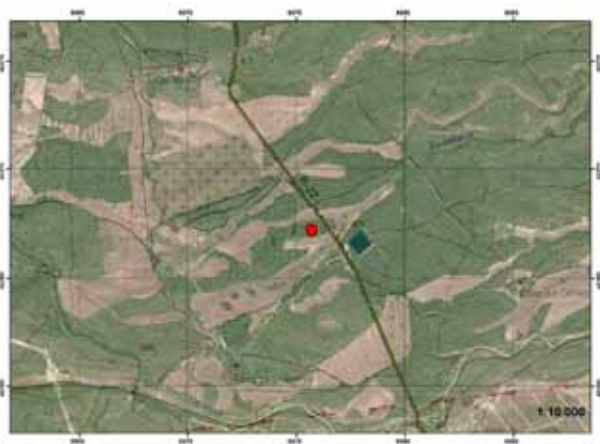
Muestreo

Número de pies/hectárea de *Quercus rotundifolia*: 186.



Quercus rotundifolia.

Chaparral: *Pinus halepensis*,
Pistacia lentiscus, *Quercus coccifera*



Localización

El Chopillo, Moratalla.

383 m (38° 16.298' / 001° 46.189').

Descripción de la vegetación

Matorrales esclerófilos dominados por coscojas (*Quercus coccifera*), lentiscos (*Pistacia lentiscus*), a los que suelen acompañar diversos arbustos como *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*, *Olea europaea*, *Rhamnus lycioides* subsp. *lycioides*, etc., y el pino carrasco (*Pinus halepensis*), que suele formar un estrato arbóreo abierto.

Serie de vegetación

Rhamno lycioidis-Querceto cocciferae S. *daphnetoso gnidii* s.

Fitosociología

QUERCETEA ILICIS BR.-BL. EX A. & O. BOLÒS 1950

Ord. *Pistacio lentisci-Rhamnetalia alaterni* Rivas-Martínez 1975.

Rhamno lycioidis-Quercion cocciferae Rivas Goday ex Rivas-Martínez 1975.

Ass. *Rhamno lycioidis-Quercetum cocciferae* Br.-Bl. & O. Bolòs 1954.

Protección. Decreto 50/2003 y Directiva Hábitat

Pinus halepensis, *Pistacia lentiscus* y *Quercus coccifera* son especies no incluidas en el Anexo I del Decreto regional de protección de la flora silvestre.

Hábitat de Interés Comunitario No Prioritario No Raro: 5210 421014 *Rhamno lycioidis-Quercetum cocciferae* Br.-Bl. & O. Bolòs 1954.

Muestreo

Número de pies/hectárea de:

- *Pinus halepensis*: 60
- *Pistacia lentiscus*: 110
- *Quercus coccifera*: 90



Formación mixta de pino carrasco y chaparral en el estrato arbustivo inferior.



Pinus halepensis.



Pistacia lentiscus.



Quercus coccifera.

Cornicales: *Periploca angustifolia*



Localización

Monte San Julián, Cartagena
73 m (37° 34.583'N/0° 57.783'W)

Descripción de la vegetación

Matorral de una altura de hasta 2,5 m, malacófilo, dominado por el cornical (*Periploca angustifolia*), y acompañado normalmente de algunas plantas esclerófilas como *Chamaerops humilis*, *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus oleoides*, *Asparagus albus* y *Asparagus horridus*, entre otras.

Serie de vegetación

Mayteno europaei-Periploceto angustifoliae S.

Fitosociología

QUERCETEA ILICIS BR.-BL. EX A. & O. BOLÒS 1950

Ord. *Pistacio lentisci-Rhamnetalia alaterni* Rivas-Martínez 1975.

Cl. *Periplocion angustifoliae* Rivas-Martínez 1975.



Cornical.

Ass. Mayteno europaei-Periplocetum angustifoliae
Rivas Goday & Esteve in Rivas Goday in Rivas Goday, Borja, Esteve, Galiano, Rigual & Rivas-Martínez 1960 corr. Rivas-Martínez 1975.

Protección. Decreto 50/2003 y Directiva Hábitat

Periploca angustifolia es especie incluida en el Anexo I del Decreto regional de protección de la flora silvestre: categoría 'Vulnerable'.

Hábitat de Interés Comunitario Prioritario Muy Raro:
5220 422011 *Mayteno-Periplocetum angustifoliae* Rivas Goday & Esteve in Rivas Goday, Borja, Esteve, Galiano, Rigual y Rivas-Martínez 1975.

Muestreo

Número de pies/hectárea de *Periploca angustifolia*: 3.000.



Periploca angustifolia.

Espartales: *Stipa tenacissima*

Localización

Cabezo de la Galera, La Unión
79 m (37° 35.300'N/000° 52.600'W)

Descripción de la vegetación

Pastizales más o menos densos, en su variante termófila, a veces muy denso y monoespecífico por influencia antrópica, caracterizados por *Stipa tenacissima* y de una altura de hasta 90 cm. Se presentan entre las atochas, formando parte de estas comunidades un elevado número de especies herbá-



ceas, geófitos, y en mosaico algunos caméfitos. Algunas de las especies más representativas son *Avenula murcica*, *Brachypodium retusum*, *Dactylis hispanica*, *Asphodelus cerasiferus*, *Dipcadi serotinum*, *Gagea durieui subsp. iberica*, *Gladiolus illyricus* y *Lapiedra martinezii*, entre otras.

Serie de vegetación

Complejo biteselar *Mayteno europaei-Periploceto angustifoliae-Arisaro simorrhini-Tetraclinieto articulatae* S.

Fitosociología

LYGEO-STIPETEA RIVAS-MARTÍNEZ 1978.

Ord. *Lygeo-Stipetalia* Br.-Bl. & O. Bolòs 1958.

Cl. *Stipion tenacissimae* Rivas-Martínez 1978.

Ass. *Lapiedro martinezii-Stipetum tenacissimae* Rivas-Martínez & Alcaraz in Alcaraz 1984.

Protección. Decreto 50/2003 y Directiva Hábitat

Stipa tenacissima es especie no incluida en el Anexo I del Decreto regional de protección de la flora silvestre.

Hábitat de Interés Comunitario Prioritario No Raro: 6220 522224 *Lapiedro martinezii-Stipetum tenacissimae* Rivas-



Espartal.



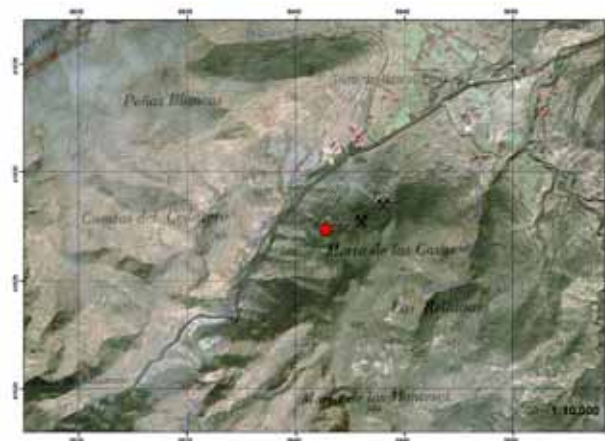
Stipa tenacissima.

Martínez & Alcaraz in Alcaraz 1984. Comunidad no incluida en el anexo I de la Directiva europea. Disponible para actualización.

Muestreo

Número de pies/hectárea de *Stipa tenacissima*: 6.000.

Jaral de estepa blanca: *Cistus albidus*



Localización

Morra de las Casas, Cartagena
 339 m (37° 35.733'N/001° 08.500'W)

Descripción de la vegetación

Tomillares y matorrales caracterizados por la presencia de *Thymus hyemalis*, *Thymus membranaceus* y *Sideritis murgetana subsp. littoralis*. Además de estas especies son abundantes otras caméfitos y nanofanerófitos como *Atractylis humilis*, *Fumana ericoides*, *Helianthemum almeriense*, *Helianthemum viscarium*, *Helichrysum italicum*, *Teucrium capitatum subsp. gracillimum*, *Teucrium murcicum*, *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Globularia alypum*, *Rosmarinus officinalis* y *Anthyllis cytisoides*, entre otros.

Serie de vegetación

Etapa de degradación *Chamaeropo humilis-Rhamneto lycioidis* S.

Fitosociología

ROSMARINETEA OFFICINALIS RIVAS-MARTÍNEZ, T.E. DÍAZ, F. PRIETO, LOIDI & PENAS

Ord. *Anthyllidetalia terniflorae* Rivas Goday, Rigual, Esteve, Borja & Rivas-Martínez in Rivas Goday & Borja 1961 em. Alcaraz & Delgado 1998.

All. *Thymo moroderi-Sideritidion leucanthae* O. Bolòs 1957 corr. Alcaraz, T.E. Díaz, Rivas-Martínez & P. Sánchez 1989.

Asociación *Saturejo canescentis-Cistetum albidu* Rivas Goday 1954 corr. Alcaraz, T.E. Díaz, Rivas-Martínez & P. Sánchez 1989.

Protección. Decreto 50/2003 y Directiva Hábitat

Cistus albidus es especie no incluida en el Anexo I del Decreto regional de protección de la flora silvestre.



Cistus albidus.

Hábitat de Interés Comunitario No Prioritario No Raro:
5330 433442 *Saturejo canescentis-Cistetum albidu* Rivas Goday 1954 corr. Alcaraz, T. E. Díaz, Rivas-Martínez & P. Sánchez 1989.

Muestreo

Número de pies/hectárea de *Cistus albidus*: 4.500.

Palmitares: *Chamaerops humilis*



Localización

Cabezo Beza, Moratalla
124 m (37° 37.650'N/000° 57.450'W)

Descripción de la vegetación

En el caso del lugar elegido como modelo para muestreo de número de pies por hectárea la vegetación se presenta como un matorral esclerófilo dominado, casi exclusivamente por el palmito (*Chamaerops humilis*). En su óptimo ecológico está acompañado de otras especies como lentiscos (*Pistacia lentiscus*), coscojas (*Quercus coccifera*), es-

pinos negros (*Rhamnus lycioides*, *Rhamnus oleoides*), enebros (*Juniperus oxycedrus subsp. oxycedrus*), esparragueras (*Asparagus albus*, *Asparagus horridus*), acebuches (*Olea europaea*), bayones (*Osyris lanceolata*), belchos (*Ephedra fragilis*) y algunas lianas (*Arenaria montana subsp. intricata*, *Rubia peregrina subsp. longifolia*).

Serie de vegetación

Chamaeropo humilis-*Rhamneto lycioidis* S.

Fitosociología

QUERCETEA ILICIS BR.-BL. EX A. & O. BOLÒS 1950

Ord. *Pistacio lentisci*-*Rhamnetalia alaterni* Rivas-Martínez 1975.

All. *Asparago albi*-*Rhamnion oleoidis* Rivas Goday ex Rivas-Martínez 1975.

Asoc. *Chamaeropo humilis*-*Rhamnetum lycioidis* O. Bolòs 1957.

Protección. Decreto 50/2003 y Directiva Hábitat

Chamaerops humilis es especie incluida en el Anexo I del Decreto regional de protección de la flora silvestre: categoría 'De Interés Especial'.

Hábitat de Interés Comunitario No Prioritario No Raro: 5330 433316 *Chamaeropo humilis*-*Rhamnetum lycioidis* O. Bolòs 1957.

Muestreo

Número de pies/hectárea de *Chamaerops humilis*: 510.



Palmitar.



Chamaerops humilis.

Romerales: *Rosmarinus officinalis*



Localización

Zaén de Arriba, Moratalla
1205 m (38° 13.411'N/002° 04.840'W)

Descripción de la vegetación

Matorrales-tomillares caracterizados por la convivencia de algunos caméfitos como *Thymus vulgaris*, *Salvia lavandulifolia*, *Helianthemum cinereum*, *Teucrium leonis*. En la zona elegida para muestreo encontramos una variante donde predominan los nanofanerófitos *Rosmarinus officinalis* y *Cistus clusii*, además de *Genista scorpius*.

Serie de vegetación

Etapa de degradación de *Berberido hispanicae-Querceto rotundifoliae* S. *juniperetoso thuriferae* s.

Fitosociología

ROSMARINETEA OFFICINALIS RIVAS-MARTÍNEZ, T.E. DÍAZ, F. PRIETO, LOIDI & PENAS

Ord. *Rosmarinetalia officinalis* Br.-Bl. ex Molinier 1934



Rosmarinus officinalis.

All. *Lavandulo-Genistion boissieri* Rivas Goday & Rivas-Martínez 1969.

Ass. *Teucrio leonis-Erinaceetum anthyllidis* P. Sánchez & Alcaraz 1993.

Protección. Decreto 50/2003 y Directiva Hábitat

Rosmarinus officinalis es especie no incluida en el Anexo I del Decreto regional de protección de la flora silvestre.

Hábitat de Interés Comunitario No Prioritario No Raro: variante de degradación de 4090 309074 *Salvio pseudovellereae-Teucrietum leonis* P. Sánchez & Alcaraz 1992.

Muestreo

Número de pies/hectárea de *Rosmarinus officinalis*: 4.700.

Sabinar albar: *Juniperus thurifera*



Localización

Calar de la Santa, Moratalla

1.163 m (38° 11.799'N/002° 10.828'W)

Descripción de la vegetación

En la zona de muestreo se presenta como un bosque abierto de sabina albar aunque es frecuente que aparezcan como acompañantes algunas especies de pinos como pino carrasco, pino blanco y pino rodeno, formando así masas mixtas.

Serie de vegetación

Junipereto phoeniceo-thuriferae S. *pinetoso clusianae* s.

Fitosociología

PINO-JUNIPERETEA RIVAS-MARTÍNEZ 1965.

Ord. *Pino-Juniperetalia* Rivas-Martínez 1965.

Cl. *Juniperion thuriferae* Rivas-Martínez 1969.

Ass. *Juniperetum phoeniceo-thuriferae* (Br.-Bl. & O. Bolòs 1958) Rivas-Martínez 1987.

Subass. *pinetosum clusianae*.



Sabinar albar.

Protección. Decreto 50/2003 y Directiva Hábitat

Juniperus thurifera es especie incluida en el Anexo I del Decreto regional de protección de la flora silvestre: categoría 'Vulnerable'.

Hábitat de Interés Comunitario Prioritario No Raro: 9530 853352 *Juniperetum phoeniceo-thuriferae* (Br.-Bl. & O. Bolòs 1958) Rivas-Martínez 1987 subass. *pinetosum clusianae* P. Sánchez & Alcaraz 1993.

Muestreo

Número de pies/hectárea de *Juniperus thurifera*: 285.



Juniperus thurifera.

Sabinar común: *Juniperus phoenicea*

Localización

Casicas del Portal, Moratalla
1.216 m (38° 14.785'N/002° 00.658'W)

Descripción de la vegetación

En su óptimo ecológico se presenta la vegetación como formaciones abiertas de pino blanco (*Pinus nigra* subsp. *clusiana*) y sabinas moras (*Juniperus phoenicea*), en cuyos claros son muy abundantes los caméfitos. En la zona elegida para el muestreo se presenta un único estrato domi-



nado por *Juniperus phoenicea* y acompañado de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*.

Serie de vegetación

Vegetación permanente en el potencial de *Berberido hispanicae-Querceto rotundifoliae* S. *juniperetoso thuriferae* s.

Fitosociología

PINO-JUNIPERETEA RIVAS-MARTÍNEZ 1965.

Ord. Pino-*Juniperetalia* Rivas-Martínez 1965.

Cl. Pino *ibericae-Juniperion sabiniae* Rivas Goday ex Rivas Goday & Borja 1961 corr. Rivas-Martínez & J.A. Molina in Rivas-Martínez, Fernández-González & Loidi 1999.

Ass. *Junipero phoeniceae-Pinetum clusianae* F. Valle, Mota & Gómez-Mercado 1989.

Protección. Decreto 50/2003 y Directiva Hábitat

Juniperus phoenicea es especie incluida en el Anexo I del Decreto regional de protección de la flora silvestre: categoría 'De Interés Especial'.

Hábitat de Interés Comunitario Prioritario No Raro: 9530 853342 *Junipero phoeniceae-Pinetum clusianae* F. Valle,



Sabinar común.



Juniperus phoenicea.

Mota & Gómez-Mercado 1989 corr. Rivas-Martínez, Fernández-González, Loidi, Lousã & Penas 2001.

Muestreo

Número de pies/hectárea de la *Juniperus phoenicea*: 204.

Sabinares de Ciprés de Cartagena: *Tetraclinis articulata*



Localización

El Sabinar, Cartagena

54 m (37° 37.283'N/000° 47.816'W)

Descripción de la vegetación

Formaciones muy abiertas sobre suelos muy poco evolucionados caracterizadas por *Tetraclinis articulata* y acompañadas de pino carrasco (*Pinus halepensis*). Se presentan en mosaico un elevado número de especies herbáceas y arbustivas como *Stipa tenacissima*, *Stipa offneri*, *Aristida coerulea*, *Hyparrhenia sinaica*, *Satureja obovata* subsp. *canescens*, *Lithodora fruticosa*, *Periploca angustifolia*, *Rhamnus oleoides* subsp. *angustifolia* y *Chamaerops humilis*, entre otras.

Serie de vegetación

Arisaro simorrhini-Tetraclinieto articulatae S.

Fitosociología

QUERCETEA ILICIS BR.-BL. EX A. & O. BOLÒS 1950

Ord. *Pistacio lentisci-Rhamnetalia alaterni* Rivas-Martínez 1975.

Cl. *Periplocion angustifoliae* Rivas-Martínez 1975.

Ass. *Arisaro simorrhini-Tetraclinidetum articulatae* Rivas Goday & Rivas-Martínez in Rivas-Martínez 1975.

Protección Decreto 50/2003 y Directiva Hábitat

Tetraclinis articulata es especie incluida en el Anexo I del Decreto regional de protección de la flora silvestre: categoría 'Vulnerable'.

Hábitat de Interés Comunitario Prioritario Muy Raro: 9570 857011 *Arisaro simorrhini-Tetraclinidetum articulatae* Rivas Goday & Rivas-Martínez in Rivas-Martínez 1975.

Muestreo

Número de pies/hectárea de *Tetraclinis articulata*: 60.



Sabinar de ciprés de Cartagena.



Tetraclinis articulata.

Tomillares: *Thymus vulgaris*



Localización

Calar de la Santa, Moratalla
1.163 m (38° 11.799'N/002° 10.828'W)

Descripción de la vegetación

Matorrales-tomillares caracterizados por la convivencia de algunos caméfitos como *Thymus vulgaris*, *Salvia lavandulifolia*, *Helianthemum cinereum*, *Teucrium leonis*. Es frecuente la presencia de *Erinacea anthyllis* en condiciones de supramediterráneo, como en la zona elegida para muestreo.

Serie de vegetación

Etapa de degradación dentro del potencial *Junipereto phoeniceo-thuriferae* S. pinetoso *clusianae* s.

Fitosociología

ROSMARINETEA OFFICINALIS RIVAS-MARTÍNEZ, T.E. DÍAZ, F. PRIETO, LOIDI & PENAS

Ord. *Rosmarinetaia officinalis* Br.-Bl. ex Molinier 1934



Tomillares de tomillo vulgar.

All. *Lavandulo-Genistion boissieri* Rivas Goday & Rivas-Martínez 1969.

Ass. *Teucrio leonis-Erinaceetum anthyllidis* P. Sánchez & Alcaraz 1993.

Protección. Decreto 50/2003 y Directiva Hábitat

Thymus vulgaris es especie no incluida en el Anexo I del Decreto regional de protección de la flora silvestre.

Hábitat de Interés Comunitario No Prioritario No Raro: 4090 309074 *Salvio pseudovellereae-Teucrietum leonis* P. Sánchez & Alcaraz 1992.

Muestreo

Número de pies/hectárea de *Thymus vulgaris*: 48.200.



4. REFERENCIAS

- Evrendilek F., Berberoglu S., Taskinsu-Meydan S., Yilmaz E. (2006). “Quantifying carbon budgets of conifer Mediterranean forest ecosystems, Turkey”. *Environm. Monitor. Assess.* 119: 527-543.
- Sternberg M., Shoshany M. (2001). “Influence of slope aspect on Mediterranean woody formations: comparison of a semiarid and an arid site in Israel”. *Ecolog. Res.* 16: 335-345.

4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE EN EXPLOTACIONES AGRARIAS

4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE EN EXPLOTACIONES AGRARIAS

Francisco Victoria Jumilla*, Isabel Costa Gómez**, Teresa Castro Corbalán**, Ramón García Cárdenas**, M^a Carmen Romojaro Casado**, M^a Luisa Mesa del Castillo Navarro**

*Director y coordinador del proyecto. **Asistencias técnicas para el proyecto

La metodología aplicada para la determinación de las emisiones de gases de efecto invernadero en las explotaciones agrícolas en el marco de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ ha sido la propuesta por la norma ISO 14064¹, que, al igual que el GHG Protocol², señala que hay que contemplar obligatoriamente, a la hora de calcular las emisiones de CO₂ equivalente, las emisiones directas (consumo de combustible para el procesado en campo del cultivo, en las que se incluye el labrado, siembra, poda-triturado, aclarado, acolchado, tratamientos, abonado de fondo, instalación de riego, las necesarias para el procesado fresco, la recolección y el transporte al almacén así como los óxidos de nitrógeno procedentes del suelo por fertilización³) y las indirectas debidas a la energía.

Los factores de conversión utilizados son los publicados por el IPCC⁴ y por el Ministerio de Medio Ambiente y

Medio Rural y Marino, en el Inventario Nacional de Emisiones.

Debido a la dificultad de contar con factores de conversión suficientemente contrastados para el resto de emisiones indirectas (distintas de las producidas por el consumo de energía), la Orden de la iniciativa, en su Anexo C, no contempla la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV)⁵. La iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ no exige, por tanto, que se haga un ACV completo incluyendo otras emisiones indirectas, pero se da la posibilidad de que, voluntariamente, y siempre que se cuente con los factores de conversión adecuados, los productores lo incluyan en su balance y así quedará reflejado en la página web (www.lessco2.es).

Si bien para calcular el balance de carbono según la metodología establecida en la ISO 14064 entre las emisiones a considerar no es obligatorio contemplar el trans-

1. UNE-ISO 14064-1. "Gases de Efecto Invernadero. Especificación con orientación, a nivel de organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero"/ UNE-ISO 14064-2. "Gases de Efecto Invernadero. Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento de remociones de gases de efecto invernadero"/ UNE-ISO 14064-3. "Gases de Efecto Invernadero. Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero".
2. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol). Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte. Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute) y Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (World Business Council for Sustainable Development).
3. El óxido nítrico tiene un potencial de calentamiento global muy superior al CO₂; según el último informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) es de 310, por lo que pequeñas emisiones de este gas pueden significar un impacto importante en el balance de carbono de la explotación agrícola y, en consecuencia, en el balance de carbono asociado a cada cultivo.
4. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).
5. Según la ISO 14040:2006 "Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia", un análisis de ciclo de vida es la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida, estando definido ciclo de vida como etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de producto, desde la adquisición de materia prima o su generación a partir de recursos naturales hasta su disposición final.

porte (sólo se deben considerar las emisiones directas y las indirectas debidas a la energía), al constituir éste un factor a tener en cuenta, se ha calculado adicionalmente lo que representa en emisiones transportar los productos hasta los centros de distribución. Para esto, se ha elegido como punto representativo del mercado centro europeo el sur de Alemania, considerando por tanto una distancia de 2.000 km desde el centro de la Región de Murcia.

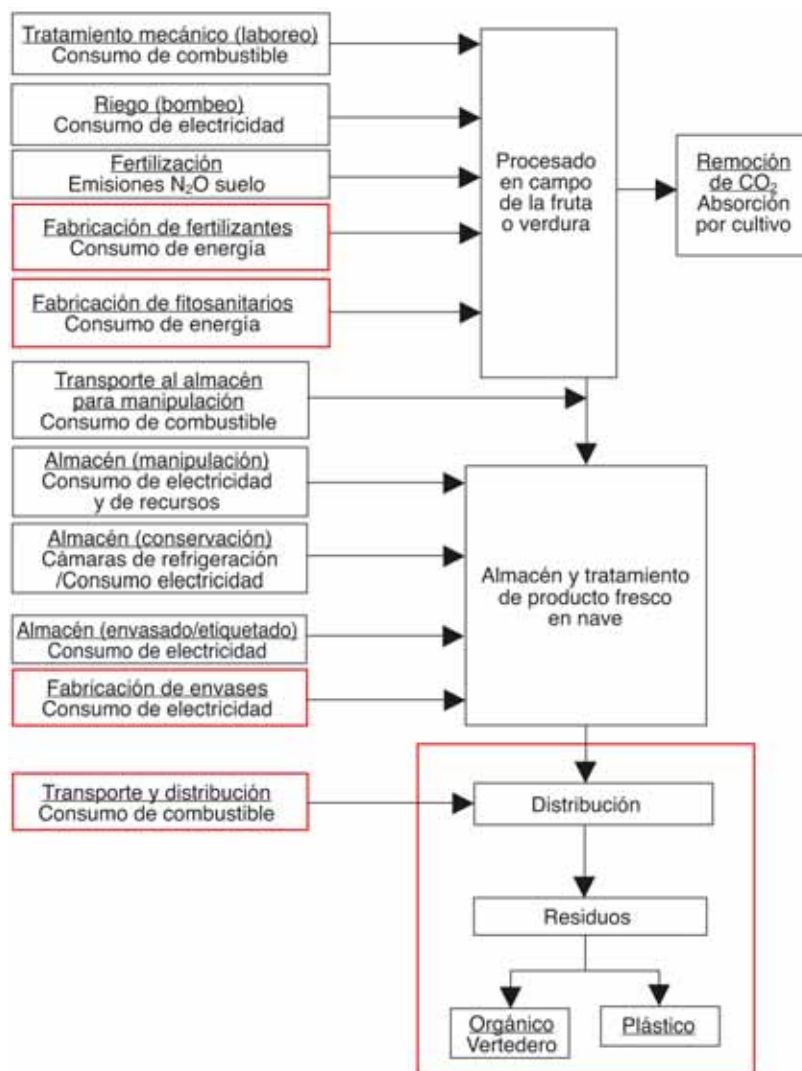
Cálculo de las emisiones de CO₂ equivalente paso a paso

PASO 1. Construcción del mapa de procesos del producto, desde las materias primas hasta el producto final, incluyendo todos los materiales, energía y procesos.

El mapa de procesos es la herramienta a través de la cual se tiene una visión completa de las etapas de fabricación del producto que ayuda a la recolección de datos y al cálculo del balance de carbono. En este caso hemos realizado un mapa de proceso de B2C (*Business-to-consumer*), es decir, desde la materia prima hasta el consumidor.

Para elaborar el mapa de proceso se han seguido las siguientes etapas:

- Definición de la unidad funcional: la unidad funcional estará relacionada con la unidad de comercialización de cada fruta y/o verdura.
- Lista de ingredientes y proporciones: al tratarse de un producto agrícola, el único



componente es la fruta/hortaliza y el envase. Para la producción se utilizan fertilizantes y tratamientos fitosanitarios.

- Lista de actividades involucradas en la producción y el consumo de la fruta y/o hortaliza:
 - Procesado en campo
 - Tratamiento mecánico (laboreo)
 - Riego
 - Fertilización, incluyendo su producción, formulación, envasado y transporte
 - Tratamiento fitosanitario, incluyendo su producción, formulación, envasado y transporte
 - Manufactura y envasado
 - Transporte del producto fresco a la nave
 - Envasado y fabricación de envases
 - Conservación en cámaras de refrigeración
 - Distribución final del producto
 - Transporte desde la nave a centros de distribución
 - Transporte desde centros de distribución a tiendas y supermercados
 - Venta
 - Uso (alimentación)
 - Tratamiento de los residuos

Las emisiones de CO₂ equivalente de las actividades recuadradas con fondo rojo en el siguiente mapa de proceso no son obligatorias a la hora de calcular el balance de carbono según el Anexo C de la Orden de regulación de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂.

PASO 2. Revisión de límites y priorización. Según lo establecido en la Orden por la que se desarrolla la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ y su sello aso-

ciado LessCO₂, las emisiones tenidas en cuenta en el balance de carbono deben incluir obligatoriamente (véase paso 4 para definiciones):

- emisiones directas de gases de efecto invernadero y
- emisiones indirectas de gases de efecto invernadero por energía.

Adicionalmente, no se incluirán en el balance de carbono, pero se podrán calcular si es de interés para la organización solicitante del sello LessCO₂, otras emisiones indirectas de CO₂ equivalente.

PASO 3. Toma de datos. Son necesarios dos tipos de datos para determinar las emisiones de CO₂ equivalente para el cálculo del balance de carbono, los datos de actividad y los factores de emisión. Los primeros se refieren a todos los materiales y cantidades de energía asociadas al producto estudiado. Los factores de emisión facilitan la conversión de estas cantidades en emisiones de gases de efecto invernadero.

Los datos de actividad y los factores de emisión pueden proceder de emisiones primarias o secundarias, según se refiera a medidas hechas internamente o a datos externos que no sean específicos del producto. Es una buena práctica utilizar principalmente datos primarios.

Como ayuda en la recolección de datos para la determinación de las emisiones de gases de efecto invernadero de la instalación, así como para la presentación de la Declaración responsable por la que se presentan compromisos anuales en el marco de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂, definida en el Anexo B de la Orden de regulación de la citada iniciativa, se puede seguir el siguiente esquema:



| | |
|---|--|
| Nombre de la empresa | |
| Tipo de cultivo y variedad | |
| Coordenadas UTM de la finca y referencia catastral | |
| Término municipal al que pertenece en la Región de Murcia | |

DATOS GENERALES

| | |
|--|--|
| Descripción de la finca (características generales) | |
| Número hectáreas cultivadas | |
| Producción anual (t/ha) y (unidades/ha) | |
| Densidad de plantación (Nº árboles/ha) | |
| Tipo de regadío | |
| Ciclo del cultivo (años)/ Fechas de plantación y recolección | |
| Peso medio de una unidad de fruta o verdura / intervalo (g) | |
| Pertenece a comunidad de regantes (SÍ/NO) | |

OBSERVACIONES:

DATOS ESPECÍFICOS

Emisiones directas:

1. Preparación del terreno.

Se considerarán las emisiones directas procedentes del consumo de combustible utilizado en el labrado, siembra, poda-triturado, aclarado, acolchado, tratamientos, abonado de fondo, instalación de riego, etc.

| | |
|---|--|
| Tipo de combustible utilizado por la maquinaria | |
| Litros combustible/año | |

2. Fertilización.

Se consideran las emisiones principalmente de origen biogénico procedentes de la fertilización, básicamente nitrificación y desnitrificación.

| | |
|--|--|
| Consumo de fertilizante | |
| Total de fertilizante sintético utilizado NFERT (kg N/año) | |
| Contenido de N | |
| Litros de fertilizante/ha | |

3. Transporte y recolección.

Se considera el transporte hasta la nave/almacén.

| | |
|-------------------------|--|
| Tipo de combustible: | |
| Litros combustible/año: | |

Emisiones indirectas por energía:

1. Riego por goteo.

Se consideran las emisiones debidas al consumo de electricidad por captación y distribución.

| | |
|--|--|
| Consumo de electricidad (kWh) | |
| En caso de utilizar combustible, especificar tipo y consumo anual (se considera emisión directa) | |

2. Almacén y otros.

| | |
|--|--|
| Consumo de electricidad (kWh) | |
| En caso de combustible, especificar tipo y consumo anual | |

Otras emisiones indirectas: emisiones del transporte al mercado

Si del transporte al mercado se encarga la propia empresa, las emisiones se consideran directas; si la empresa de transporte está subcontratada, se consideran “otras emisiones indirectas”:

Empresa propia.

| | |
|---|--|
| Tipo de combustible utilizado por la maquinaria | |
| Litros combustible/año | |

Empresa subcontratada.

| | |
|---|--|
| Nombre de la(s) empresa(s) de transporte | |
| Tipo de combustible utilizado por la maquinaria | |
| Litros combustible/año | |

Las principales fuentes de nuestros factores de emisión son:

- El Inventario Nacional de gases de efecto invernadero (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino).
- Datos de electricidad suministrados por el IDAE.
- Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Directrices IPCC, 1996.

PASO 4. Cálculo de las emisiones de CO₂ equivalente para la determinación del balance de carbono.

a. Emisiones directas de gases de efecto invernadero

Según la norma ISO 14064-1:2006 las emisiones directas de gases de efecto invernadero son todas aquellas provenientes de de una unidad o proceso físico que libera gases de efecto invernadero hacia la atmósfera y que pertenecen o son controladas por la organización. En el caso del sector hortofrutícola tenemos las siguientes:

- Preparación del terreno: se han considerado las emisiones directas de gases de efecto invernadero (expresadas como CO₂ equivalente) de los procesos de labrado, siembra, poda-triturado, aclarado, acolchado, tratamientos, abonado de fondo e instalación de riego.

| Consumo de combustible (L gasoil/ha) | Factor de conversión ⁶ (kg CO ₂ /L) | Emisiones CO ₂ (kg CO ₂ /ha año) | kg fruta-hortaliza/ha | kg CO ₂ /kg fruta-hortaliza |
|---|--|---|-----------------------|--|
| | 2,69 | | | |

En el caso de utilizar como combustible gasolina, el factor de conversión utilizado será 2,38 kg CO₂/L.

- Transporte y recolección: en esta etapa se han contabilizado las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte en camión del campo a la nave de procesado y almacenamiento.

Consumo de combustible.

| Consumo de combustible (L gasoil/ha) | Factor de conversión ⁷ (kg CO ₂ /L) | Emisiones CO ₂ (kg CO ₂ /año) | kg fruta-hortaliza/ha | kg CO ₂ /kg fruta-hortaliza |
|---|--|--|-----------------------|--|
| | 2,63 | | | |

En el caso de utilizar como combustible gasolina, el factor de conversión utilizado será 2,38 kg CO₂/L.

- Proceso natural de desnitrificación⁸: se han considerado las emisiones directas de N₂O procedentes del suelo, principalmente de origen biogénico, básicamente desnitrificación del suelo por aporte de fertilizantes.

6. Fuente: Informe inventario GEI 1990-2007 (2009), tabla 3.9.8 Factores de emisión. Maquinaria agrícola y forestal.

7. Fuente: Informe inventario GEI 1990-2007 (2009), tabla 3.9.8 Factores de emisión. Maquinaria agrícola y forestal.

8. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Directrices IPCC, 1996.

| PASO 1 | | PASO 2 | | |
|---|---------------------------------------|--|--|--|
| Tipo de aporte de N en el suelo | A | B | C | D |
| | Cantidad de aporte de N (kg N/año) | Factor de emisión para las emisiones directas de FE ₁ (kg N ₂ O-N/kg N) | Emisiones directas de los suelos (kg N ₂ O-N/año) C = (A * B) | Total emisiones directas de óxido nítrico (kg N ₂ O/año) |
| Fertilizante sintético (F _{SN}) | | 0,0125 | | D=C*(44/28) |
| Calculo del nitrógeno del estiércol utilizado (F _E) | | 0,0125 | | |
| TOTAL | | | | |

Cálculo del fertilizante sintético (F_{SN})

| | | |
|--|------------------------------|--|
| Cálculo de fertilizante sintético (F _{SN}) | N _{FERT} (kg N/año) | (1-Frac _{GASF}) |
| | | 0,9 |
| Cálculo aporte nitrógeno procedente de residuos secos (F _{RC}) | Cultivo (kg/año) | (1-Frac _R)*(1-Frac _{QUEM}) |
| | | 0,4125 |
| Cálculo aporte nitrógeno procedente de estiércol (F _E) | Estiércol (kg/año) | (1-Frac _{GASF}) |
| | | 0,8 |

b. Emisiones indirectas de gases de efecto invernadero por energía

Según la norma ISO 14064-1:2006 son todas aquellas que provienen de la generación de electricidad, calor o vapor de origen externo consumidos por la organización. En el caso de los productos hortofrutícolas, en general, tenemos las siguientes.

- Riego por goteo: se consideran las emisiones indirectas por consumo de electricidad de la captación y distribución del agua.

| Consumo de electricidad (kWh/ha) | Factor de conversión ⁹ (kg CO ₂ /kWh) | Emisiones CO ₂ (kg CO ₂ /ha año) | kg fruta-hortaliza/ha | kg CO ₂ /kg fruta-hortaliza |
|----------------------------------|---|--|-----------------------|--|
| | 0,39 | | | |

- Procesado en fresco: se consideran las emisiones indirectas por consumo de electricidad por la recepción, volcado, tría, calibrado, envasado/encajado, paletizado, marcado y apilado, flejado, conservación, otros (oficinas, aire acondicionado, calefacción).

| Consumo de electricidad (kWh/ha) | Factor de conversión (hg CO ₂ /kWh) | Emisiones CO ₂ (kg CO ₂ /ha año) | kg fruta-hortaliza/ha | kg CO ₂ /kg fruta-hortaliza |
|----------------------------------|--|--|-----------------------|--|
| | 0,39 | | | |

c. Otras emisiones indirectas de gases de efecto invernadero

Según la norma ISO 14064-1:2006 las otras emisiones indirectas de gases de efecto invernadero son aquellas que, siendo diferentes de la emisión indirecta por energía, son una consecuencia de las actividades de la organización pero que se originan en una fuente de gas invernadero que pertenece o es controlada por otras organizaciones.

El cálculo de estas emisiones indirectas no es obligatorio para obtener el sello LessCO₂, pero se podrán calcular, si es de interés para la organización, e incorporar a su balance de carbono, que estará publicado en la página web www.lessco2.es. Algunos ejemplos de estas emisiones indirectas son:

- Transporte y distribución: se consideran las emisiones de CO₂ equivalente asociadas al transporte de la fruta/hortaliza hasta el supermercado.
- Fertilización: se tienen en cuenta las emisiones de CO₂ procedentes de la energía necesaria para su producción, formulación, envasado y transporte.
- Tratamientos fitosanitarios: se tiene en cuenta la energía necesaria para la producción, formulación, envasado y transporte de plaguicidas.
- Fabricación de envases

9. IDAE 2008.

**5. RESULTADOS DE BALANCES DE CARBONO
REALIZADOS EN EXPLOTACIONES AGRÍCOLAS DE LA REGIÓN DE MURCIA**

5.1. BALANCE DE CARBONO EN CULTIVOS DE AGRICULTURA INTENSIVA

Francisco Victoria Jumilla*, Isabel Costa Gómez**, Teresa Castro Corbalán**, Ramón García Cárdenas**, M^a Carmen Romojaro Casado**, M^a Luisa Mesa del Castillo Navarro**

*Director y coordinador del proyecto. **Asistencias técnicas para el proyecto

1. DEFINICIONES DE INTERÉS Y PRECISIONES METODOLÓGICAS

1.1. CULTIVOS AGRÍCOLAS. RESERVORIOS Y SUMIDEROS DE CARBONO

La falta de legislación relativa a la cuantificación de emisiones de GEI en las explotaciones agrícolas, tanto a nivel de la Unión Europea como de los estados miembros, hace que se tenga que recurrir a normas voluntarias. Entre éstas, destacan las desarrolladas por la International Standard Organization (ISO).

La norma ISO 14064:2006 es la destinada a la elaboración de inventarios de emisiones, remociones y balances de gases de efecto invernadero de organizaciones cuyos resultados se pueden expresar por organización y por producto. Esta norma define “emisión de gases de efecto invernadero” como *la masa total de un GEI liberado a la atmósfera en un determinado periodo*.

Por otra parte, define remoción de gases de efecto invernadero como *la masa total de GEI removido de la atmósfera en un determinado momento*.

Siguiendo con las definiciones contenidas en la norma ISO 14064, podemos afirmar que los cultivos agrícolas se comportan como sumideros, ya que sumidero es toda *unidad o proceso que remueve un GEI de la atmósfera*.

El ecosistema agrario, igualmente, es un reservorio ya que, como define la norma ISO, un reservorio es *una unidad física o componente de la biosfera con capacidad para al-*

macenar o acumular un GEI removido de la atmósfera por un sumidero. De igual forma la norma ISO 14064 señala en relación con el concepto de reservorio que *la masa total de carbono contenido en un reservorio de GEI en un punto específico en el tiempo se puede referir como depósito de carbono del reservorio*. *El almacenamiento de GEI recolectado en un reservorio de GEI se podría denominar como captura y almacenamiento de GEI*.

Hemos hecho referencia a todas estas definiciones con la intención de expresar una primera precisión sobre el cálculo de la huella o balance de carbono aplicado a la agricultura. Se trata de destacar que un aspecto fundamental del comportamiento de los reservorios agrícolas, y, en definitiva, de los sumideros, es el tiempo de permanencia del carbono retirado de la atmósfera.

El tiempo en que permanece almacenado el carbono en determinadas partes de la vegetación agrícola es pequeño. Sin embargo, por pequeño que sea el periodo en el que el CO₂ permanece almacenado en la vegetación agrícola, no invalida a ésta como reservorio y, en su caso, sumidero.

Como hemos señalado en más de una ocasión, cuando se produce un incendio forestal, el CO₂ removido vuelve a la atmósfera de forma brusca. Además, el carbono almacenado en los productos forestales depende de la vida media de éstos; así, por ejemplo, si se utilizan como combustibles, este retorno se realizará de forma inmediata. Si se emplean en la producción de envases o en la fabricación de papel, el CO₂ tardará algo más en volver a la atmósfera.

Pero no por esto han dejado de tener un importante papel en la mitigación del cambio climático, actuando como sumideros durante un tiempo.

A partir de las consideraciones anteriores, creemos que no hay una base científica ni un consenso que permita excluir del cálculo del balance de carbono, como hacen algunos protocolos, los procesos de captura y almacenamiento de carbono que se producen en la materia vegetal de los cultivos agrícolas, por muy corto que sea el ciclo de carbono que los defina.

El beneficio ambiental que un reservorio como el agrícola realiza en la mitigación del cambio climático por mantener fuera de la atmósfera una determinada cantidad de CO₂ durante un determinado periodo es muy importante. Como se ha señalado en repetidas ocasiones, estamos comprando tiempo hasta que se alcancen soluciones definitivas. El carbono secuestrado, durante el tiempo en el que está retenido en la biomasa de los vegetales o los suelos, no estará contribuyendo al efecto invernadero.

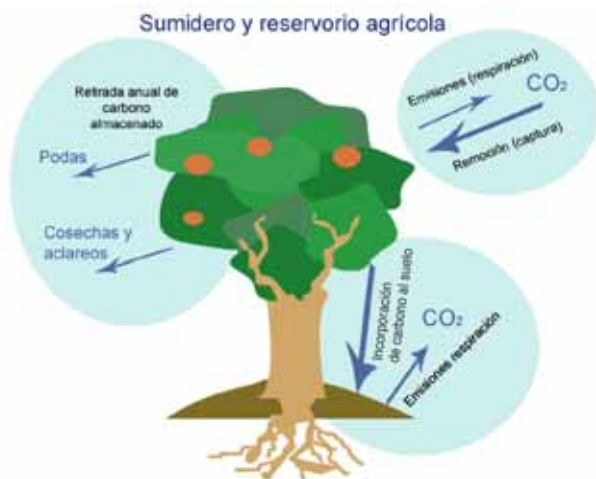
1.2. NORMA ISO 14064. EXPRESIÓN DE LOS BALANCES DE GEI POR ORGANIZACIÓN Y POR PRODUCTO

La norma ISO 14064:2006, en cuanto a las emisiones a considerar, apuesta por minimizar la incertidumbre en el cálculo y en la información reflejada, por ello considera sólo con carácter obligatorio las que surgen de fuentes de GEI que son controladas por la organización (emisiones directas) y las indirectas provenientes de la compra de energía eléctrica, cuyos factores de conversión son públicos y suministrados por instituciones oficiales.

El resto de emisiones indirectas, correspondientes a fuentes que no son propiedad de la empresa (fabricación y suministro de envases, abonos nitrogenados inorgánicos, pesticidas y otras materias primas), presentan un alto grado de incertidumbre que depende, entre otros factores, de la tecnología y fuentes de energía utilizada en el proceso de fabricación en la región o país de origen.

Entre estas emisiones indirectas, las del transporte a los mercados son, quizás, las que presentan factores de conversión más fiables. La fase de transporte a los mercados, si éste se realiza con medios controlados por la organización, se computara como emisiones directas.

En el cuadro siguiente se recoge la clasificación que realiza la ISO 14064 de las emisiones y remociones, tanto de las que han de ser obligatoriamente tenidas en cuenta, como de las que pueden ser consideradas voluntariamente por la organización.



Fuente: elaboración propia.

CLASIFICACIÓN DE EMISIONES Y REMOCIONES DE GEI SEGÚN LA NORMA ISO 14064-1:2006

Según la norma ISO 14064-1, la organización debe clasificar sus emisiones y remociones de GEI en emisiones directas (A1), emisiones indirectas por energía (A2) y otras emisiones indirectas (B). Incluye la selección de las otras emisiones indirectas, que se han de cuantificar, hacer seguimiento e informar.

A. Emisiones y remociones que se han de contemplar obligatoriamente según la norma ISO 14064:

A1. Emisiones y remociones directas de gases de efecto invernadero; se debe cuantificar las emisiones directas de GEI provenientes de las instalaciones dentro de los límites de la organización.

La organización debería cuantificar las remociones de GEI de las instalaciones dentro de los límites de la instalación.

Las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión de biomasa se deben cuantificar separadamente.

A2. Emisiones indirectas de gases de efecto invernadero por energía; la organización debe cuantificar las emisiones indirectas de GEI que provienen de la generación de electricidad, calor o vapor de origen externo, consumido por la organización.

Fuente: Elaboración propia a partir de la norma ISO 14064-1:2006

B. Emisiones que no se han de contemplar obligatoriamente según la norma ISO 14064:

Otras emisiones indirectas de gases de efecto invernadero; La organización puede cuantificar otras emisiones indirectas de GEI con base en los requisitos del programa de GEI aplicable, las necesidades del informe interno o el uso previsto del inventario de GEI.

A modo de clarificación, se incluyen algunos de los ejemplos de actividades de la organización que podrían producir otras emisiones indirectas, que propone la ISO 14064 en su anexo B.

- desplazamiento diario de empleados y viajes de negocios
- transporte de productos, materias primas, materiales, personas o residuos por otra organización
- actividades contratadas externamente, contratos de manufactura y franquicias
- emisiones de GEI provenientes de residuos generados por la organización, pero gestionados por otra
- emisiones de GEI provenientes de las fases de uso y fin de la vida útil de los productos y servicios de la organización
- emisiones de GEI originadas en la producción y distribución de productos energéticos, diferentes de la electricidad, vapor o calor, consumido por la organización
- emisiones de GEI provenientes de la producción de materiales primarios o materias primas compradas, etc.

REFERENCIAS DE LA NORMA ISO 14064-1:2006 INCIDIENDO EN LA NECESIDAD DE INCLUIR LAS REMOCIONES DE GEI

Cuantificación de emisiones y remociones de GEI

Etapas y exclusiones de la cuantificación. Dentro de sus límites de organización, la organización debe cuantificar y documentar las emisiones y remociones de GEI completando las siguientes fases, según sea aplicable:

- a) *identificación de fuentes y sumideros de GEI*
- b) *selección de la metodología de cuantificación*
- c) *selección y recopilación de datos de la actividad de GEI*
- d) *selección o desarrollo de los factores de emisión o remoción de GEI*
- e) *cálculo de las emisiones y remociones de GEI*

REFERENCIAS DE LA NORMA ISO 14064-1:2006 DANDO LA POSIBILIDAD DE EXCLUIR DETERMINADAS EMISIONES Y REMOCIONES DE GEI

La organización puede excluir de la cuantificación los sumideros o fuentes de GEI directas o indirectas cuya contribución a las emisiones o remociones de GEI no es importante y aquellas cuya cuantificación no sería técnicamente viable ni rentable.

La organización debe explicar por qué se excluyen de la cuantificación determinadas fuentes o los sumideros de GEI.

Fuente: Elaboración propia a partir de la norma ISO 14064-1:2006

Incluir emisiones generadas en fases como la de fabricación de envases y materias primas aumenta, como hemos indicado, el grado de incertidumbre en el resultado final; pero si además se pretende incluir las fases de uso por el consumidor y de reciclajes y desechos, para de esta forma completar las fases que componen el llamado análisis de ciclo de vida (ACV), el nivel de imprecisión se dispara. Esta es la razón por la que en la Orden que regula la iniciativa LessCO₂ (BORM nº 273 de 25 de noviembre de 2009) no es obligatorio contemplar estas emisiones.

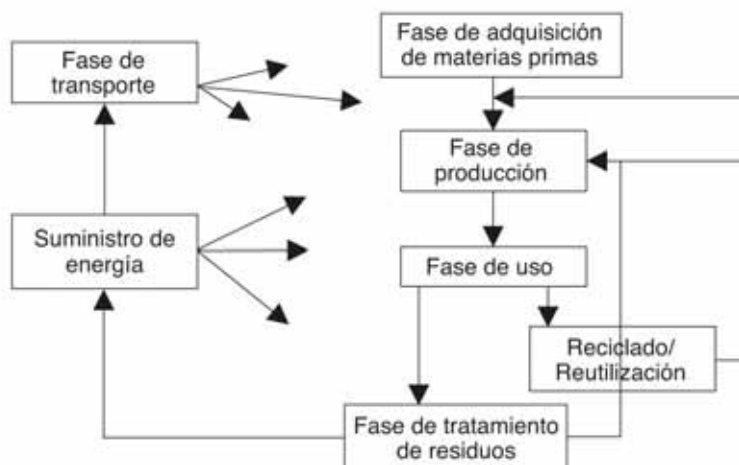
En paralelo a la norma ISO 14064 se puede considerar la norma ISO 14040:2006, cuya primera versión es de 1997. La norma ISO 14040 es la destinada al análisis del ciclo de vida. Entre los protocolos que permiten la utilización de esta metodología de ACV¹ destaca para su aplicación a productos Bilan Carbon² y, más específicamente, la norma experimental puesta en marcha por la British Standards Institution (BSI), PAS³ 2050⁴ Assessing the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.

El siguiente diagrama de flujo (*en página 229*) muestra los procesos que forman el ACV de un producto.

Sobre estas dos normas ISO descritas hacemos a continuación dos precisiones en relación con la utilización de ambas para la huella o balance de carbono de productos:

- La suma de emisiones directas, más todas las emisiones indirectas, según ISO 14064 (“indirectas por energía” más “otras emisiones indirectas”) sería equivalente al de

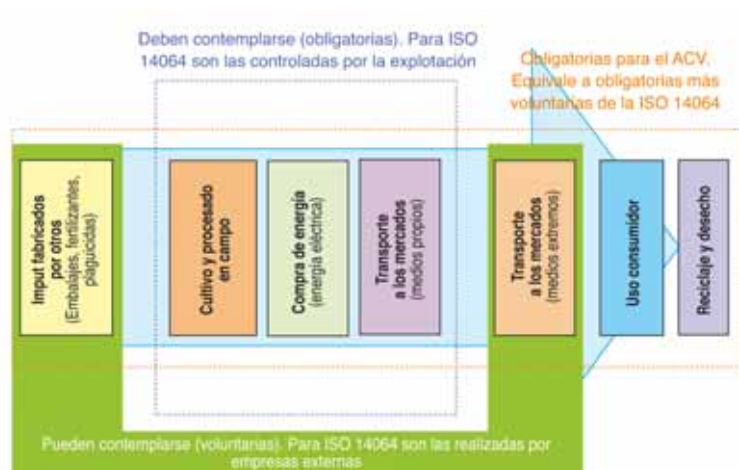
1. El ACV según la norma ISO 14040 considera el ciclo de vida completo de un producto, desde la extracción y adquisición de la materia prima, pasando por la producción de energía y materia y la fabricación, hasta el uso y el tratamiento final de la vida útil y la disposición final.
2. Bilan Carbon, método de cálculo de la huella de carbono elaborado por la Agencia Francesa de Gestión del Medio Ambiente y la Energía (ADEME).
<http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=15730>
3. Publicly Available Specification.
4. PAS 2050 es una recomendación que describe el método para la medida de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) producidos en toda la cadena de producción de productos y servicios. Esta especificación ha sido desarrollada por British Standards Institution.



Ejemplo de un sistema del producto para el ACV. Fuente: elaboración propia.

todas las fases del ciclo de vida que se deben tener en cuenta cuando se aplica el ACV, como se puede ver en la gráfica adjunta.

- Si bien la norma ISO 14064 está diseñada para expresar las emisiones, remociones y los balances de GEI de una organización, nada impide que estos balances se expresen también, además de por organización (explotaciones agrícolas en nuestro caso), por producto, tal y como la propia norma establece en su punto 7.3.2 apartado i, que es la opción que se ha recogido en la Orden que regula la iniciativa LessCO2. Es decir, impulsar la adhesión de organizaciones y formular los balances y compromisos por organizaciones y por producto y, en estos últimos, por hectárea, por kilo y por unidad de comercialización.



Fases que pueden tenerse en cuenta en la cuantificación de emisiones. Fuente: elaboración propia.

La BSI ha hecho público en abril de 2010 una nueva norma PAS 2060 “SPECIFICATION FOR THE DEMONSTRATION OF CARBON NEUTRALITY”. La PAS 2060 obliga a utilizar la norma ISO 14064 o el GHG Protocol para determinar la huella de carbono de una organización -en nuestro caso explotaciones agrícolas o ganaderas- para posteriormente elaborar planes de reducción de esta huella y, en su caso, compensación de las emisiones que no han podido ser reducidas.

Como ya lo hace la ISO 14064, la PAS 2060 reconoce la posibilidad de que la huella de carbono calculada a nivel de organización, se exprese por unidad de producto, entre otros, sin necesidad de recurrir al ACV.

Siguiendo esta norma, las empresas agrícolas adheridas a la Iniciativa “Agricultura

murciana como sumidero de CO₂” que lo deseen, podrían dar un paso más y compensar sus emisiones en caso de que tengan un balance negativo, como consecuencia de tener que computar “otras emisiones indirectas” que no son obligatorias para obtener la marca LessCO₂, ni para obtener una certificación según la norma ISO 14064, pero sí en la PAS 2060, como se puede deducir de la lectura del punto 5 de la misma.

1.3. DEFINICIÓN DE LOS PERIODOS DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LOS CULTIVOS AGRÍCOLAS

Las metodologías de cálculo de la huella de carbono para cualquier producto o servicio (no específicamente destinadas al sector agrícola), PAS 2050 y el Bilan Carbon, parecen más pensadas para los productos industriales; por ejemplo, sólo permiten incluir la capacidad de almacenamiento de carbono (remoción), en materiales o elementos con una durabilidad de más de 100 años. Indican a este respecto que esta posición conservadora se debe al desconocimiento o incertidumbre que dicen existe sobre la capacidad de fijación de CO₂. Ni siquiera se considera el almacenamiento de carbono que se produce en los suelos⁵.

En este sentido, el método elaborado por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD), conocido

como GHG Protocol⁶, reconoce que “tener una visión precisa y completa de las emisiones a lo largo de toda la cadena de valor sólo es posible si se abordan sus impactos en el carbono atmosférico secuestrado”. Aun así atestigua que “no han desarrollado métodos de consenso para contabilizar el carbono atmosférico secuestrado de las empresas basadas en biomasa”, por lo que las empresas deberán explicar los métodos que utilicen, pudiendo aparecer esta información como “información opcional”.

En 2008, la Federation Internationale des Vins et Spiritueux (FIVS) puso en marcha el Internacional Wine Carbon Calculator Protocol en su versión 1.2⁷. Esta metodología, ya más cercana a la agricultura, permite incluir una buena parte de la fijación de CO₂ realizada por los cultivos y acumuladas en la biomasa viva de los vegetales. En relación con esta biomasa de los vegetales, diferencia entre estructuras no permanentes (hojas, frutos y ramas que se podan) y las permanentes (troncos, ramas principales y raíces). Este protocolo impulsado por FIVS permite, en el cálculo del balance de carbono, tener en cuenta el carbono almacenado en lo que se denomina estructuras permanentes (raíces, tronco y ramas principales).

Según nuestras investigaciones, en los cultivos desarrollados en la Región de Murcia, el carbono almacenado en estas estructuras permanentes es importante y varía desde un 42% del carbono total de la biomasa de la planta, en el

5. La PAS 2050 reconoce el papel importante del suelo en el ciclo del carbono, como fuente y sumidero de carbono; sin embargo, no lo tiene en cuenta porque señala que hay una incertidumbre elevada acerca del impacto de las distintas técnicas de los sistemas agrícolas”. Por esta razón, las emisiones y el secuestro procedentes de los cambios de carbono en el suelo están fuera del alcance de esta PAS. La inclusión del almacenamiento de carbono en el suelo será considerada en futuras revisiones de esta PAS.

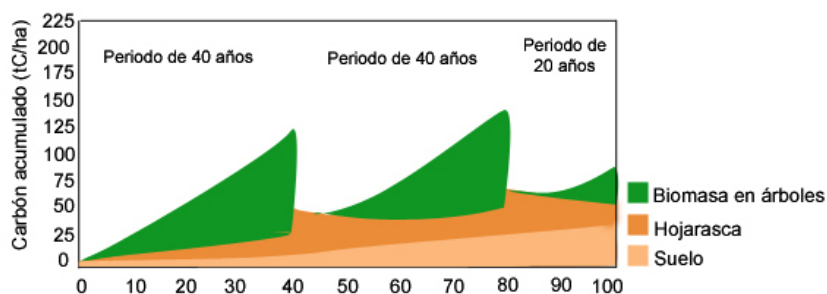
6. La Iniciativa del Protocolo de Gases Efecto Invernadero (GHG PI) es una alianza multipartita de empresas, organizaciones no gubernamentales (ONGs), gobiernos y otras entidades, convocada por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), ONG radicada en Estados Unidos, y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD), coalición integrada por 170 empresas internacionales, con sede en Ginebra, Suiza. La iniciativa fue lanzada en 1998 con la misión de desarrollar estándares de contabilidad y reporte para empresas aceptados internacionalmente y promover su amplia adopción. La Iniciativa del Protocolo de Gases Efecto Invernadero comprende dos estándares distintos, aunque vinculados entre sí:

- Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte del Protocolo de GEI: este documento provee de una guía minuciosa para empresas interesadas en cuantificar y reportar sus emisiones de GEI.

- Estándar de Cuantificación de Proyectos del Protocolo de GEI: es una guía para la cuantificación de reducciones de emisiones de GEI derivadas de proyectos específicos.

<http://www.ghgprotocol.org/>

7. <http://www.wineinstitute.org/ghgprotocol>



Fuente: Elaboración propia a partir de IPCC⁸.



Fuente: elaboración propia.

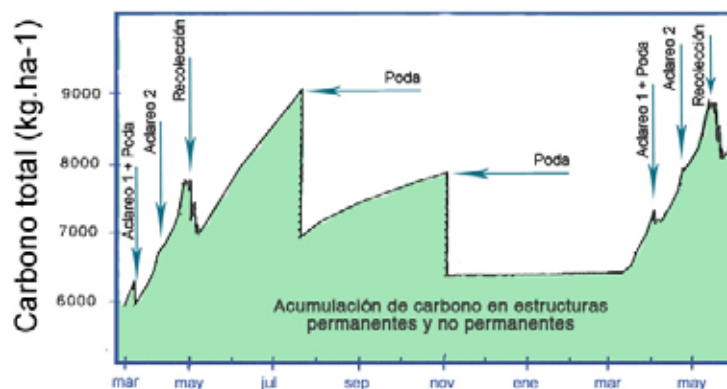
caso de los cultivos de melocotón, a un 17%, en el caso de los cultivos de uva de mesa. Por lo tanto, no tener en cuenta el carbono almacenado por los vegetales en los cultivos agrícolas, en el balance de carbono, es un perjuicio para el sector.

A lo largo de este libro, se ha querido destacar siempre esta característica fundamental de ser reservorio de carbono que aporta con carácter diferenciador la agricultura, ya que los cultivos agrícolas, al igual que un bosque, capturan CO₂ de la atmósfera y lo retienen, en forma de biomasa, según ciclos de un año y ciclos de varias décadas, dependiendo de que se considere el periodo anual o el de vida útil de los cultivos.

En el paisaje agrícola, el CO₂ retirado de la atmósfera gracias a la fotosíntesis se mantiene a lo largo de décadas, incluso siglos siguiendo los ciclos de los cultivos. Cuando acaba la vida útil de un árbol frutal éste es sustituido por árboles jóvenes, iniciándose de nuevo el ciclo de crecimiento y captura de CO₂ y, por tanto, el almacenamiento neto se mantiene constante.

En esta gráfica elaborada a partir de la conocida gráfica del IPCC se puede observar el balance de carbono en un bosque cuyas cortas se realizan cada cuarenta años. En la gráfica se refleja cómo va aumentando el carbono almacenado en el suelo (amarillo) y la hojarasca (naranja), pero, sobre todo, nos interesa ver que el carbono almacenado

8. IPCC (2005), tercer informe de evaluación. Mitigación. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico, Ed. Omm PNUMA.



Ciclo corto y ciclo medio de captura y extracción de carbono en un árbol frutal. Las flechas indican el momento en el que se producen las extracciones del carbono capturado en estructuras no permanentes (ciclo corto). El sombreado verde representa la variación temporal del carbono total acumulado en las estructuras permanentes y no permanentes. Fuente: elaboración propia a partir de los trabajos contenidos en el capítulo 3.4 de este libro.

en la biomasa de los árboles (verde) se repite cada cuarenta años, por lo que se demuestra, por un lado, que el suelo es un almacén o reservorio que se comporta como un sumidero a largo plazo y, por otro lado, que el carbono almacenado en la biomasa de los árboles se mantiene también de forma constante según un ciclo de 40 años.

La agricultura sigue el mismo esquema de funcionamiento que un bosque. Parte del CO₂ que fija la planta queda almacenado en el suelo⁹, quedando retenido por periodos largos de tiempo, al que podemos denominar ciclo largo, mientras que en la propia estructura del vegetal el carbono almacenado sigue dos tipos de ciclos que podemos denominar ciclo corto y ciclo medio. En la ilustración se muestran estos ciclos y las partes del vegetal que se corresponden.

Por un lado, el ciclo corto comprende la estructura no permanente -cosecha, hojas y restos de poda- y se comporta como un reservorio temporal de ciclos de un año¹⁰. Pero este reservorio temporal tiene un importante papel en las políticas de mitigación del cambio climático, ya que la fijación por la planta y la consecuente remoción o retirada de CO₂ de la atmósfera se renueva año a año¹¹, dando lugar a un almacenamiento de carbono que se mantiene constante durante décadas e incluso siglos. Por otro lado, hay un ciclo medio de captura de CO₂ que se almacena en la estructura permanente, raíces, tronco y

9. Investigaciones llevadas a cabo por la Universidad de Córdoba en España hablan de incrementos anuales en el carbono fijado en el suelo por los cultivos del orden de 0,8 a 1,2 t/ha dependiendo del grado de laboreo (equivalente al secuestro anual entre 3 y 4,4 t/ha de CO₂). Fontán del Junco, J.M.; López-Bellido, R.J.; Benítez, J.; López Bellido, L. 2008. "Cuantificación de la cantidad de dióxido de carbono que captura la agricultura de secano". En *Vida Rural* nº 15, 2008.

10. En el caso de cultivos hortícolas pueden obtener varias cosechas en un año.

11. La Asociación España-FAO, en las conclusiones de la jornada sobre sumideros agrícolas desarrollada en mayo de 2009, señala en relación con el carbono contenido fuera del suelo, es decir, en la vegetación: "(...) aunque pueda corresponder a un sumidero temporal, es muy importante su efecto en la mitigación anual del balance de CO₂, cuya acción se renueva todos los años".

ramas principales, y que depende de la vida media del árbol agrícola (25-50 años)¹². Este último sumidero también se mantiene constante a lo largo de décadas e incluso siglos.

Las investigaciones realizadas en el marco del proyecto Agricultura murciana como sumidero de CO₂, por la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), que pueden consultarse en el capítulo 3.4. de este libro, muestran cómo el carbono fijado por un cultivo de nectarinos aumenta a medida que crecen los árboles y disminuye con las podas realizadas, con los aclareos de frutos antes de la recolección y con la recolección de la cosecha, según un ciclo que se repite año a año. Durante el periodo estudiado (febrero de 2009 a febrero de 2010), los nectarinos han captado 5.034 kg ha⁻¹ de carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis para incrementar el tamaño de los órganos que se eliminan del árbol anualmente (poda, hojas y frutos, que se corresponde con lo que hemos denominado ciclo corto) y 1.090 kg ha⁻¹ de carbono en el incremento del diámetro del tronco y ramas principales (que hemos denominado ciclo medio).

No considerar la capacidad de reservorio de carbono de algunas de las partes del vegetal perjudicaría al sector agrícola, que debe hacer valer su característica diferenciadora.

En un bosque, las remociones de dióxido de carbono atmosférico se producen mientras crece. Una vez que alcanza sus niveles máximos de madurez no tendrá un balance positivo. Las extracciones mediante poda y cosecha como se hacen en la agricultura mantienen la capacidad de crecimiento y ésta se correlaciona linealmente con la fijación de carbono. Parte del carbono capturado por este crecimiento mantenido por la actividad agrícola puede alargar su tiempo de permanencia; así, por ejemplo, el material vegetal obtenido de las podas, si se entierra, supone una fijación de carbono en el suelo de un 20-35% del contenido

en carbono de la poda en un año (Brady y Weil, 2004¹³). Además se debe tener en cuenta la “no emisión” o “emisión evitada” debida a la sustitución de otros productos. Por ejemplo, el uso de biomasa como combustible tendría un balance cero en cuanto a emisión de CO₂ puesto que se emite una cantidad igual a la fijada (si no consideramos las emisiones debidas a su procesado y transporte). Pero, el balance real es positivo si consideramos la “no emisión” como consecuencia de los combustibles fósiles que dejan de utilizarse.

Como ha señalado Jaime Lamo de Espinosa¹⁴, si los agricultores no cultivaran olivos, viñas, naranjos, manzanos, etc., tales sumideros desaparecerían, agravando la situación actual.

En 2010 se inició el proyecto LIFE+ “Combating climate change through farming: application of a common evaluation system in the 4 largest agricultural economies of the EU”. El objetivo de este proyecto es realizar un *software* para determinar el balance de emisiones de GEI de las explotaciones agrícolas y, sobre la base de estos balances, diseñar planes de acción que reduzcan las emisiones de estos gases y que incrementen la capacidad de sumidero de los cultivos. Este proyecto presta atención a esta capacidad de la agricultura de actuar como reservorio de carbono, tanto en la herramienta informática como en los planes de acción con medidas de incremento del secuestro de carbono.

El proyecto LIFE+ se basa en el esquema de emisiones y remociones recomendado en la ISO 14064, que es en el que se apoya la Orden que regula la iniciativa LessCO2. En ambos casos se contempla que en los balances de gases de efectos invernadero en una explotación agrícola hay que tener en cuenta, además de las capturas de carbono por el suelo, su capacidad de reservorio de la biomasa viva.

12. En algunos casos cientos de años; por ejemplo, olivos centenarios.

13. Brady, N.C. and Weil, R.R. (2004). *Elements of the Nature and Properties of Soils*, 2/E. Ed. Pearson Prentice Hall, N. J.

14. “Energía y medio ambiente. Nuevos objetivos de la agricultura”. ABC 30-11-2005.

2. EJEMPLOS DE CÁLCULOS DE BALANCE DE CARBONO

En este trabajo se recogen 21 ejemplos de cálculo del balance de carbono de distintos productos hortofrutícolas realizados en explotaciones de agricultura intensiva de la Región de Murcia. Los diferentes productos se encuentran ordenados alfabéticamente.

Para determinar el balance de emisiones y remociones de CO₂ (balance de carbono) de un producto agrícola, a la fijación de CO₂ realizada por los cultivos (remoción) y que se ha determinado a partir de las investigaciones llevadas a cabo por las dos universidades públicas de la Región, por el CEBAS-CSIC y por el IMIDA, se le deben restar las emisiones de CO₂ equivalente necesarias para su producción.

La metodología aplicada para el cálculo de las emisiones de CO₂ equivalente en estas explotaciones agrícolas ha sido la propuesta por la norma ISO 14064, que, al igual que el GHG Protocol¹⁵, señala que para el cálculo del balance de carbono hay que contemplar obligatoriamente las emisiones directas de CO₂ equivalente (consumo de combustible para el procesado en campo del cultivo, en las que se incluye el labrado, siembra, poda-triturado, aclarado, acolchado, tratamientos, abonado de fondo, instalación de riego, las necesarias para el procesado fresco, la recolección y el transporte al almacén, así como los óxidos de nitrógeno procedentes del suelo por fertilización¹⁶) y las indirectas debidas a la energía.

Los factores de conversión utilizados son los publicados por el IPCC y por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, en el Inventario Nacional de Emisiones.

Debido a la dificultad de contar con factores de conversión suficientemente contrastados para el resto de emisiones indirectas (distintas de las producidas por el consumo de energía), el Anexo C de la Orden de regulación de la iniciativa no obliga a aplicar la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV)¹⁷. La Orden da la posibilidad de que, voluntariamente, y siempre que se cuente con los factores de conversión adecuados, los productores lo incluyan en su balance y así quedará reflejado en la página web.

Como se ha señalado, la metodología establecida en la norma ISO 14064 no obliga, entre las emisiones a considerar, a contemplar el transporte (sólo se deben considerar las emisiones directas y las indirectas debidas a la energía). Sin embargo, por ser productos en su mayor parte destinados a la exportación, el transporte debe constituir un factor a tener en cuenta. Por esta razón, se ha calculado adicionalmente lo que representa en emisiones transportar los productos hasta los centros de distribución. En el conjunto de los ejemplos estudiados, el transporte supone como media más de un 30% del total de las emisiones al considerar una distancia de unos 2.000 km hasta los centros de distribución. En todos los ejemplos se ha añadido una gráfica que vincula la evolución del balance de carbono conforme aumenta la distancia de los mercados de destino.

Algunos de los ejemplos incluyen comentarios sobre las características específicas de las fincas que pueden influir de forma considerable sobre los resultados del balance de carbono.

15. Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol). Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte. Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute) y Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (World Business Council for Sustainable Development).

16. El óxido nítrico tiene un potencial de calentamiento global muy superior al CO₂; según el último informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) es de 310, por lo que pequeñas emisiones de este gas pueden significar un impacto importante en el balance de carbono de la explotación agrícola y, en consecuencia, en el balance de carbono asociado a cada cultivo.

17. Según la ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia, un análisis de ciclo de vida es la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida, estando definido ciclo de vida como etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de producto, desde la adquisición de materia prima o su generación a partir de recursos naturales hasta su disposición final.

ALBARICOQUE

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

EMISIONES DIRECTAS

| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
|---|--------|------------------------------|
| Preparación del terreno | Gasoil | 596,51 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 215,20 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 3.141,18 |

EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------|------------------------------|
| Riego por goteo | 281,47 |
| Almacén y otros | 679,00 |

OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total)

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------------------|------------------------------|
| Transporte por distribución | 1.731,60 |

1.2. Total emisiones de CO₂ equivalente

TOTAL DE EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE

| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 811,71 | 940,47 | 1.731,60 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | % |
|---|--|------------|
| Preparación del terreno | | 8,98 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | | 3,24 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 47,27 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | | % |
| Riego por goteo | | 4,24 |
| Almacén y otros | | 10,22 |
| EMISIONES TRANSPORTE | | % |
| Transporte a Alemania | | 26,06 |
| TOTAL | | 100 |

2. Balance de carbono

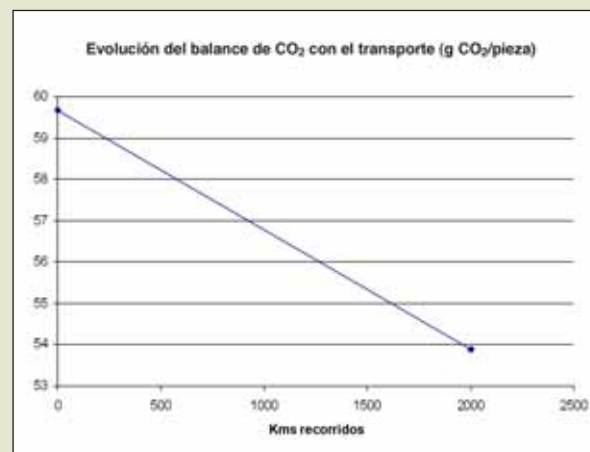
2.1. Balance de carbono sin transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 22,81 | 1.267,37 | 76,04 |
| EMISIÓN | 4,91 | 272,97 | 16,38 |
| BALANCE | 17,90 | 994,40 | 59,66 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 22,81 | 1.267,37 | 76,04 |
| EMISIÓN | 6,64 | 369,17 | 22,15 |
| BALANCE | 16,17 | 898,20 | 53,89 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte
 A continuación se representa la evolución del balance de carbono considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



ALCACHOFA

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

EMISIONES DIRECTAS

| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
|---|--------|------------------------------|
| Preparación del terreno | Gasoil | 321,78 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 67,25 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 2.144,74 |

EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------|------------------------------|
| Riego por goteo | 61,11 |
| Almacén y otros | 279,36 |

OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total)

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------------------|------------------------------|
| Transporte por distribución | 2.750 |

1.2. Total emisiones de CO₂ equivalente

TOTAL DE EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE

| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 389,03 | 340,47 | 2.750 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 5,72 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 1,20 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 38,13 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 1,09 |
| Almacén y otros | 4,97 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 48,90 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

La finca muestreada presenta unas características muy particulares frente a otras fincas estudiadas:

1. Se trata de una finca situada a menos de 10 km del almacén, por lo que las emisiones por transporte interno son mínimas.
2. No hay un gran consumo eléctrico de bombas, puesto que parte del riego es por gravedad.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

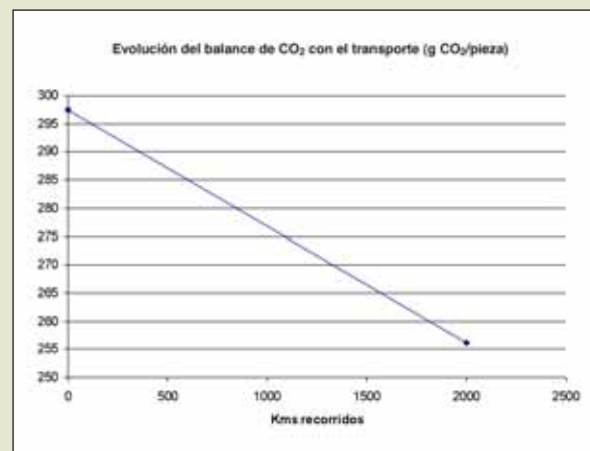
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 22,70 | 1.135,37 | 340,58 |
| EMISIÓN | 2,87 | 143,71 | 43,11 |
| BALANCE | 19,83 | 991,56 | 297,47 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 22,70 | 1.135,37 | 340,58 |
| EMISIÓN | 5,62 | 281,22 | 84,36 |
| BALANCE | 17,08 | 854,06 | 256,22 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de carbono considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



BRÓCOLI

EJEMPLO 1

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | |
|---|--------|------------------------------|
| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
| Preparación del terreno | Gasoil | 1.615,67 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 9.684 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 4.317,59 |

| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | |
|----------------------------------|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Riego por goteo | 30,55 |
| Almacén y otros | 139,68 |

| OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total) | |
|--|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Transporte por distribución | 2.750 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

| TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂ EQUIVALENTE | | |
|---|----------------------------------|------------------------------|
| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | Kg CO ₂ eq/ha año |
| 15.627,62 | 170,23 | 2.750 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 8,72 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 52,24 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 23,29 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 0,16 |
| Almacén y otros | 0,75 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 14,83 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

Se trata de una finca situada a una gran distancia del almacén (150 km), de ahí sus altas emisiones en el transporte y recolección del campo al almacén.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

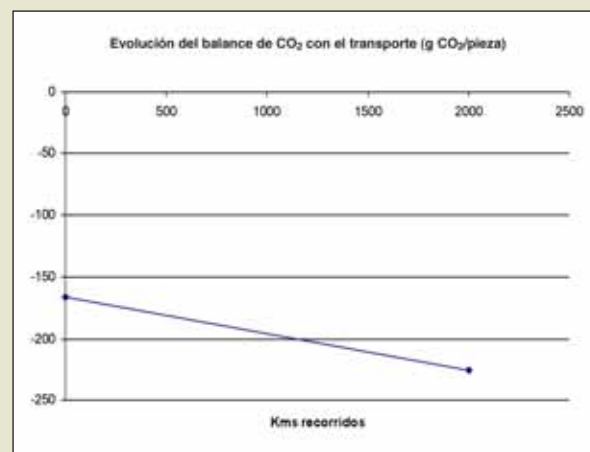
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 6,31 | 315,50 | 110,43 |
| EMISIÓN | 15,78 | 789,38 | 276,28 |
| BALANCE | -9,47 | -473,88 | -165,86 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 6,31 | 315,50 | 110,43 |
| EMISIÓN | 19,18 | 959,38 | 335,78 |
| BALANCE | -12,88 | -643,88 | -225,36 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



EJEMPLO 2

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | |
|---|--------|------------------------------|
| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
| Preparación del terreno | Gasoil | 323,13 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 165,53 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 1.931,21 |

| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | |
|----------------------------------|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Riego por goteo | 97,00 |
| Almacén y otros | 310,40 |

| OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total) | |
|--|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Transporte por distribución | 1.787,50 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

| TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂ EQUIVALENTE | | |
|---|----------------------------------|------------------------------|
| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 488,67 | 407,40 | 1.787,50 |

1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 7,00 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 3,59 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 41,85 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 2,10 |
| Almacén y otros | 6,73 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 38,73 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

La finca estudiada como ejemplo presenta las siguientes características:

1. Se trata de una finca situada a menos de 10 km del almacén, por lo que las emisiones por transporte son prácticamente nulas.
2. No hay un gran consumo eléctrico, puesto que parte del riego es por gravedad.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

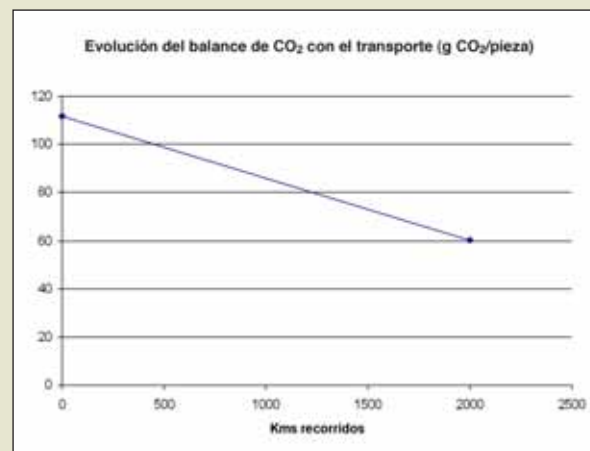
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 6,85 | 527,42 | 184,60 |
| EMISIÓN | 2,69 | 207,61 | 72,66 |
| BALANCE | 4,15 | 319,82 | 111,94 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 6,85 | 527,42 | 184,60 |
| EMISIÓN | 4,61 | 354,98 | 127,24 |
| BALANCE | 2,24 | 172,44 | 60,35 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



CIRUELA

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | |
|---|----------|------------------------------|
| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
| Preparación del terreno | Gasoil | 443,79 |
| | Gasolina | 54,13 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 321,03 |
| | Gasolina | 39,20 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 1.519 |

| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | |
|----------------------------------|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Riego por goteo | 4.414,81 |
| Almacén y otros | 1.969,12 |

| OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total) | |
|--|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Transporte por distribución | 3.463,20 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

| TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂ EQUIVALENTE | | |
|---|----------------------------------|------------------------------|
| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 2.377,17 | 6.083,94 | 3.463,20 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | % |
|---|--|------------|
| Preparación del terreno | | 4,18 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | | 3,02 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 12,74 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | | % |
| Riego por goteo | | 34,51 |
| Almacén y otros | | 16,51 |
| EMISIONES TRANSPORTE | | % |
| Transporte a Alemania | | 29,04 |
| TOTAL | | 100 |

2. Balance de carbono

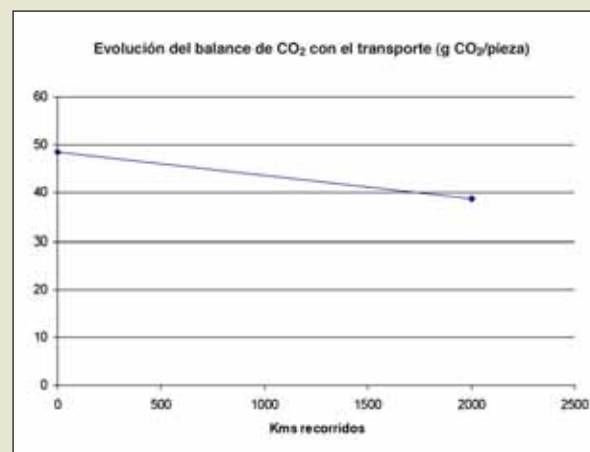
2.1. Balance de carbono sin transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 25,89 | 719,26 | 71,93 |
| EMISIÓN | 8,46 | 235,03 | 23,50 |
| BALANCE | 17,43 | 484,23 | 48,42 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 25,89 | 719,26 | 71,93 |
| EMISIÓN | 11,92 | 331,23 | 33,12 |
| BALANCE | 13,97 | 388,03 | 38,80 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte
 A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



COLIFLOR

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

EMISIONES DIRECTAS

| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
|---|--------|------------------------------|
| Preparación del terreno | Gasoil | 1.890,34 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 4.842 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 2.581,45 |

EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------|------------------------------|
| Riego por goteo | 94,84 |
| Almacén y otros | 444,26 |

OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total)

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------------------|------------------------------|
| Transporte por distribución | 4.812,5 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

TOTAL DE EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE

| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 9.313,76 | 539,10 | 4.812,5 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 12,89 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 33,02 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 17,60 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 0,65 |
| Almacén y otros | 3,03 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 32,82 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

Se observan elevadas emisiones en cuanto al transporte de finca a almacén debido a que la finca estudiada como ejemplo se encuentra a una distancia de unos 120 km del almacén de la cooperativa.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

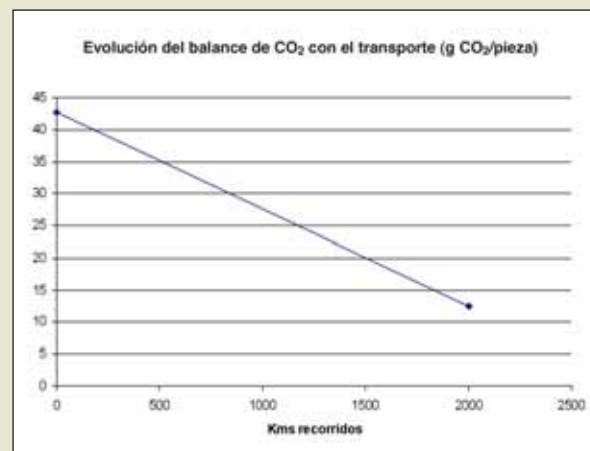
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 11,98 | 599,38 | 239,75 |
| EMISIÓN | 9,85 | 492,64 | 197,06 |
| BALANCE | 2,13 | 106,73 | 42,69 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 11,98 | 599,38 | 239,75 |
| EMISIÓN | 11,36 | 568,20 | 227,28 |
| BALANCE | 0,62 | 31,18 | 12,47 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



LECHUGA

EJEMPLO 1

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

EMISIONES DIRECTAS

| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
|---|--------|------------------------------|
| Preparación del terreno | Gasoil | 1.849,95 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 76,26 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 4.106,58 |

EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------|------------------------------|
| Riego por goteo | 454,85 |
| Almacén y otros | 732,12 |

OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total)

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------------------|------------------------------|
| Transporte por distribución | 11.550 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

TOTAL DE EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE

| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 6.032,79 | 1.186,97 | 11.550 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 9,86 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 0,41 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 21,88 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 2,42 |
| Almacén y otros | 3,90 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 61,54 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

Puesto que la lechuga presenta una densidad muy baja, las emisiones por transporte son mucho más altas que para otros productos.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

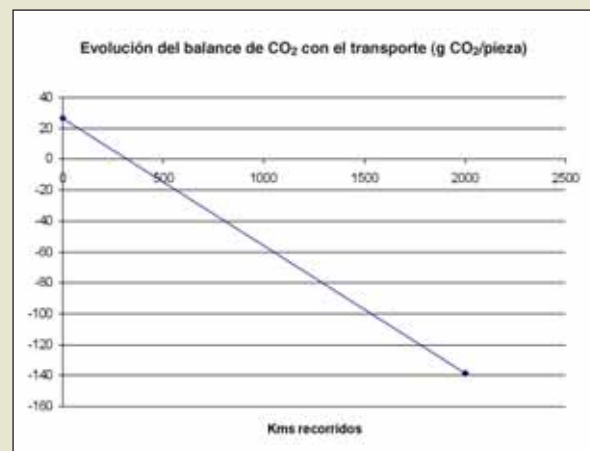
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 9,08 | 324,50 | 129,80 |
| EMISIÓN | 7,22 | 257,85 | 103,14 |
| BALANCE | 1,87 | 66,65 | 26,66 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 9,08 | 324,50 | 129,80 |
| EMISIÓN | 18,77 | 670,35 | 268,14 |
| BALANCE | -9,68 | -345,85 | -138,34 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



EJEMPLO 2

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | |
|---|--------|------------------------------|
| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
| Preparación del terreno | Gasoil | 88,12 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 62,94 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 1.071,20 |

| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | |
|----------------------------------|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Riego por goteo | 6,5 |
| Almacén y otros | 18,51 |

| OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total) | |
|--|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Transporte por distribución | 4.812,5 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

| TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂ EQUIVALENTE | | |
|---|----------------------------------|------------------------------|
| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 1.222,27 | 25,01 | 4.812,5 |

1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 1,45 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 1,04 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 17,68 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 0,11 |
| Almacén y otros | 0,31 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 79,42 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

1. Al presentar una densidad baja, las emisiones por transporte son, en proporción, mucho más altas que para otros productos.
2. Las emisiones por consumo eléctrico son bajas debido a que se produce el riego en su mayoría por gravedad.
3. La finca se encuentra próxima a la cooperativa, por lo que sus emisiones por transporte son bajas.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

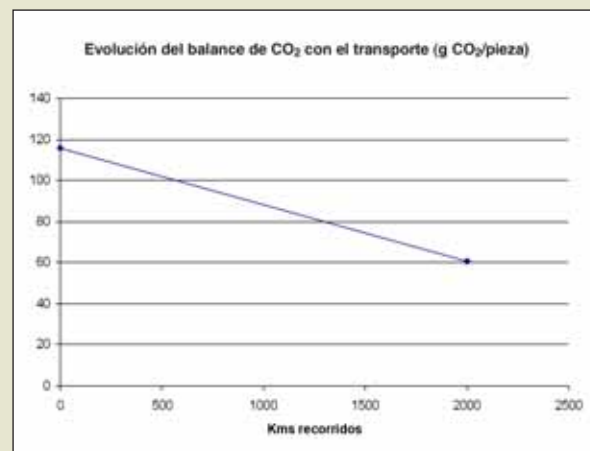
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 11,35 | 324,50 | 129,80 |
| EMISIÓN | 1,24 | 35,64 | 14,25 |
| BALANCE | 10,11 | 288,86 | 115,55 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 11,35 | 324,50 | 129,80 |
| EMISIÓN | 6,05 | 173,14 | 69,25 |
| BALANCE | 5,29 | 151,36 | 60,55 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



LIMÓN

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

EMISIONES DIRECTAS

| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
|---|--------|------------------------------|
| Preparación del terreno | Gasoil | 139,92 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 813,54 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 1.417,14 |

EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------|------------------------------|
| Riego por goteo | 20,16 |
| Almacén y otros | 2.564,96 |

OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total)

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------------------|------------------------------|
| Transporte por distribución | 6.445,4 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

TOTAL DE EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE

| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 2.370,62 | 2.585,12 | 6.445,4 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 1,23 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 7,14 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 12,43 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 0,18 |
| Almacén y otros | 22,50 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 56,53 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

Se destacan las emisiones en cuanto al transporte de finca a almacén debido a que la finca estudiada se encuentra a una distancia de unos 100 km del almacén de la cooperativa.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

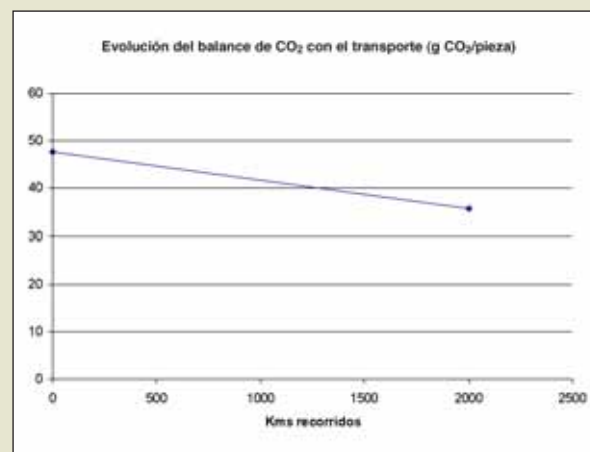
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 30,51 | 455,39 | 56,92 |
| EMISIÓN | 4,95 | 73,97 | 9,25 |
| BALANCE | 25,55 | 381,42 | 47,68 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 30,51 | 455,39 | 56,92 |
| EMISIÓN | 11,41 | 170,17 | 21,27 |
| BALANCE | 19,11 | 285,22 | 35,65 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



MELOCOTÓN

EJEMPLO 1

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

EMISIONES DIRECTAS

| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
|---|--------|------------------------------|
| Preparación del terreno | Gasoil | 865,85 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 129,74 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 399,16 |
| Quema restos de poda | | 8.631 |

EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------|------------------------------|
| Riego por goteo | 0 |
| Almacén y otros | 1.051,54 |

OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total)

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------------------|------------------------------|
| Transporte por distribución | 3.247,90 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

TOTAL DE EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE

| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 10.026,13 | 1.051,54 | 3.247,90 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 6,04 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 0,91 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 2,79 |
| Quema restos de poda | 60,25 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 0,00 |
| Almacén y otros | 7,34 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 22,67 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

1. El tratamiento de los restos de poda es la quema de éstos, ocasionando de esta manera emisiones adicionales.
2. El riego se produce por gravedad, por lo que no existen emisiones por consumo eléctrico en cuanto a bombeo de agua.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

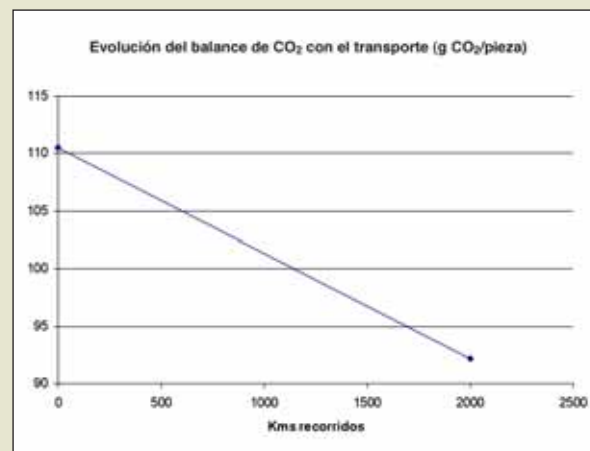
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 30,71 | 909,61 | 172,82 |
| EMISIÓN | 11,07 | 328,11 | 62,34 |
| BALANCE | 19,63 | 581,49 | 110,48 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 30,71 | 909,61 | 172,82 |
| EMISIÓN | 14,32 | 424,31 | 80,62 |
| BALANCE | 16,38 | 485,29 | 92,21 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



EJEMPLO 2

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | |
|---|--------|------------------------------|
| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
| Preparación del terreno | Gasoil | 258,05 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 48,56 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 310,08 |
| Quema restos de poda | | 5.154,84 |

| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | |
|----------------------------------|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Riego por goteo | 0 |
| Almacén y otros | 322,77 |

| OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total) | |
|--|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Transporte por distribución | 2.191,14 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

| TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂ EQUIVALENTE | | |
|---|----------------------------------|------------------------------|
| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 5.771,56 | 322,77 | 2.191,14 |

1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 3,11 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 0,59 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 3,74 |
| Quema restos de poda | 62,22 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 0,00 |
| Almacén y otros | 3,89 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 26,45 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

La finca estudiada como ejemplo presenta las siguientes características:

1. El tratamiento de los restos de poda es la quema de éstos, ocasionando de esta manera emisiones adicionales.
2. El riego se produce por gravedad, por lo que no existen emisiones por consumo eléctrico en bombas.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

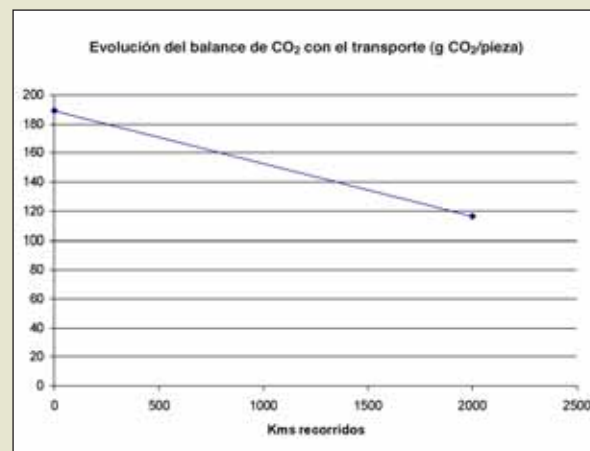
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 21,54 | 946,09 | 189,22 |
| EMISIÓN | 1,16 | 51,23 | 10,25 |
| BALANCE | 21,54 | 946,09 | 189,22 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 21,54 | 946,09 | 189,22 |
| EMISIÓN | 8,28 | 363,74 | 72,75 |
| BALANCE | 13,26 | 582,35 | 116,47 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



EJEMPLO 3

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | |
|---|----------|------------------------------|
| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
| Preparación del terreno | Gasoil | 443,79 |
| | Gasolina | 54,13 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 321,03 |
| | Gasolina | 39,20 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 1.518,98 |

| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | |
|----------------------------------|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Riego por goteo | 4.114,81 |
| Almacén y otros | 1.969,12 |

| OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total) | |
|--|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Transporte por distribución | 3655,6 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

| TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂ EQUIVALENTE | | |
|---|----------------------------------|------------------------------|
| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 2.337,15 | 6.083,94 | 3.655,60 |

1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 4,11 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 2,97 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 12,54 |
| Quema restos de poda | 62,22 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 33,96 |
| Almacén y otros | 16,25 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 30,17 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

Se trata de una finca exclusiva de melocotón, a unos 50 km de la cooperativa donde se procesa el producto fresco y posteriormente se distribuye.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

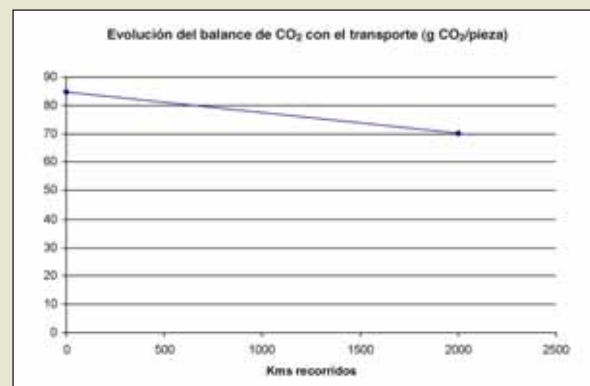
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 29,92 | 787,61 | 118,14 |
| EMISIÓN | 8,46 | 222,66 | 33,40 |
| BALANCE | 21,47 | 564,95 | 84,74 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 29,92 | 787,61 | 118,14 |
| EMISIÓN | 12,11 | 318,86 | 47,83 |
| BALANCE | 17,81 | 468,75 | 70,31 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



MELÓN

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

EMISIONES DIRECTAS

| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
|---|--------|------------------------------|
| Preparación del terreno | Gasoil | 998,18 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 664,75 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 772,45 |

EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------|------------------------------|
| Riego por goteo | 5.999,43 |
| Almacén y otros | 810,64 |

OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total)

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------------------|------------------------------|
| Transporte por distribución | 1.443 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

TOTAL DE EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE

| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 1.662,95 | 6.810,08 | 1.443 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | % |
|---|--|------------|
| Preparación del terreno | | 9,34 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | | 6,22 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 7,23 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | | % |
| Riego por goteo | | 56,13 |
| Almacén y otros | | 7,58 |
| EMISIONES TRANSPORTE | | % |
| Transporte a Alemania | | 13,50 |
| TOTAL | | 100 |

2. Balance de carbono

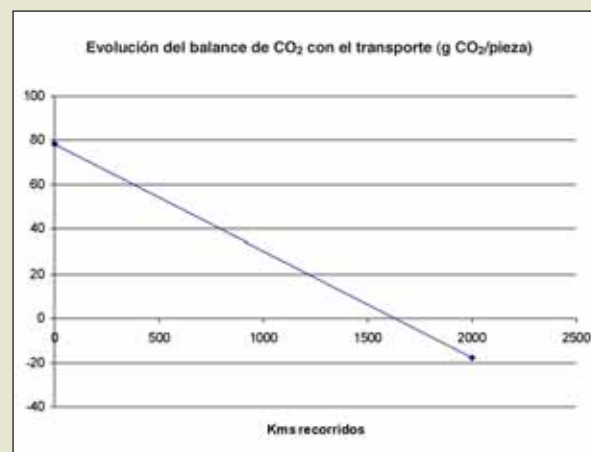
2.1. Balance de carbono sin transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 10,41 | 694,43 | 694,43 |
| EMISIÓN | 9,24 | 616,37 | 616,37 |
| BALANCE | 1,17 | 78,27 | 78,27 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 10,41 | 694,43 | 694,43 |
| EMISIÓN | 10,68 | 712,57 | 712,57 |
| BALANCE | -0,26 | -17,93 | -17,93 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte
 A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



NARANJA

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

EMISIONES DIRECTAS

| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
|---|--------|------------------------------|
| Preparación del terreno | Gasoil | 139,92 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 813,54 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 1.417,14 |

EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------|------------------------------|
| Riego por goteo | 20,16 |
| Almacén y otros | 2.564,96 |

OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total)

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------------------|------------------------------|
| Transporte por distribución | 6.445,4 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

TOTAL DE EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE

| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 2.370,62 | 2.585,12 | 6.445,4 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | % |
|---|--|------------|
| Preparación del terreno | | 1,23 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | | 7,14 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 12,43 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | | % |
| Riego por goteo | | 0,18 |
| Almacén y otros | | 22,50 |
| EMISIONES TRANSPORTE | | % |
| Transporte a Alemania | | 56,53 |
| TOTAL | | 100 |

2. Balance de carbono

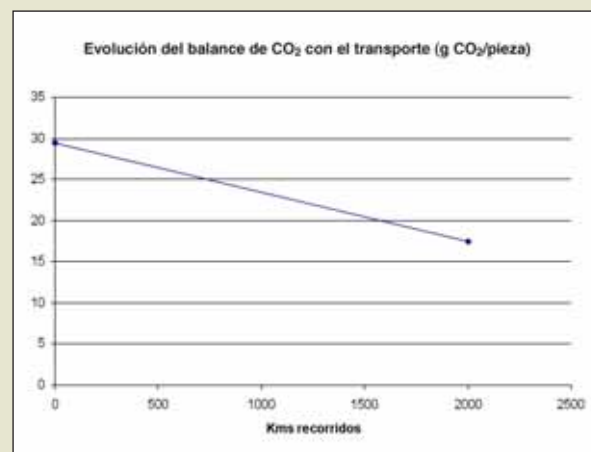
2.1. Balance de carbono sin transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 20,72 | 309,33 | 38,67 |
| EMISIÓN | 4,95 | 73,97 | 9,25 |
| BALANCE | 15,76 | 235,36 | 29,42 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 20,72 | 309,33 | 38,67 |
| EMISIÓN | 11,41 | 170,17 | 21,27 |
| BALANCE | 9,32 | 139,16 | 17,40 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte
 A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



NECTARINA

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | |
|---|----------|------------------------------|
| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
| Preparación del terreno | Gasoil | 443,79 |
| | Gasolina | 54,13 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 321,03 |
| | Gasolina | 39,20 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 1.518,98 |

| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | |
|----------------------------------|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Riego por goteo | 4.114,81 |
| Almacén y otros | 1.969,12 |

| OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total) | |
|--|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Transporte por distribución | 3655,6 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

| TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂ EQUIVALENTE | | |
|---|----------------------------------|------------------------------|
| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 2.337,15 | 6.083,94 | 3.655,60 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 4,11 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 2,97 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 12,54 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 33,96 |
| Almacén y otros | 16,25 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 30,17 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

Se trata de una finca situada a unos 50 km de la cooperativa donde se procesa el producto fresco y posteriormente se distribuye.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

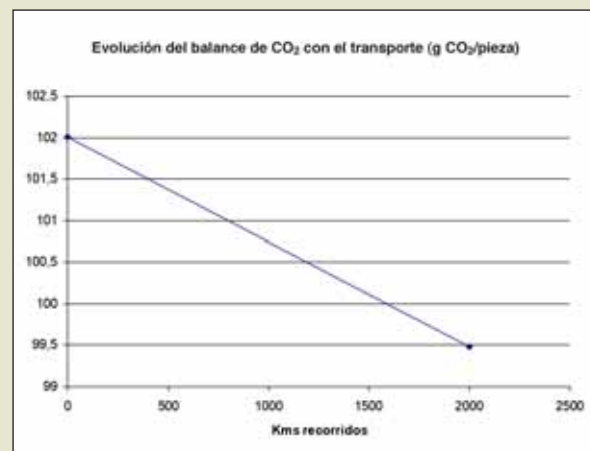
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 26,58 | 787,50 | 149,63 |
| EMISIÓN | 8,46 | 222,66 | 33,40 |
| BALANCE | 18,13 | 536,89 | 102,01 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 26,58 | 787,50 | 149,63 |
| EMISIÓN | 12,11 | 318,86 | 47,83 |
| BALANCE | 17,68 | 523,58 | 99,48 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



PIMIENTO

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

EMISIONES DIRECTAS

| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
|---|--------|------------------------------|
| Preparación del terreno | Gasoil | 998,16 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 664,75 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 2.316,11 |

EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------|------------------------------|
| Riego por goteo | 11.998,87 |
| Almacén y otros | 100,88 |

OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total)

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------------------|------------------------------|
| Transporte por distribución | 9.625 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

TOTAL DE EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE

| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 3.979,03 | 12.099,75 | 9.625 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 3,88 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 2,59 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 9,01 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 46,68 |
| Almacén y otros | 0,39 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 37,45 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

Puesto que se trata de invernaderos que funcionan todo el año, el consumo de electricidad es más elevado, repercutiendo de esta manera en las emisiones.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

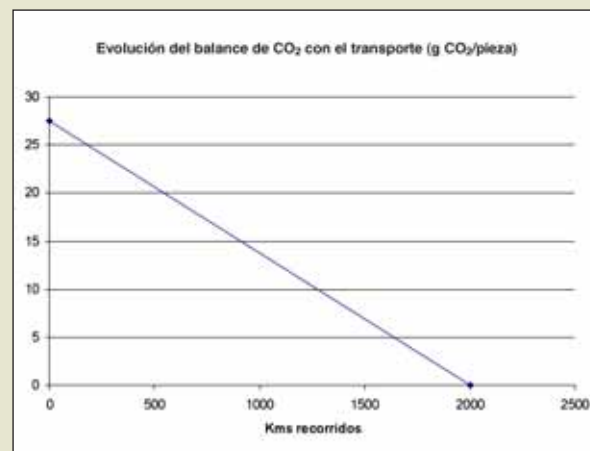
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 25,72 | 367,46 | 73,49 |
| EMISIÓN | 16,07 | 229,70 | 45,94 |
| BALANCE | 9,63 | 137,77 | 27,55 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 25,72 | 367,46 | 73,49 |
| EMISIÓN | 25,70 | 367,20 | 73,44 |
| BALANCE | 0,018 | 0,27 | 0,05 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



POMELO

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

EMISIONES DIRECTAS

| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
|---|--------|------------------------------|
| Preparación del terreno | Gasoil | 235,32 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 856,17 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 1.970,31 |

EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------|------------------------------|
| Riego por goteo | 37,04 |
| Almacén y otros | 5.759,65 |

OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total)

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------------------|------------------------------|
| Transporte por distribución | 6.665,49 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

TOTAL DE EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE

| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 1.091,50 | 5.796,69 | 6.665,49 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 1,52 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 5,52 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 12,69 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 0,24 |
| Almacén y otros | 37,10 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 42,94 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

Destacan emisiones en cuanto al transporte de finca a almacén, debido a que la finca estudiada como ejemplo se encuentra a una distancia de unos 150 km del almacén de la cooperativa.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

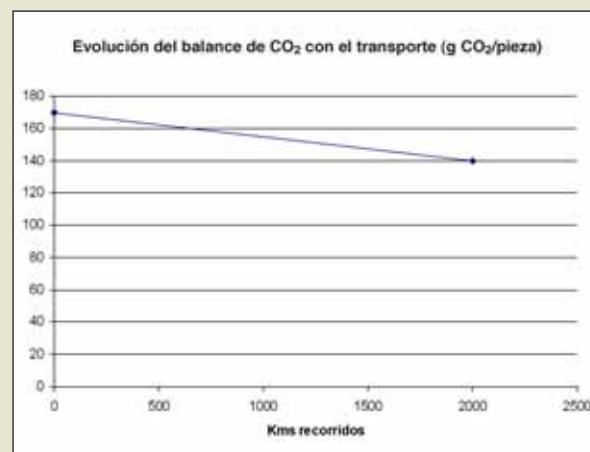
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 56,35 | 805,05 | 201,26 |
| EMISIÓN | 8,94 | 127,85 | 31,96 |
| BALANCE | 47,40 | 677,20 | 169,30 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 56,35 | 805,05 | 201,26 |
| EMISIÓN | 17,27 | 246,85 | 61,71 |
| BALANCE | 39,07 | 558,20 | 139,55 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



SANDÍA

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

EMISIONES DIRECTAS

| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
|---|--------|------------------------------|
| Preparación del terreno | Gasoil | 29,37 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 32,60 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 1.334,61 |

EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------|------------------------------|
| Riego por goteo | 1,17 |
| Almacén y otros | 136,04 |

OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total)

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------------------|------------------------------|
| Transporte por distribución | 796,60 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

TOTAL DE EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE

| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 1.396,59 | 137,22 | 796,60 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | % |
|---|------------|
| Preparación del terreno | 1,28 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | 1,42 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | 57,94 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | % |
| Riego por goteo | 0,05 |
| Almacén y otros | 5,91 |
| EMISIONES TRANSPORTE | % |
| Transporte a Alemania | 33,41 |
| TOTAL | 100 |

1.4. Comentarios

Se observa un consumo eléctrico en riego bajo debido a que se produce por gravedad.

Así mismo tampoco se generan altas emisiones por transporte de campo a almacén debido a su cercanía.

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

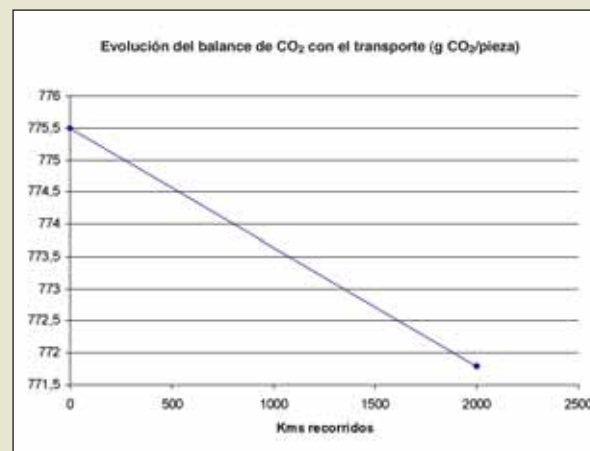
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 7,44 | 931,08 | 1.117,30 |
| EMISIÓN | 1,53 | 191,73 | 230,07 |
| BALANCE | 5,16 | 646,25 | 775,50 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 7,44 | 931,08 | 1.117,30 |
| EMISIÓN | 2,3 | 287,93 | 345,54 |
| BALANCE | 5,14 | 643,16 | 771,79 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



TOMATE

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

EMISIONES DIRECTAS

| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
|---|--------|------------------------------|
| Preparación del terreno | Gasoil | 139,55 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 2648,94 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 594,22 |

EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------|------------------------------|
| Riego por goteo | 2.591,06 |
| Almacén y otros | 2.301,91 |

OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total)

| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
|-----------------------------|------------------------------|
| Transporte por distribución | 17.325 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

TOTAL DE EMISIONES DE CO₂ EQUIVALENTE

| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 3.382,71 | 4.892,97 | 17.325 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | % |
|---|--|------------|
| Preparación del terreno | | 0,55 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | | 10,35 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 2,32 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | | % |
| Riego por goteo | | 10,12 |
| Almacén y otros | | 8,99 |
| EMISIONES TRANSPORTE | | % |
| Transporte a Alemania | | 67,67 |
| TOTAL | | 100 |

2. Balance de carbono

2.1. Balance de carbono sin transporte

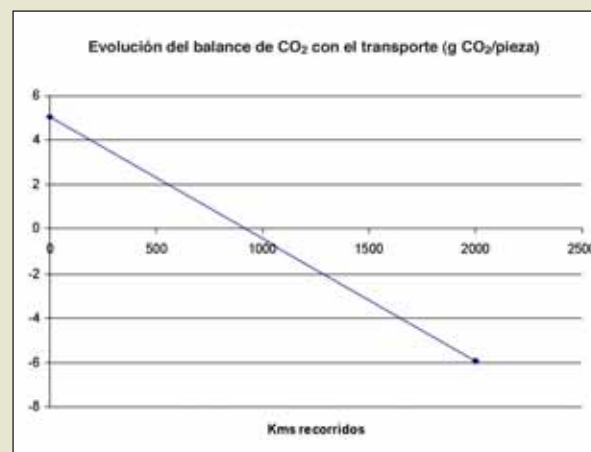
| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 16,24 | 128,90 | 10,31 |
| EMISIÓN | 8,27 | 65,68 | 5,25 |
| BALANCE | 7,96 | 63,22 | 5,06 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | | | |
| EMISIÓN | 25,6 | 203,18 | 16,25 |
| BALANCE | -9,39 | -74,28 | -5,94 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte

A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



4. Comentarios

Puesto que se tratan de tomateras de invernadero, destacan las altas emisiones por consumo eléctrico debido a la calefacción.

UVA DE MESA

EJEMPLO 1

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | |
|---|--------|------------------------------|
| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
| Preparación del terreno | Gasoil | 243,79 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 730,63 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 2.931,38 |

| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | |
|----------------------------------|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Riego por goteo | 40,36 |
| Almacén y otros | 42,69 |

| OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total) | |
|--|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Transporte por distribución | 4.812,5 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

| TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂ EQUIVALENTE | | |
|---|----------------------------------|------------------------------|
| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 974,43 | 83,05 | 4.812,50 |



1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | % |
|---|--|------------|
| Preparación del terreno | | 2,77 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | | 8,30 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 33,31 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | | % |
| Riego por goteo | | 0,46 |
| Almacén y otros | | 0,49 |
| EMISIONES TRANSPORTE | | % |
| Transporte a Alemania | | 54,68 |
| TOTAL | | 100 |

2. Balance de carbono

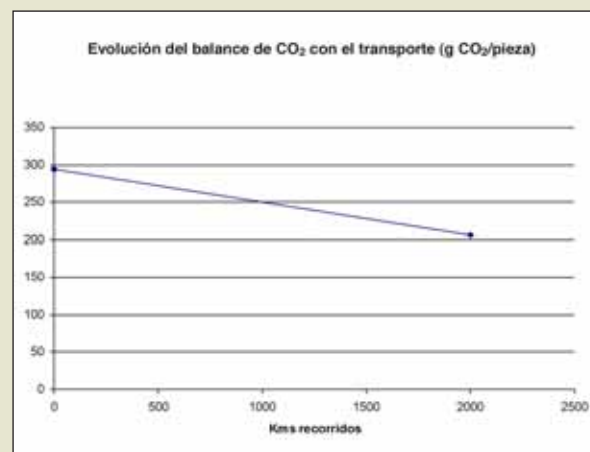
2.1. Balance de carbono sin transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 18,65 | 532,91 | 266,46 |
| EMISIÓN | 3,98 | 113,97 | 56,98 |
| BALANCE | 14,66 | 418,95 | 209,47 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 18,65 | 532,91 | 266,46 |
| EMISIÓN | 8,80 | 251,47 | 125,73 |
| BALANCE | 9,85 | 281,45 | 140,72 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte
 A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



EJEMPLO 2

1. Cálculo de emisiones de CO₂ equivalente

1.1 Emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | |
|---|--------|------------------------------|
| Operación | | kg CO ₂ eq/ha año |
| Preparación del terreno | Gasoil | 180,16 |
| Transporte y recolección | Gasoil | 443,93 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 469,95 |

| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | |
|----------------------------------|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Riego por goteo | 60,91 |
| Almacén y otros | 116,29 |

| OTRAS EMISIONES INDIRECTAS (no contabilizan para el cálculo total) | |
|--|------------------------------|
| Operación | kg CO ₂ eq/ha año |
| Transporte por distribución | 5.495,09 |

1.2. Total de emisiones de CO₂ equivalente

| TOTAL DE EMISIONES DE CO ₂ EQUIVALENTE | | |
|---|----------------------------------|------------------------------|
| EMISIONES DIRECTAS | EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | EMISIONES POR TRANSPORTE |
| kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año | kg CO ₂ eq/ha año |
| 694,09 | 177,21 | 5.495,09 |

1.3. Contribución de cada operación al total de las emisiones de CO₂ equivalente

| EMISIONES DIRECTAS | | % |
|---|--|------------|
| Preparación del terreno | | 2,66 |
| Transporte hasta el almacén y recolección | | 6,56 |
| Fertilización (emisiones de N ₂ O del suelo) | | 6,95 |
| EMISIONES INDIRECTAS POR ENERGÍA | | % |
| Riego por goteo | | 0,90 |
| Almacén y otros | | 1,72 |
| EMISIONES TRANSPORTE | | % |
| Transporte a Alemania | | 81,21 |
| TOTAL | | 100 |

2. Balance de carbono

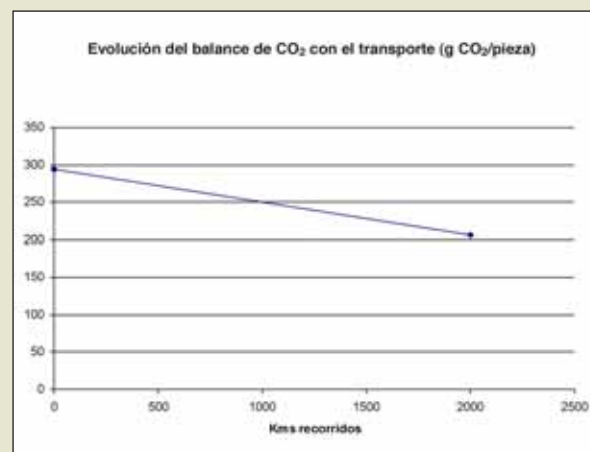
2.1. Balance de carbono sin transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 19,42 | 485,51 | 315,58 |
| EMISIÓN | 1,27 | 31,78 | 20,66 |
| BALANCE | 18.149.237 | 453,73 | 294,93 |

2.2. Balance de carbono con transporte

| | Por ha (t CO ₂ /ha) | Por kg (g CO ₂ /kg) | Por pieza (g CO ₂ /pieza) |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| REMOCIÓN | 19,42 | 485,51 | 315,58 |
| EMISIÓN | 6,76 | 169,16 | 109,95 |
| BALANCE | 12.654.144 | 316,35 | 205,63 |

3. Evolución del balance de carbono con el transporte
 A continuación se representa la evolución del balance de CO₂ considerando un transporte en camión convencional con destino Alemania, a una distancia aproximada de 2.000 km.



5.2. BALANCE DE CARBONO EN CULTIVOS DE AGRICULTURA ECOLÓGICA

José María Egea Fernández*, José María Egea Sánchez**

*Departamento Biología Vegetal. UMU. **Asesor de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. UMU

1. CONTRIBUCIÓN DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA A LA CAPACIDAD SUMIDERO TOTAL DE LA AGRICULTURA DE LA REGIÓN MURCIA. INFORME DE AVANCES

1.1. ¿Qué es la agricultura ecológica?

En todo el mundo se utilizan unos 16 nombres para lo que en inglés se llama “agricultura orgánica”. Algunos de los más conocidos son agricultura biológica, agricultura orgánica, agricultura regenerativa y agricultura sostenible.

No obstante, los principios y prácticas en los que se basan estos diferentes nombres en esencia son similares y se expresan concisamente en el documento de normas de la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Ecológica (IFOAM):

- Producir alimentos de alta calidad nutritiva, en cantidad suficiente.
- Trabajar con los ecosistemas naturales.
- Fomentar y potenciar los ciclos biológicos dentro del sistema agrario, implicando a los microorganismos, la flora y la fauna edáfica, las plantas y los animales.
- Mantener e incrementar, a largo plazo, la fertilidad de la tierra.
- Usar, hasta donde sea posible, los recursos renovables en sistemas agrícolas localmente organizados.

- Trabajar todo lo que se pueda dentro de un sistema cerrado en lo que respecta a la materia orgánica y los nutrientes. En este punto es importante la integración agricultura-ganadería ecológica.
- Evitar todas las formas de contaminación que puedan resultar de las técnicas agrícolas.
- Mantener la biodiversidad y la diversidad genética del sistema agrícola y sus alrededores, incluyendo la protección de las plantas y el hábitat silvestre.
- Permitir que los agricultores obtengan unos ingresos satisfactorios y realicen un trabajo gratificante en un entorno laboral saludable.
- Considerar el impacto social y ecológico más amplio del sistema agrario.

Para los agricultores ecológicos, estos principios proporcionan las bases para la práctica agrícola cotidiana. Estas bases suscitan las técnicas de la agricultura ecológica tales como el “compostaje”, el uso de largas rotaciones que utilizan praderas temporales y abonos verdes, la eliminación de los abonos solubles, la prohibición de la ganadería intensiva, la eliminación de antibióticos y estimulantes hormonales, el uso de métodos mecánicos y térmicos para el control de las malas hierbas, la transformación de los pro-

ductos en la propia finca y la venta directa al consumidor, y el uso de mano de obra extraordinaria aun cuando no sea estrictamente necesaria, como forma de contribuir positivamente a la comunidad de la propia finca y rural.

La idea de que el suelo es un sistema vivo forma parte de una concepción según la cual existe una relación esencial entre el suelo, la planta, el animal y el ser humano. Para muchas personas implicadas en la agricultura ecológica, comprender este concepto es un requisito previo para llevar a cabo un sistema agrícola ecológico con éxito.

La Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE) define agricultura y ganadería ecológica como “un sistema perdurable de producción agraria cuyo objetivo fundamental es la obtención de alimentos de máxima calidad, respetando el medio ambiente y mejorando la fertilidad de la tierra, mediante la utilización óptima de los recursos locales, potenciando las culturas rurales, los valores éticos del desarrollo rural y la calidad de vida”.

1.2. Agricultura ecológica en la Región de Murcia

La Región de Murcia tiene gran tradición en el cultivo ecológico, siendo pionera en España con la producción de frutas, hortalizas y arroz. Actualmente cuenta con un sector agrario de gran importancia, con gran protagonismo a nivel nacional y europeo en el caso de hortalizas, frutas y conservas vegetales.

Además, es una de las comunidades autónomas que mayor superficie certificada como ecológica tiene en España (si exceptuamos superficies de pastos, praderas y bosques).

La superficie agrícola cultivada como agricultura ecológica en la Región de Murcia ha crecido constantemente desde el año 1996; entonces se cultivaban unas 284 hectáreas, mientras que en la actualidad son más de 60.000 hectáreas, que son ocupadas principalmente con cultivos de frutos secos, abonos verdes, cereales y leguminosas.

En cuanto a las actividades industriales han destacado tradicionalmente las de manipulación de frutas y hortalizas, manipulado y envasado de granos (arroz), elaboración de conservas vegetales y zumos, bodegas y embotelladoras de vinos y manipulación de frutos secos. Con posterioridad, a partir del año 1998, se han incluido almazaras, elaboración de especias y condimentos y elaboración de preparados alimenticios (congelados vegetales, alimentación infantil, preparados para diluir, etc.).

Producción vegetal

Los cultivos con mayor superficie son los de secano, como frutos secos (entre ellos, el almendro es el más numeroso), cereales y leguminosas, vid y olivar.

Es precisamente la vid el producto ecológico de la Región que tiene una mayor participación en el total nacional, siendo también destacada en hortalizas, tubérculos y frutos secos. Aunque recientemente se ha producido en la Región de Murcia un aumento muy considerable de la superficie ecológica dedicada a productos de secano (almendro, viñedo, olivar y cereales), son las actividades vinculadas a la producción hortofrutícola y a la elaboración de preparados alimenticios y conservas vegetales las que acaparan más del 95% del valor de la producción ecológica regional (CRAERM, 2001).

Industria

El número de empresas de transformación de productos ecológicos en la Región de Murcia está en continuo crecimiento, aunque sigue siendo escaso. Desde el año 1991 el número de empresas ha aumentado considerablemente, pasando de 26 industrias (tanto de producción animal como vegetal), hasta las 153 industrias de transformación ecológica que se localizan en la Región de Murcia en el año 2007.

En la elaboración de especias, aromáticas y medicinales, la Región está contribuyendo en una cuarta parte al

número total de empresas dedicadas a esta actividad en España. Muy importante también es la contribución al total nacional de conservas y zumos vegetales, con un 22,13%, y los productos hortofrutícolas en fresco (14,21%).

1.3. Agricultura y cambio climático

1.3.1. El suelo y su importancia como reservorio de CO₂

El reciente reconocimiento internacional del papel que las variaciones de los *stocks* de carbono en el suelo juegan en la concentración de CO₂ de la atmósfera ha acrecentado el interés de todas aquellas estrategias encaminadas a favorecer la fijación y entrada de ese carbono en el suelo. De interés es no sólo conocer los mecanismos que ayudan a fijar el carbono y a estabilizar ese elemento, sino también favorecer su protección y evitar una mala gestión de usos del suelo que finalicen con este propósito. Se trata pues de hacer que el suelo tenga una elevada capacidad de retención de C evitando que se degrade, consiguiendo así un verdadero “sumidero de carbono”.

Los suelos disponen de entradas de C provocadas fundamentalmente por restos vegetales y exudados radicales que se depositaban en dichos suelos, y que sin duda constituyen una fuente de materia orgánica para los mismos. En ese momento, y debido a la acción de los microorganismos existentes, por un lado se ponen en marcha procesos de mineralización de la materia orgánica, con lo que parte de ese C (aquél que es más lábil y predispuesto al ataque microbiano) se pierde a la atmósfera. Pero, por otro lado, el C que es más difícilmente atacable pasa a la fase de lo que conocemos como “humus”, y se convierte en un C estable, ya sea por su carácter recalcitrante y poco utilizable por los microorganismos como porque el C se puede introducir en los coloides minerales como arcilla, quedando entonces protegidos frente a la degradación por microorganismos. Esto conlleva una fijación de C en el suelo, y se establece un “equilibrio”.

En los sistemas agrícolas, las pérdidas de carbono del suelo se deben fundamentalmente al laboreo. Adecuadas prácticas agrícolas como el manejo del riego o diferentes sistemas de fertilización orgánica pueden aumentar los depósitos de carbono en el suelo.

1.3.2. El papel de la agricultura ecológica

La agricultura ecológica puede reducir sensiblemente las emisiones de CO₂ en una explotación agrícola debido fundamentalmente al ahorro energético que supone el mantenimiento de la fertilidad del suelo mediante *inputs* internos (rotaciones, abonos verdes, cultivo de leguminosas, etc.), la ausencia del uso de fitosanitarios y fertilizantes de síntesis y los bajos niveles de la externalización en la alimentación del ganado.

Por otro lado, se reduce la energía necesaria para producir fertilizantes químico-sintéticos y agentes de protección de plantas, a los que se renuncia en esta agricultura. Por último, se limita el uso de alimentos animales externos que en muchas ocasiones son transportados desde largas distancias antes de ser consumidos.

Diferentes experimentos de largo plazo ofrecen evidencia de que la adición regular de materiales orgánicos al suelo es la única vía para mantener o incrementar el carbono orgánico en el suelo. El desarrollo sistemático de tecnologías de fertilización orgánica ha sido una de las principales preocupaciones de la agricultura ecológica desde hace varias décadas, en el que se han alcanzado resultados interesantes.

Los elementos clave de este desarrollo han sido:

- La optimización de la cantidad y la aplicación de estiércoles, cuyos elementos básicos han sido la integración de la producción agrícola vegetal y animal y el reciclaje sistemático de desperdicios orgánicos.
- La mejora de las técnicas de elaboración o procesado de residuos orgánicos para obtener una alta calidad de estiércol. A través del compostaje de residuos animales y

vegetales se minimizan las pérdidas en los procesos de humidificación, obteniéndose una alta proporción de humus sólido.

Las rotaciones largas y diversificadas, así como el cultivo de leguminosas, característico de la agricultura ecológica, contribuyen también a incrementar el carbono orgánico del suelo.

El principio básico de la agricultura ecológica de ajuste de nutrientes y ciclos de energía mediante el manejo de la materia orgánica en el suelo le da a esta modalidad de cultivo un particular potencial de captación. Asimismo, la aplicación exclusiva de fertilizantes nitrogenados de síntesis contribuye con frecuencia al incremento de los procesos de oxidación de la materia orgánica y, en consecuencia, a incrementar las pérdidas de carbono orgánico del suelo (Kotschi y Müller-Säman, 2004).

También las técnicas de no laboreo, mínimo laboreo o laboreo de conservación, aconsejadas y empleadas en agricultura ecológica, reducen los procesos de oxidación y, en consecuencia, la liberación de CO₂ a la atmósfera (Heenan *et al.*, 2004).

La rotación de cultivos, ampliamente practicada en agricultura ecológica (cultivos herbáceos), además de ayudar a reducir las pérdidas de nitrógeno, aumenta la biomasa subterránea y, por tanto, la capacidad de retención de C.

La agroforestación, otra técnica aconsejada y practicada en la agricultura ecológica, consistente en la introducción de masa arbórea en los distintos agrosistemas, también puede contribuir en un aumento del secuestro de CO₂.

Las emisiones de N₂O en agricultura se deben fundamentalmente a la excesiva fertilización y consecuentes pérdidas de nitrógeno. En los sistemas de producción ecológica los excedentes de nitrógeno y sus pérdidas se minimizan, ya que no se utilizan abonos sintéticos y se ajustan las necesidades nutritivas a la producción.



Figura 1.



Figura 2.



Figura 3.



Figura 5.



Figura 4.



Figura 6.

1.3.3. Técnicas (buenas prácticas) empleadas en agricultura ecológica

De manera genérica, podemos enumerar las diferencias básicas que comparten los cultivos ecológicos anteriormente descritos con respecto a esos mismos cultivos bajo métodos convencionales.

Fundamentalmente, cuando transformamos una finca al cultivo ecológico debemos actuar sobre la fertilidad orgánica del suelo, así como sobre la nutrición de las plantas y el control de plagas y enfermedades y plantas adventicias.

a) Mantenimiento biológico del suelo

En el suelo hay de forma natural una infinidad de organismos vivos que efectúan un “laboreo” continuado: las raíces, al explorar en busca de agua y nutrientes; las lombrices, insectos y roedores, con sus galerías, y otros organismos, con sus exudaciones y residuos, que ayudan a unir las partículas de arcilla y humus.

Tampoco hay que despreciar la gran cantidad de materia orgánica que aportan estos organismos, así como la conversión de la materia orgánica en material asimilable por las plantas.

Diversas experiencias realizadas han demostrado que el laboreo biológico posee ventajas sobre el mecánico. Como son:

- No apelmaza el suelo al pasar por el suelo, lo que comúnmente ocurre al trabajar la tierra con maquinaria y que obliga a realizar cada cierto tiempo un trabajo más profundo.
- Al cortar la hierba y dejarla como acolchado se producen varias mejoras, por un lado el sol no seca el terreno, conservando la humedad, y por otro lado sirve de protección a los microorganismos y demás organismos.
- Por otro lado las plantas adventicias sirven de huésped a los insectos útiles, absorben el nitrógeno que de otra

forma se perdería al evaporarse a la atmósfera y que luego vuelven a ceder al suelo al convertirse en compost. Y si la planta tiene raíces profundas, como la alfalfa, entonces extrae nutrientes que de otra forma resultan inaccesibles para otras plantas con sistemas radiculares menos capaces de profundizar.

b) La nutrición de los cultivos

Para que un sistema ecológico funcione es muy importante que se produzca un reciclado de nutrientes dentro del propio sistema y a escala regional, creando un sistema cerrado, evitando el aporte externo de nutrientes y la pérdida hacia el exterior del sistema, ambos a una escala más global.

Existen distintos tipos de esta materia orgánica. Así, las principales fuentes de humus que podemos encontrar son:

- Abonos orgánicos producidos en la finca o comprados a otras fincas inscritas en los registros (estiércol, descompuesto por fermentación en montón, en hoyo o en la superficie; residuos de cosechas; abonos verdes; paja y otros acolchados; estiércol líquido (lisier) y orines (purines) fermentados aeróbicamente; purín de ortigas; compost hecho a partir de residuos orgánicos, humus de lombriz).
- Abonos orgánicos que no provienen de fincas inscritas en los registros (compost hecho a partir de residuos orgánicos no contaminados; estiércoles no contaminados y previamente descompuestos por fermentación en montón o en hoyo; paja no contaminada; algas marinas y derivados; pescado y derivados; guano de aves; humus de lombriz hecho a partir de estiércoles no contaminados; subproductos orgánicos de la industria alimentaria y textil, siempre que no estén contaminados ni tengan aditivos químicos, y serrín, virutas y cortezas, si proceden de madera no tratada).

- Abonos minerales que autoriza el Consejo Regulador de la Agricultura Ecológica (rocas en polvo; enmiendas calcáreas, magnésicas y de azufre o yeso; algas calcáreas; fosfatos naturales; cenizas de madera; escorias Thomas; mineral magnésico; mineral potásico con bajo contenido en cloro, oligoelementos).

También se pueden utilizar como fertilizantes el abonado en verde, que consiste en cultivar y enterrar una planta para que, al descomponerse, se convierta en abono, especialmente utilizando leguminosas.

c) Gestión de malas hierbas

Las malas hierbas o hierbas adventicias presentan numerosas propiedades que son aprovechables en agricultura. Son para el agricultor ecológico los auxiliares que utilizan los desequilibrios del suelo con vistas a fabricar o movilizar los elementos y desarrollar la vida microbiana que faltaba. Entre estas ventajas cabe resaltar las siguientes (Roger, 1985; Cánovas Fernández, 1993):

- Constituyen una cubierta vegetal que controla la erosión del suelo.
- Son una fuente de recursos genéticos.
- Albergan numerosos insectos que pueden ser beneficiosos para el cultivo, así como pájaros, animales de caza e incluso peces, a los que ofrecen refugio y alimento.
- Sirven de indicadoras visuales del tipo de suelo (estado nutritivo, pH, etc.).
- En algunas situaciones pueden usarse como colaboradoras de nuestra explotación, actuando como mejorantes.
- Según Hallaire, se ha demostrado que un terreno man-

tenido limpio, sin vegetación adventicia, pierde tanta agua por evaporación como si estuviera cubierto por un continuo tapiz vegetal de malas hierbas, mientras que si éstas permanecen durante el descanso entre cultivo y cultivo evitarán las pérdidas por ejemplo de nitrógeno por lixiviación (Meiklejohn, 1955).

- Hay plantas que ayudan con sus secreciones radiculares a la destrucción de los residuos tóxicos.

Prácticas culturales preventivas

- Laboreo de suelo: el momento de labor es determinante en este aspecto. También hay que cuidar que no se remontan a la superficie las capas profundas del suelo que pueden llevar consigo reapariciones de adventicias. La inestabilidad estructural da lugar a que el suelo se apisone, favoreciendo la germinación de semillas persistentes.
- Fertilización: todo desequilibrio en la materia orgánica produce un desequilibrio microbiano, enzimático y mineral que dará lugar a otras invasiones. Además su fermentación facilitará la destrucción de semillas, cuidando la ausencia de éstas en el material utilizado para la fabricación del compost y de las camas.
- Densidad de siembra: hay que determinar la distribución de las plantas y el lugar donde deben dejarse o no crecer las adventicias, por ejemplo para promover el desarrollo de poblaciones de insectos beneficiosos, etc.
- Acolchado: impide la emergencia de gran número de adventicias, siempre que no agravemos el problema porque el material no esté limpio de semillas.
- Asociación de cultivos: el cultivo intercalado puede aumentar la capacidad competitiva de los cultivos contra las adventicias.

- Prácticas alelopáticas: la alelopatía es cualquier efecto dañino, directo o indirecto, de una planta sobre otra mediante la producción de componentes químicos liberados en el medio ambiente.
- Autocontrol por prácticas culturales: además de cuidar la ausencia de semillas en los materiales para acolchado, compost, etc., deberemos evitar el transporte de éstas a través de los aperos y en general de todo aquello que puede entrar en contacto con el cultivo.

Prácticas culturales directas

- Medios mecánicos: realizaremos la escarda con instrumentos que arranquen o envuelvan en la tierra las hierbas adventicias. Dentro de los instrumentos manuales disponemos de: el escardador, el legón, la azada de rueda con cuchillas escardadoras, la gubia de espárragos, etc. También se utilizan las rastras y el cepillo rotativo.
- Medios térmicos: se llevan a cabo en aquellas zonas donde no es posible la escarda mecánica y se pueden realizar en pre-emergencia o post-emergencia del cultivo, de la forma tradicional o mediante sistemas infrarrojos. Además, existen distintos tipos de quemadores (tipo Biofarm, tipo Express, tipo Fitollama, etc.). Algunas adventicias, como las monocotiledóneas, son menos sensibles a estos tratamientos, por lo que se debe repetir la operación y si es preciso realizar previamente un desherbado mecánico.
- Medios eléctricos: la base de su funcionamiento reside en el empleo de corrientes de alto voltaje que actúan por contacto. Su uso está muy extendido en Estados Unidos, pero su elevado coste impide su difusión.

d) Control de plagas y enfermedades

Como técnicas o métodos utilizados en la actualidad para

el control ecológico de plagas y enfermedades, según el profesor Ripollés Moles, tenemos (Cánovas Fernández, 1993):

- Utilización de microorganismos antagonicos. Se hace empleando generalmente bacterias y hongos para que reduzcan la actividad, la eficacia o la cantidad de inóculo del agente fitopatogéno mediante mecanismos como la antibiosis, la competencia, la predación o hiperparasitismo.
- Control biológico de artrópodos. Existen diversos métodos:
 - Uso de feromonas: para el uso de estas sustancias tenemos distintas técnicas como: monitorización de poblaciones, capturas masivas, atracción y muerte, confusión, etc.
 - Uso de reguladores de crecimiento de insectos: los efectos que surgen del empleo de estas sustancias dependen del estado en que se encuentra el organismo de los insectos y de sus condiciones fisiológicas en el momento de la aplicación. Pueden ser: inhibición del desarrollo de las larvas, de forma que no lleguen a realizar la ninfosis; ruptura de la metamorfosis, impidiendo la emergencia de los adultos; alteración del sistema reproductor y del metabolismo, induciendo incluso la diapausia o interrumpiéndola.
 - Uso de microorganismos entomopatogénos: utilizamos ciertos microorganismos que desencadenan enfermedades en los artrópodos y finalmente producen su muerte: virus, bacterias, hongos, nematodos y protozoos.
 - Uso de entomófagos: se trata del uso de artrópodos parásitos o parasitoides de otros artrópodos que afectan negativamente a nuestros cultivos. También se emplean lepidópteros, neurópteros, dípteros, coleópteros, hemípteros y arácnidos. Los métodos utili-

zados son: introducción de organismos exóticos; incremento de enemigos naturales criados en cautividad; conservación y mejora de la acción de los enemigos naturales ya existentes.

Aparte de estas técnicas preventivas o mecánicas, existen algunos productos minerales y químicos permitidos en

la agricultura ecológica, y también se puede realizar un control mecánico. En el caso del control mecánico se han desarrollado diversos sistemas que incluyen las barreras físicas, como pueden ser las vallas contra babosas y caracoles, las trampas, como las trampas de feromonas para alejar las plagas de los cultivos, y los sonidos, como es el caso de las detonaciones periódicas.

C.2.2. RESULTADOS DE BALANCES DE CARBONO REALIZADOS EN EXPLOTACIONES DE AGRICULTURA ECOLÓGICA DE LA REGIÓN DE MURCIA

Albaricoque ecológico

| ALBARICOQUE ECOLÓGICO 1 | Balance de CO ₂ en la finca | Balance de CO ₂ por kg de fruta o verdura | Balance de CO ₂ asociado a cada pieza de fruta o verdura |
|-------------------------|--|--|---|
| | (t CO ₂ /ha) | (g CO ₂ /kg) | (g CO ₂ /pieza) |
| BALANCE | 12,73 | 870 | 43,29 |

| ALBARICOQUE ECOLÓGICO 2 | Balance de CO ₂ en la finca | Balance de CO ₂ por kg de fruta o verdura | Balance de CO ₂ asociado a cada pieza de fruta o verdura |
|-------------------------|--|--|---|
| | (t CO ₂ /ha) | (g CO ₂ /kg) | (g CO ₂ /pieza) |
| BALANCE | 17,22 | 590 | 29,69 |

Alcachofa ecológica

| ALCACHOFA ECOLÓGICA | Balance de CO ₂ en la finca | Balance de CO ₂ por kg de fruta o verdura | Balance de CO ₂ asociado a cada pieza de fruta o verdura |
|---------------------|--|--|---|
| | (t CO ₂ /ha) | (g CO ₂ /kg) | (g CO ₂ /pieza) |
| BALANCE | 8,15 | 400 | 217,83 |

Ciruelo ecológico



Compost.



Compost.

Ciruela ecológica

| CIRUELA ECOLÓGICA | Balance de CO ₂ en la finca | Balance de CO ₂ por kg de fruta o verdura | Balance de CO ₂ asociado a cada pieza de fruta o verdura |
|----------------------|---|---|--|
| | (t CO ₂ /ha) | (g CO ₂ /kg) | (g CO ₂ /pieza) |
| BALANCE | 18,35 | 800 | 183,48 |

Coliflor ecológica

| COLIFLOR ECOLÓGICA | Balance de CO ₂ en la finca | Balance de CO ₂ por kg de fruta o verdura | Balance de CO ₂ asociado a cada pieza de fruta o verdura |
|-----------------------|---|---|--|
| | (t CO ₂ /ha) | (g CO ₂ /kg) | (g CO ₂ /pieza) |
| BALANCE | 7,32 | 200 | 174,17 |

Lechuga ecológica

| LECHUGA ECOLÓGICA | Balance de CO ₂ en la finca | Balance de CO ₂ por kg de fruta o verdura | Balance de CO ₂ asociado a cada pieza de fruta o verdura |
|-------------------|--|--|---|
| | (t CO ₂ /ha) | (g CO ₂ /kg) | (g CO ₂ /pieza) |
| BALANCE | 2,78 | 160 | 183,40 |

Mandarina ecológica



Mandarina ecológica

| MANDARINA ECOLÓGICA | Balance de CO ₂ en la finca | Balance de CO ₂ por kg de fruta o verdura | Balance de CO ₂ asociado a cada pieza de fruta o verdura |
|---------------------|--|--|---|
| | (t CO ₂ /ha) | (g CO ₂ /kg) | (g CO ₂ /pieza) |
| BALANCE | 6,85 | 1.370 | 102,74 |

Melocotón ecológico



Melocotón ecológico

| MELOCOTÓN ECOLÓGICO | Balace de CO ₂ en la finca | Balace de CO ₂ por kg de fruta o verdura | Balace de CO ₂ asociado a cada pieza de fruta o verdura |
|------------------------|--|--|---|
| | (t CO ₂ /ha) | (g CO ₂ /kg) | (g CO ₂ /pieza) |
| BALANCE | 16,62 | 1.660 | 290,83 |

Naranja ecológico



Naranja ecológico

| NARANJO ECOLÓGICO | Balace de CO ₂ en la finca | Balace de CO ₂ por kg de fruta o verdura | Balace de CO ₂ asociado a cada pieza de fruta o verdura |
|-------------------|---------------------------------------|---|--|
| | (t CO ₂ /ha) | (g CO ₂ /kg) | (g CO ₂ /pieza) |
| BALANCE | 12,13 | 330 | 56,89 |

Tomate ecológico



Tomate ecológico

| TOMATE ECOLÓGICO | Balance de CO ₂ en la finca | Balance de CO ₂ por kg de fruta o verdura | Balance de CO ₂ asociado a cada pieza de fruta o verdura |
|------------------|--|--|---|
| | (t CO ₂ /ha) | (g CO ₂ /kg) | (g CO ₂ /pieza) |
| BALANCE | -3,01 | -143 | -33,02 |

Cebada integral ecológica

| CEBADA INTEGRAL ECOLÓGICA | Balance de CO ₂ en la finca | Balance de CO ₂ por kg | Balance de CO ₂ asociado a cada pieza |
|---------------------------|--|-----------------------------------|--|
| | (t CO ₂ /ha) | (kg CO ₂ /kg) | (g CO ₂ /pieza) |
| BALANCE | 51,82 | 74,03 | 3,33 |

ANEXO

**ORDEN DEL 20 DE NOVIEMBRE DE 2009, DE LA CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y AGUA,
POR LA QUE SE DESARROLLA LA INICIATIVA AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO₂
Y SE ESTABLECE LA OBTENCIÓN Y EL USO DEL ANAGRAMA-SELLO LESSCO₂ IDENTIFICADOR
DE LOS COMPROMISOS ADQUIRIDOS EN EL MARCO DE LA MISMA**



ANEXO. ORDEN DEL 20 DE NOVIEMBRE DE 2009, DE LA CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y AGUA, POR LA QUE SE DESARROLLA LA INICIATIVA “AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO₂” Y SE ESTABLECE LA OBTENCIÓN Y EL USO DEL ANAGRAMA-SELLO LESSCO2 IDENTIFICADOR DE LOS COMPROMISOS ADQUIRIDOS EN EL MARCO DE LA MISMA

La “huella de carbono” (*carbon footprint*, en inglés), parte del concepto del análisis de ciclo de vida. Es uno de los indicadores que ha alcanzado mayor difusión para identificar, sintetizar y comunicar de forma comprensible los posibles impactos ambientales de un proceso o actividad. Con esto se pretende cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero que son liberadas a la atmósfera debido a la producción y comercialización de un producto, desde la adquisición de las materias primas hasta su gestión como residuo, permitiendo a los consumidores decidir qué alimentos comprar según las emisiones generadas.

El cálculo de la “huella de carbono” tiene, para las empresas, entre otras muchas ventajas, el permitir la certificación de los esfuerzos voluntarios en responsabilidad ambiental, así como fomentar la ecoeficiencia y el benchmarking empresarial.

El auge del concepto 'huella de carbono' ha llevado a numerosas empresas de los países del norte y centro de Europa a utilizar este instrumento para cubrir esta nueva demanda social informando de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a sus productos.

La extensión de este concepto a la agricultura, se debe hacer teniendo en cuenta que este sector, junto al forestal y parte del ecosistema marino, son los únicos que tienen capacidad de absorber o remover CO₂ de la atmósfera, lo que nos lleva a hablar de “balance de carbono” en vez de “huella de carbono”, ya que en muchos de los cultivos agrícolas, dependiendo de las técnicas de producción, obtendrán un balance positivo comportándose como sumideros netos de CO₂.

Dentro del sector agrícola, la agricultura regional por su desarrollo tecnológico, y en general la agricultura me-

diterránea en su conjunto, por un clima que permite un reducido gasto energético, tiene la característica de ser un potente sumidero de CO₂, generando, de esta forma, además de alimentos, empleo y desarrollo rural, un importante beneficio ambiental.

Si se quiere aprovechar esta característica para contribuir a la lucha contra el cambio climático, ha de generarse una iniciativa que canalice la suma del mayor número de esfuerzos individuales. Esos esfuerzos, para que sean eficaces, han de ser voluntarios y adaptados a las características, posibilidades y el momento de cada explotación. Esos esfuerzos, por pequeños que sean han de tener un reconocimiento social a través de mecanismos como la publicidad en la página web y el apoyo institucional.

Si se comunica, de forma objetiva y transparente, a las partes interesadas y en especial a los consumidores este beneficio ambiental, que en cuanto a la absorción de gases de efecto invernadero hace la agricultura, las empresas agrícolas podrían obtener ventajas competitivas, que las estimularía a mejorar su capacidad sumidero. Por ello, ha de darse la posibilidad de que aquellas empresas que puedan adquirir compromisos mayores y verificables, obtengan un sello de identidad.

La Ley 4/2009, de 14 de mayo, de Protección Ambiental Integrada, de la Región de Murcia, establece dentro de su Título VI, mandatos para fomentar una economía baja en carbono y la generación de instrumentos de mercado al servicio del medio ambiente. De esta forma, en su artículo 121 señala:

“La Administración Regional incentivará la participación del sector privado en el aumento de la capacidad de cap-

tación de carbono de los sumideros, desarrollando instrumentos de mercado que permitan obtener ventajas competitivas por los beneficios ambientales que aportan con la captación de CO₂”.

La Administración Ambiental de la Comunidad Autónoma, de acuerdo con las exigencias de la Ley 4/2009, y para permitir que las empresas exportadoras murcianas, en particular, del sector agroalimentario, estén preparadas para futuras exigencias del mercado, está desarrollando iniciativas que permitan visualizar el esfuerzo ambiental que con carácter voluntario desarrollen.

La iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ pretende impulsar esta capacidad de absorción de la agricultura posibilitando que, aquellas empresas agrícolas que se comprometan a reflejar unos compromisos concretos y verificables, para demostrar a las partes interesadas el incremento en la capacidad sumidero de sus cultivos, puedan obtener el sello identificativo de la Iniciativa que se denomina LessCO₂. Agricultura de la Región de Murcia. De esta manera, el consumidor podrá visualizar el compromiso de las empresas por reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, al tiempo que producen alimentos, y la podrá consultar a través de la Web oficial información concreta sobre el CO₂ absorbido o removido de la atmósfera asociado a la cantidad de producto que acaba de adquirir.

En consecuencia, se hace necesario establecer la utilización de este Sello LessCO₂ para que pueda ser utilizado por el mayor número de empresas de la Región, al tiempo que por las características de ser productos destinados principalmente para la exportación al mercado exterior, esta regulación debe ajustarse a metodologías y esquemas reconocidos a nivel internacional, como los establecidos en las normas internacionales ISO 14064:2006 1,2 y 3 e ISO 14065 y que puedan ser verificables, por verificadores ambientales reconocidos también internacionalmente.

En su virtud, y en uso a las facultades que me confieren los artículos 16 y 25.4 de la Ley 7/2004, de 28 de diciem-

bre, de Organización y Régimen Jurídico de la Administración Pública de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

DISPONGO

Artículo 1: Objeto y ámbito de aplicación

Esta Orden tiene por objeto establecer el marco de funcionamiento de la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂, el mecanismo de adhesión y de formulación de compromisos ambientales voluntarios así como las condiciones de utilización y uso del anagrama-Sello de la Iniciativa, denominado LessCO₂. Agricultura de la Región de Murcia (en adelante Iniciativa y Sello LessCO₂).

El Sello LessCO₂ es propiedad exclusiva de la Consejería Agricultura y Agua de la Región de Murcia, en virtud de su inscripción en el Registro de la Oficina Española de Patentes y Marcas.

Artículo 2: Alcance y objeto de la Iniciativa

Agricultura murciana como sumidero de CO₂ es una Iniciativa que refleja el compromiso de las empresas agrícolas de la Región para, bajo el criterio de mejora continua, contribuir a la reducción de los gases de efecto invernadero en la atmósfera y aumentar la capacidad sumidero del territorio regional, de manera que se produzcan alimentos de forma más ecoeficiente y ambientalmente responsable.

En concreto la Iniciativa establece un marco de operación que permite:

- Incentivar que las empresas agrícolas de la Región puedan contribuir al desarrollo sostenible desarrollando prácti-



cas, y en su caso adquiriendo compromisos concretos de responsabilidad ambiental, que permitan minimizar las emisiones de GEI y favorecer la capacidad de absorción, o remoción neta de CO₂ de los cultivos agrícolas.

- Posibilitar que los esfuerzos ambientales formulados obtengan el adecuado reconocimiento social.
- Posibilitar, en aquellos casos en los que los compromisos sean verificables y validables, la utilización de un Sello identificativo que permita obtener ventajas competitivas.

Por otro lado, mediante el Sello LessCO2 se pretende reflejar el compromiso voluntario, validado y verificado, de un productor para mejorar año a año la capacidad de sumidero asociada un producto agrícola concreto.

El logotipo y las demás características del Sello LessCO2 se establecen en el Manual de Identidad Gráfica, incluido como Anexo F.

Artículo 3: Compromisos que adquiere la Administración Regional

La Administración Regional, en el marco de esta Iniciativa, se compromete a:

- Contribuir a superar la barrera del conocimiento en ecoeficiencia y buenas prácticas agrícolas que minimicen las emisiones de GEI y favorezcan la capacidad de remoción de CO₂ de los cultivos, impulsando el análisis de novedades, experiencias de éxito, iniciativas y proyectos de demostración.
- Publicar y difundir, ante los medios de comunicación y/o mediante campañas publicitarias, la lista de empresas que se han adherido a la Iniciativa y que en el

marco de ésta desarrollan compromisos ambientales voluntarios, las empresas y productos para los que se puede utilizar el Sello LessCO2 y los beneficios ambientales que ello supone.

- Contribuir a que se incremente el reconocimiento social para el sector agrícola por los beneficios ambientales que este genera.
- Poner a disposición del público, a través de la página Web www.lessco2.es, los esfuerzos ambientales voluntariamente adquiridos por los adheridos a la Iniciativa, diferenciándolos de aquellos que son validados y verificados por terceras partes, a los cuales les permitirá el uso del Sello LessCO2.

Artículo 4: Adhesión a la Iniciativa y compromisos que adquieren las empresas adheridas

Podrán participar en la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ y, en su caso, utilizar el Sello LessCO2 para uno o varios de sus productos, empresas agrícolas de la Región de Murcia, agrupaciones de las mismas, bajo la coordinación de una de ellas, o aquellas que tengan actividad productiva en la Región.

Los interesados en adherirse a la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ deberán cumplimentar el formulario de adhesión que figura en el Anexo A, y en un plazo máximo de 6 meses, presentar una Declaración Responsable para formular compromisos voluntarios anuales, según el modelo del Anexo B, adjuntando:

- **Declaración empresarial del balance de emisiones y remociones de GEI asociado al cultivo**, de acuerdo con las especificaciones del Anexo C, firmada por el representante legal de la empresa.

Esta Declaración incluirá el balance neto de CO₂ equivalente asociado a cada producto (B), que se calcula conforme a la siguiente ecuación:

$$B = R - E$$

(R): Remoción de CO₂ de la atmósfera por el cultivo. La remoción o capacidad de sumidero asociada a cada cultivo se hará pública por la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia. El interesado podrá acceder a ella a través de la página oficial www.lessco2.es.

(E): Las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al cultivo.

El balance neto de CO₂ equivalente se calculará por unidades de comercialización, de tal forma que en la página Web oficial de la Iniciativa se pueda consultar la cantidad de CO₂ removido temporalmente de la atmósfera asociada a las citadas unidades de comercialización.

- **Declaración empresarial del compromiso ambiental voluntario** adquirido por la empresa, conforme a las especificaciones del Anexo D.

Adicionalmente, las empresas adheridas a la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂, se comprometen a:

- Poner a disposición del público los Compromisos ambientales voluntariamente adquiridos.
- Contribuir a que se incremente el reconocimiento social para el sector agrícola por los beneficios ambientales que este genera.
- Promover una agricultura con bajas emisiones de GEI y en concreto, desarrollar una actividad productiva caracterizada, entre otros, por:

- Reducción del uso de combustibles fósiles y sustitución progresiva por energías renovables.
- Minimización del consumo de fertilizantes inorgánicos nitrogenados.
- Utilizar prácticas agrarias que favorezcan la absorción neta o remoción de CO₂ tanto por el cultivo, como en el suelo y por tanto, incrementen su capacidad de sumidero.

Artículo 5. Uso del Sello LessCO2

Las empresas adheridas a la Iniciativa que estén interesadas en usar el Sello LessCO2 para uno o varios de sus productos, deberán presentar junto a la Declaración responsable (Anexo B), una copia autenticada del certificado emitido por una entidad de las señaladas en el artículo 7, expedido para cada producto para el que se solicita el uso del Sello LessCO2. El certificado se realizará de acuerdo con el modelo normalizado que aparece como Anexo E.

Sólo se podrá solicitar la utilización del Sello LessCO2 para los productos o cultivos para los que la Administración haya hecho pública la cuantificación de la absorción o remoción neta (R) que le corresponda. Para el resto de productos agrícolas, se podrá solicitar a la Administración la determinación de la correspondiente remoción (R).

Transcurridos 3 meses desde la presentación de la documentación completa, si la Administración no se ha pronunciado, el interesado podrá hacer uso del sello, sin perjuicio de las facultades de comprobación por parte de la Consejería.

La inexactitud o falsedad en cualquier dato, manifestación o documento, de carácter esencial, que se acompañe o incorpore a la Declaración responsable, implicará la nulidad de lo actuado, impidiendo, desde el momento que se conozca, el uso del Sello LessCO2.



Artículo 6. Permanencia en la Iniciativa y en su caso mantenimiento del Sello LessCO2

Para mantener la participación en la Iniciativa, el titular de la instalación deberá certificar, como representante legal de la misma, y presentar cada año la Declaración Responsable para formular compromisos anuales voluntariamente adquiridos en el marco de la Iniciativa, según el modelo del Anexo B, adjuntando:

- Declaración empresarial del balance de emisiones y remociones de GEI asociado al cultivo.
- Declaración empresarial del compromiso ambiental voluntario.
- Declaración empresarial del grado de cumplimiento del compromiso ambiental voluntario adquirido el año precedente.

Para la renovación del uso del Sello LessCO₂, se deberá remitir a la Consejería de Agricultura y Agua, junto a la Declaración Responsable de compromisos anuales adquiridos en el marco de la Iniciativa a la que se hace referencia en el párrafo anterior, una copia autenticada del Certificado expedido por entidades de verificación y validación ambiental a las que se refiere el artículo 7.

Artículo 7. Entidades de Verificación y validación ambiental

Podrán actuar como entidades de verificación y validación ambiental, aquellas acreditadas como certificadoras de la norma ISO 14064:2006 por cualquier Entidad de Acreditación reconocida en el ámbito internacional, así como los verificadores de gases de efecto invernadero, verificadores medioambientales acreditados para EMAS, certifica-

dores de productos según normas ISO y UNE, entidades operacionales designadas para los Mecanismos de Desarrollo Limpio y Aplicación Conjunta del Protocolo de Kioto, certificadoras de la PAS 2050 y del GHG Protocol, entidades de control ambiental y entidades colaboradoras de la Administración en materia de medio ambiente.

En el proceso de validación del Compromiso ambiental y verificación del balance de emisiones y remociones de CO₂, las entidades autorizadas, se atenderán, además de a lo establecido en esta Orden, a los criterios de la norma UNE-ISO 14064, en su apartado 3 (14064-3, “Especificación con orientación para la validación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero”).

Artículo 8. Condiciones de Uso del Sello LessCO2

El uso del Sello LessCO₂ estará sujeto a las condiciones siguientes:

- El Sello LessCO₂ habrá de reproducirse de forma homotética al logotipo, tamaño mínimo, colores y tipos de letra indicados en el Manual de Identidad Gráfica del Sello LessCO₂ (ANEXO F).
- El Sello LessCO₂ habrá de ir asociado al producto y a la empresa para los que se concede, con el objetivo de que el consumidor pueda consultar a través de la página Web, expresada en la etiqueta, los esfuerzos ambientales de la citada empresa.
- Antes de hacer uso del Sello LessCO₂, se deberá comunicar a la Consejería de Agricultura y Agua todos los lugares y documentos donde vaya a utilizar.

El logotipo del Sello LessCO₂ deberá colocarse en las etiquetas de las unidades de comercialización del producto



y deberá estar reflejado en sus páginas web, en las que, para facilitar más información al consumidor, deberán existir enlaces a la Web oficial de la Iniciativa www.lessco2.es.

El titular de uso del Sello LessCO₂ para un producto estará obligado a:

- Comunicar por escrito a la Consejería de Agricultura y Agua:
 - Los ceses temporales o definitivos en la producción del producto. No se considerará cese temporal el tiempo natural entre campañas.
 - Los cambios de figura jurídica o de razón social de la empresa.
 - Cualquier modificación sustancial de la actividad productiva que pueda afectar al balance neto de CO₂ equivalente asociado al cultivo.

Artículo 9. Registro y publicidad

La Consejería de Agricultura y Agua mantendrá un Registro de las empresas adheridas a la Iniciativa y de los productos de éstas para los que se puede usar el Sello LessCO₂ con sus titulares.

Periódicamente, se publicará en la página Web la relación de organizaciones que mantienen su adhesión a la Iniciativa, así como la relación de productos y las empresas que pueden usar el Sello LessCO₂. También se dará publicidad, para cada empresa y producto, a los resultados de los balances de emisiones y remociones de GEI, los Compromisos ambientales voluntarios adquiridos por las empresas y el grado de cumplimiento de los compromisos ambientales de los años anteriores, entre otros.

Artículo 10. Confidencialidad

La Consejería de Agricultura y Agua tratará de forma confidencial toda la información, que así se solicite, de las empresas adheridas a la Iniciativa y de aquellas que utilicen el Sello LessCO₂ así como de los datos y documentos presentados por las mismas y, hará uso exclusivo de dicha información, datos o documentos para los fines de participación en la Iniciativa y, en su caso, concesión de uso del Sello LessCO₂ contemplados en esta Orden. A tal efecto, en la documentación presentada por la empresa se especificarán aquellos datos que la empresa entiende que son confidenciales.

DISPOSICIÓN FINAL

Entrada en vigor

La presente Orden entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el Boletín Oficial de la Región de Murcia.

Murcia, a 20 de noviembre de 2009

El consejero de Agricultura y Agua,
Antonio Cerdá Cerdá



ANEXO. ORDEN DEL 20 DE NOVIEMBRE DE 2009, DE LA CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y AGUA, POR LA QUE SE DESARROLLA LA INICIATIVA AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO₂ Y SE ESTABLECE LA OBTENCIÓN Y EL USO DEL ANAGRAMA-SELLO LESSCO2 IDENTIFICADOR DE LOS COMPROMISOS ADQUIRIDOS EN EL MARCO DE LA MISMA



ANEXO A

FORMULARIO DE ADHESIÓN A LA INICIATIVA "AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO₂"

Excmo. Sr. Consejero de Agricultura y Agua

D., como representante legal de, se adhiere a la Iniciativa "Agricultura murciana como sumidero de CO₂".

Por el presente documento se aceptan las obligaciones que derivan de la Iniciativa "Agricultura murciana como sumidero de CO₂", que tiene como objetivo favorecer la contribución de la agricultura en la lucha contra el cambio climático.

Leída la Iniciativa, y hallada conforme, lo firman en Murcia a.... de.....de 20...



ANEXO B

DECLARACIÓN RESPONSABLE POR LA QUE SE PRESENTAN COMPROMISOS ANUALES EN EL MARCO DE LA INICIATIVA "LA AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO₂"

D.....
con DNI, en nombre y representación de.....
..... con domicilio social en

Manifiesta, bajo su responsabilidad,

Que cumple con los requisitos establecidos para la Iniciativa "Agricultura murciana como sumidero de CO₂", y presenta la siguiente documentación que así lo acredita (marcar con una X):

- Declaración empresarial del Balance de emisiones y remociones de GEI asociado al cultivo, según especificaciones del Anexo C de la Orden de 20 de noviembre de 2009.
- Declaración empresarial del compromiso ambiental voluntario adquirido, según especificaciones del Anexo D de la Orden de 20 de noviembre de 2009.
- Declaración empresarial del grado de cumplimiento del compromiso ambiental voluntario adquirido el año precedente. (1)
- Copia autenticada del Certificado emitido por una entidad de las señaladas en el artículo 7 de la Orden, expedida para el producto para el que solicita usar el Sello LessCO₂. (2)

..... a..... de de 20.....

FIRMA Y SELLO

(1) A presentar para la permanencia en la Iniciativa y, en su caso, para el mantenimiento del Sello.

(2) A presentar para uso y mantenimiento del Sello LessCO₂.



INFORMACIÓN DE CONTACTO

Razón Social:

Domicilio Social:

N.I.F.:

Teléfono:

Fax:

E-Mail:

Persona de contacto:

Cargo:

Teléfono:

Fax:

E-Mail:

Otros contactos o datos de interés (logo de la empresa, etc.):

ANEXO C

ESPECIFICACIONES SOBRE EL CONTENIDO Y LAS CARACTERÍSTICAS CON QUE SE HA DE REFLEJAR EL BALANCE DE EMISIONES Y REMOCIONES DE GEI DEL PRODUCTO. METODOLOGÍA DE CÁLCULO Y DECLARACIÓN EMPRESARIAL.

Las actividades agrícolas pueden emitir a la atmósfera, entre otros gases de efecto invernadero (GEI), CO₂ procedente del uso de combustibles fósiles y óxido nitroso (N₂O), derivado del abonado (principalmente inorgánico). El óxido nitroso tienen un potencial de calentamiento global muy superior al CO₂, según el último informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) es de 310, por lo que pequeñas emisiones de este gas puede significar un impacto importante en el balance de carbono de la explotación agrícola y, en consecuencia, en el balance de carbono asociado a cada cultivo. Es por esto que las emisiones de gases de efecto invernadero deberán venir expresadas en CO₂ equivalente.

El sector agrícola, por otro lado, se caracteriza porque puede remover CO₂ de la atmósfera almacenándolo temporalmente en los árboles (tronco, raíces, ramas, hojas y frutos) y en el suelo (especialmente importante y de larga duración) y actuar, por tanto, como sumidero de CO₂. Para conocer la capacidad de remoción de cada cultivo, se requiere un proceso previo de investigación. Por esta razón, la Administración Regional hará públicos los factores de remoción que se han de aplicar a cada cultivo.

Para determinar el balance neto de CO₂ equivalente de un cultivo y, en consecuencia, la capacidad neta como sumidero de CO₂ asociada a cada unidad de comercialización de cada producto, se ha de restar a la remoción calculada a partir de los datos que para cada tipo de cultivo haga públicos la Administración Regional, las emisiones de CO₂ equivalente que han sido necesarias para su producción. Finalmente este balance vendrá referido a cada unidad de comercialización.

Para determinar las emisiones, en primer lugar, hay que identificar los focos de emisión de GEI y determinar los distintos gases de efecto invernadero que se emiten en la instalación para pasar a contabilizar las emisiones anuales de los distintos gases y, en segundo lugar, multiplicar





ANEXO. ORDEN DEL 20 DE NOVIEMBRE DE 2009, DE LA CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y AGUA, POR LA QUE SE DESARROLLA LA INICIATIVA AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO₂ Y SE ESTABLECE LA OBTENCIÓN Y EL USO DEL ANAGRAMA-SELLO LESSCO2 IDENTIFICADOR DE LOS COMPROMISOS ADQUIRIDOS EN EL MARCO DE LA MISMA

cada tipo de emisión por los factores de emisión correspondientes que permitan calcular las emisiones totales de CO₂ equivalentes asociadas a su producto.

METODOLOGÍA DE CÁLCULO DEL BALANCE DEL EMISIONES Y REMOCIONES DE GEI DEL PRODUCTO (REMOCIONES MENOS EMISIONES)³

De acuerdo con lo establecido en la ISO 14064, y con el GHG Protocol, el cálculo del balance de carbono de cada producto se debe basar en los siguientes principios, que son fundamentales para asegurarse de que la información relacionada con los GEI es cierta e imparcial:

- Pertinencia: Se deben seleccionar las fuentes, sumideros, reservorios de GEI, datos y metodologías apropiados para las necesidades del usuario previsto.
- Cobertura total: Debe incluir todas las emisiones y remociones pertinentes de GEI.
- Coherencia: Permite realizar comparaciones significativas en la información relacionada con los GEI.
- Exactitud: Se reducirá el sesgo y la incertidumbre, en la medida de lo posible.
- Transparencia: Se divulgará información suficiente y apropiada relacionada con los GEI, para permitir que los usuarios previstos tomen decisiones con confianza razonable.

1. Establecimiento de los límites operativos

Administrar los GEI de manera efectiva y novedosa, y establecer límites operacionales comprensivos respecto de las emisiones directas e indirectas ayudará a una empresa a manejar mejor el espectro total de los riesgos y las oportunidades a lo largo de su cadena de valor. (*GHG Protocol*).

(3) En la terminología ISO, "Establecimiento de los límites operativos".

Las emisiones tenidas en cuenta en el balance de carbono deben incluir obligatoriamente:

- Emisiones directas de GEI
- Emisiones indirectas de GEI por energía

Adicionalmente, no se incluirán en el balance de carbono pero se podrán calcular si es de interés para la organización solicitante del Sello LessCO₂, otras emisiones indirectas de GEI. Estos datos, que complementan al balance de carbono, aparecerán publicados en la Web oficial. Ejemplos de otras emisiones indirectas de GEI son:

- Transporte de los productos a los mercados, tanto nacional como europeo, gestionado por otra organización.
- Desplazamientos diarios de empleados y viajes de negocios
- Transporte de materiales, personas o residuos por otra organización
- Actividades contratadas externamente, contratos de manufactura y franquicias
- Emisiones de GEI provenientes de residuos generados por la organización, pero gestionados por otra
- Emisiones de GEI provenientes de las fases de uso y fin de la vida útil de los productos y servicios de la organización
- Emisiones de GEI originados en la producción y distribución de productos energéticos, diferentes de la electricidad, vapor o calor, consumidos por la organización
- Emisiones de GEI provenientes de la producción de materiales primarios o materias primas compradas

La remoción de CO₂ de la atmósfera asociada a cada tipo de cultivo para el periodo temporal o ciclo de producción, será suministrada por la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia, y aparecerá publicada en la página Web www.lessco2.es.

Estos datos de remoción están avalados por los trabajos de investigación que, tomando como base las condiciones climatológicas y las variedades cultivadas en la Región, vienen siendo realizados por la Universidad de

Murcia (UMU), la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Seguro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CEBAS-CSIC) y el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA).

2. Cuantificación de emisiones y remociones de GEI

Dentro de los límites de su instalación, el titular debe cuantificar y documentar sus emisiones y remociones de GEI que tengan relación con cada uno de los cultivos o productos agrícolas para los que se solicita el Sello LessCO₂.

El balance neto de CO₂ equivalente se calculará según la ecuación descrita en el apartado 4.2. del artículo 4 de la presente Orden.

Se deben documentar por separado, las emisiones directas de GEI; las remociones de GEI; las emisiones indirectas de GEI por energía; otras emisiones indirectas de GEI y las emisiones directas de CO₂ a partir de la combustión de biomasa.

Tanto las emisiones como las remociones de GEI vendrán referidas al año natural anterior y se calcularán tanto por instalación y por unidad de comercialización. La metodología de cálculo está basada en la norma ISO 14064 y los factores de conversión aconsejados se irán actualizando en la página Web www.lessco2.es.

Se pueden excluir de la cuantificación las emisiones o remociones de GEI que no sean importantes y aquellas cuya cuantificación no sea técnicamente viable ni rentable.

Para el balance de emisiones de la instalación se utilizará como unidad la *tonelada*, mientras que para el balance referido a cada unidad comercializada, se utilizará el *gramo*. El balance se expresará en términos de CO₂ equivalente.

Adicionalmente, se puede completar el balance con una evaluación de la incertidumbre para las emisiones y remociones de GEI.

Se deben establecer y mantener procedimientos de retención de documentos y mantenimiento de registros.

De manera general, para determinar la remoción de un cultivo, ya que depende de las prácticas de laboreo llevadas a cabo en cada finca, hay que considerar dos contribuciones, una básica que será común al tipo de cultivo y otra (adicional) que se sumará o se restará dependiendo de las prácticas aplicadas en la instalación, de manera que:

$$\text{Remoción CO}_2 = \text{Remoción básica} \pm \text{Remoción adicional}$$

Siendo:

Remoción básica: La asociada al vegetal y al suelo, dependiente de las técnicas de cultivo.

Es el sumatorio de las remociones del: Tronco + fruto + raíz + suelo + Ramas y hojas (Poda).

Para el cálculo de la remoción básica, algunas de las contribuciones se pueden sumar o restar, como ocurre con la remoción producida por restos de poda, que:

- Se *suma* si los restos de poda se utilizan como cubierta vegetal, ya que gran parte del carbono se incorpora al suelo.
- Se considera *cero* en el caso de utilizar los restos de poda como biomasa o biocombustible⁴, siguiendo las instrucciones de la Decisión de la Comisión 2007/589/CE⁵.
- Se *resta* si se queman los restos de poda sin recuperación de energía.

Remoción adicional: No asociada al vegetal ni al suelo, procede de buenas prácticas, siempre y cuando estén controladas por la organización y dentro de sus límites.

(4) En caso de que los restos de poda se utilicen para alimentación animal, se considerará también como biomasa ya que se evitan las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la fabricación de piensos para animales.

(5) Decisión de la Comisión de 18 de julio de 2007, por la que se establecen directrices para el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero de conformidad con la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.



ANEXO. ORDEN DEL 20 DE NOVIEMBRE DE 2009, DE LA CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y AGUA, POR LA QUE SE DESARROLLA LA INICIATIVA AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO₂ Y SE ESTABLECE LA OBTENCIÓN Y EL USO DEL ANAGRAMA-SELLO LESSCO2 IDENTIFICADOR DE LOS COMPROMISOS ADQUIRIDOS EN EL MARCO DE LA MISMA

Los datos cuantitativos de remoción básica y adicional de CO₂ se aportan desde la Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia y se irán actualizando en la página Web www.lessco2.es. La metodología para la determinación de la capacidad de remoción de CO₂ en los cultivos es pública y aparecerá en la citada Web.

DECLARACIÓN EMPRESARIAL DEL BALANCE DE EMISIONES Y REMOCIONES DE GEI

En la Declaración empresarial de emisiones y remociones de GEI se detallarán, como mínimo, todas las emisiones de GEI (directas, indirectas por energía y aquellas "otras emisiones indirectas" que voluntariamente se determinen), la remoción de CO₂ por el cultivo, el balance de emisiones y remociones de CO₂ equivalente tanto en la instalación como asociado a cada unidad de comercialización del producto.

El balance de emisiones y remociones se referirá al año precedente completo (del 1 de enero al 31 de diciembre).

Como ayuda para la recolección de datos para la determinación de las emisiones de gases de efecto invernadero de la instalación así como para la Declaración empresarial, se puede seguir el siguiente esquema:

| |
|---|
| Nombre de la Empresa |
| Tipo de cultivo y variedad |
| Coordenadas UTM de la finca y referencia catastral |
| Término municipal al que pertenece en la Región de Murcia |

DATOS GENERALES

| |
|---|
| Descripción de la Finca (características generales) |
| Nº Hectáreas cultivadas |
| Producción anual (t/Ha) y (unidades/Ha) |
| Densidad de plantación (Nº árboles/Ha) |

| |
|--|
| Tipo de regadío |
| Ciclo del cultivo (años)/ Fechas de plantación y recolección |
| Peso medio de una unidad de fruta o verdura / intervalo (g) |
| Pertenece a comunidad de regantes (SI/NO) |

OBSERVACIONES

| |
|--|
| |
|--|

DATOS ESPECÍFICOS

Emisiones directas:

1. Preparación del Terreno:

Se considerarán las emisiones directas procedentes del consumo de combustible utilizado en el labrado, siembra, poda-triturado, aclarado, acolchado, tratamientos, abonado de fondo, instalación de riego, etc.

| |
|---|
| Tipo de Combustible utilizado por la maquinaria |
| Litros combustible/año |

2. Fertilización:

Se consideran las emisiones principalmente de origen biogénico procedentes de la fertilización, básicamente nitrificación y desnitrificación.

| |
|--|
| Consumo de fertilizante |
| Total de fertilizante sintético utilizado NFERT (kg N/año) |
| Contenido de N |
| Litros de fertilizante/ha |

3. Transporte y recolección:

Se considera el transporte hasta la nave/almacén.

Tipo de combustible

Litros combustible/año

Emisiones indirectas por energía

1. Riego por goteo:

Se consideran las emisiones debidas al consumo de electricidad por captación y distribución.

Consumo de electricidad (kWh)

En caso de utilizar combustible especificar tipo y consumo anual (se considera emisión directa)

2. Almacén y otros

Consumo de electricidad (kWh)

En caso de combustible especificar tipo y consumo anual

Otras emisiones indirectas

1. Fabricación fertilizantes:

a. Fertilizantes inorgánicos:

Se tienen en cuenta las emisiones de CO₂ procedentes de la energía necesaria para su producción, formulación, envasado y transporte.

Kg fertilizante inorgánico/hectárea . año

Nº hectáreas a las que se les aplica el fertilizante inorgánico

| Formulación fertilizantes inorgánicos | kg principio activo/kg aplicado |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| Nitrógeno | |
| Fósforo | |
| Potasio | |
| Calcio-Magnesio | |

b. Fertilizantes orgánicos:

Kg estiércol/hectárea . año

Nº hectáreas a las que se les aplica el fertilizante orgánico

g N/kg estiércol

2. Tratamiento fitosanitarios:

Se tienen en cuenta las emisiones de CO₂ procedentes de la energía necesaria para su producción, formulación, envasado y transporte.

| Tratamiento | kg principio activo/Ha | Nº Hectáreas |
|--------------|------------------------|--------------|
| Herbicidas | | |
| Insecticidas | | |
| Fungicidas | | |

Emisiones del transporte al mercado

Si del transporte al mercado se encarga la propia empresa, las emisiones se consideran directas, si la empresa de transporte está subcontratada, se consideran "otras emisiones indirectas":

Empresa Propia:

Tipo de Combustible utilizado por la maquinaria

Litros combustible/año



ANEXO. ORDEN DEL 20 DE NOVIEMBRE DE 2009, DE LA CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y AGUA, POR LA QUE SE DESARROLLA LA INICIATIVA AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO₂ Y SE ESTABLECE LA OBTENCIÓN Y EL USO DEL ANAGRAMA-SELLO LESSCO2 IDENTIFICADOR DE LOS COMPROMISOS ADQUIRIDOS EN EL MARCO DE LA MISMA



Empresa subcontratada

Nombre de la(s) empresa(s) de transporte

Tipo de Combustible utilizado por la maquinaria

Litros combustible/año

Observaciones

Remoción de CO₂

Datos suministrados por la Consejería de Agricultura y Agua

OTROS DATOS DE INTERÉS

Gestión de la poda y de los productos no comercializados (Indicar tipo de biomasa, kg y uso/ tratamiento o destino final)

Buenas prácticas empleadas

Identificación de oportunidades de reducción de emisiones efectivas en términos de costos/ GEI⁶

Contacto, logotipo y enlace Web a su empresa

(6) Útil para la transparencia del Sello LessCO₂ y para la puesta en marcha de una contabilidad ambiental empresarial que permita al titular realizar intercomparaciones, planificaciones, benchmarking, etc.

ANEXO D

ESPECIFICACIONES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS QUE HAN DE CONTENER LOS COMPROMISOS AMBIENTALES VOLUNTARIOS QUE SE FORMULEN Y SOBRE LA DECLARACIÓN EMPRESARIAL QUE LOS CONTIENE CARACTERÍSTICAS DEL COMPROMISO AMBIENTAL VOLUNTARIO

El establecimiento del compromiso ambiental voluntario propuesto por la empresa, se debe basar, además de en los principios de pertinencia, cobertura total, coherencia, exactitud y transparencia que caracterizan al balance de emisiones y remociones de GEI, en el principio de Actitud conservadora, es decir, se deben usar suposiciones, valores y procedimientos conservadores para asegurarse de que no se sobreestiman la reducción de emisiones o el aumento de remociones de GEI. Debe asegurarse que existe una representación imparcial y un recuento creíble y equilibrado de las reducciones de emisiones y los aumentos de remociones de GEI.

Se deben establecer y mantener procedimientos de retención de documentos y mantenimiento de registros.

DECLARACIÓN EMPRESARIAL DEL COMPROMISO AMBIENTAL VOLUNTARIO

El proponente de proyecto remitirá un documento describiendo el Compromiso Ambiental Voluntario en el que se incluirán, al menos, los siguientes apartados:

- Tipo de compromiso de mejora.
- Descripción del compromiso de mejora y de las buenas prácticas que lleva asociado.
- Beneficios que aporta sobre el balance neto de emisiones.
- Metodología utilizada para el cálculo del balance de emisiones.
- Cálculo de reducción de emisiones de CO₂ equivalente o aumento de la remoción de CO₂, por empleo de buenas prácticas.

- Balance de emisiones de CO₂ equivalente.
- Plan de control y seguimiento.
- Documentos anexos que justifiquen las fórmulas y factores utilizados para el cálculo.

Para poner en práctica el proyecto, se deben establecer dos fases, una de planificación y otra de implementación.



ANEXO E

CERTIFICADO DE LA ENTIDAD DE VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN AMBIENTAL

1. IDENTIFICACIÓN DEL REPRESENTANTE LEGAL DE LA EMPRESA

Nombre y Apellidos: NIF:

2. DATOS DE LA EMPRESA Y DE LA INSTALACIÓN

Razón social: CIF/NIF:

Denominación de la instalación:

Domicilio:

C.P.: Municipio: Provincia:

3. DATOS DEL PROCESO DE VERIFICACIÓN

Nombre y nº acreditación de la entidad verificadora:

Nombre Verificador/a jefe: NIF:

Nombre Revisor/a técnico/a: NIF:

Fecha /s visita "in situ" a la instalación:

4. VERIFICACIÓN DEL BALANCE DE EMISIONES Y REMOCIONES DE GEI

En cumplimiento de la Orden por la que se regula el Sello LessCO₂, el verificador certifica que el balance de carbono está:

- Verificado sin desviaciones. Se asume la veracidad de los datos y los cálculos contenidos en el informe y se afirma que es posible garantizar la fiabilidad de los resultados de emisiones de CO₂ obtenidos.
- Verificado con desviaciones. Se asume la veracidad de los datos y los cálculos contenidos en el informe verificado y se afirma que es posible garantizar la fiabilidad de los resultados de emisiones de CO₂ obtenidos, aunque, se detectan desviaciones no afectan a la fiabilidad de los resultados obtenidos de emisiones de CO₂. Las desviaciones detectadas se detallan en el apartado correspondiente.
- No verificado. El informe presentado por el titular no permite garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos de emisiones de CO₂. Las desviaciones detectadas que motivan este dictamen se detallan en el apartado correspondiente.

Desviaciones detectadas (que motivan declaración en supuesto 2 o 3):

Propuestas de mejora:

Observaciones adicionales:

5. VALIDACIÓN DEL NUEVO COMPROMISO AMBIENTAL

El validador, teniendo en cuenta la conformidad del proyecto con los criterios de validación aplicables, su establecimiento, justificación y documentación, y los controles planificados, establece que el compromiso ambiental adquirido por la empresa está:

- Validado
- No validado



ANEXO. ORDEN DEL 20 DE NOVIEMBRE DE 2009, DE LA CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y AGUA, POR LA QUE SE DESARROLLA LA INICIATIVA AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO₂ Y SE ESTABLECE LA OBTENCIÓN Y EL USO DEL ANAGRAMA-SELLO LESSCO2 IDENTIFICADOR DE LOS COMPROMISOS ADQUIRIDOS EN EL MARCO DE LA MISMA

6. CUMPLIMIENTO DEL COMPROMISO AMBIENTAL ADQUIRIDO EL AÑO ANTERIOR

El compromiso ambiental adquirido por la empresa el año anterior se considera:

- Cumplido
- Cumplido con desviaciones
- No cumplido

Desviaciones detectadas (que motivan declaración en supuesto 2 o 3):

Propuestas de mejora:

Observaciones adicionales:

Fecha y firma

Murcia.....de.....de 20.....

Fdo. (representante de la entidad de verificación y validación ambiental):

(Sello de la entidad)



ANEXO F

MANUAL DE IDENTIDAD GRÁFICA DEL SELLO LessCO₂

1. LOGOTIPO⁷ DEL SELLO LessCO₂



(7) El Logo siempre deberá ir unido a la página Web www.lessco2.es.

2. LOGOTIPO DEL SELLO LessCO₂ PARA ETIQUETAS DE COMERCIALIZACIÓN

Estas etiquetas hacen referencia al verificador que ha realizado el proceso de verificación y validación.



Verified and
validated by:

ANEXO G

TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Gases de efecto invernadero, GEI: Componente gaseoso de la atmósfera, tanto natural como antropogénico, que absorbe y emite radiación a longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes.

Algunos de los GEI son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

Fuente de gases de efecto invernadero: Unidad o proceso físico que libera un GEI a la atmósfera.

Potencial de calentamiento global, PCG: Factor que describe el impacto de la fuerza de radicación de una unidad con base en la masa de un GEI determinado, con relación a la unidad equivalente de dióxido de carbono en un periodo determinado.

Dióxido de carbono equivalente: Unidad para comparar la fuerza de radiación de un GEI con el dióxido de carbono.

Sumidero de gases de efecto invernadero: Unidad o proceso físico que remueve un GEI de la atmósfera.

Reservorio de gases de efecto invernadero: Unidad física o componente de la biosfera, la geosfera o la hidrosfera con la capacidad para almacenar o acumular un GEI removido de la atmósfera por un sumidero de GEI o un GEI capturado de una fuente de GEI.

Emisión de gases de efecto invernadero: Masa total de un GEI liberado a la atmósfera en un determinado periodo.

Emisión directa de gases de efecto invernadero: Emisión de GEI proveniente de fuentes de GEI que pertenecen o son controladas por el titular de la instalación.



ANEXO. ORDEN DEL 20 DE NOVIEMBRE DE 2009, DE LA CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y AGUA, POR LA QUE SE DESARROLLA LA INICIATIVA AGRICULTURA MURCIANA COMO SUMIDERO DE CO₂ Y SE ESTABLECE LA OBTENCIÓN Y EL USO DEL ANAGRAMA-SELLO LESSCO2 IDENTIFICADOR DE LOS COMPROMISOS ADQUIRIDOS EN EL MARCO DE LA MISMA

Emisión indirecta de gases de efecto invernadero por energía: Emisión de GEI que proviene de la generación de electricidad, calor o vapor de origen externo consumidos por la instalación.

Otras emisiones indirectas de gases de efecto invernadero: Emisión de GEI diferente de la emisión indirecta de GEI por energía, que es una consecuencia de las actividades de la instalación, pero se origina en fuentes de GEI que pertenecen o son controladas por otras instalaciones.

Remoción de gases de efecto invernadero: Masa total de un GEI removido de la atmósfera en un determinado periodo. Absorción o secuestro de GEI de la atmósfera (Definición según GHG Protocol).

Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: Disminución calculada de emisiones de GEI, tomando como año base el año en el que se adquiere el compromiso de reducción de emisiones de GEI.

Aumento de remociones de gases de efecto invernadero: Incremento calculado de remociones de GEI, tomando como año base el año en el que se adquiere el compromiso de aumento de remociones de GEI.

Factor de emisión o remoción de gases de efecto invernadero: Factor que relaciona los datos de la actividad con las emisiones o remociones de GEI.

Escenario de la línea base: Caso de referencia hipotético que mejor representa las condiciones que con mayor probabilidad ocurren en ausencia de un Compromiso ambiental de GEI propuesto. En lo que respecta a esta Orden, se considerará año base el año en el que se adquiere el compromiso de mejora del balance de emisiones de GEI.

Seguimiento: Evaluación periódica o continua de las emisiones o remociones de GEI o de otros datos relacionados con los GEI.

Validación: Proceso sistemático, independiente y documentado para la evaluación de la Declaración empresarial del compromiso ambiental voluntario, descrito en esta Orden.

Verificación: Proceso sistemático, independiente y documentado para la evaluación de la Declaración empresarial de emisiones y remociones de GEI descrita en la presente Orden.

Entidades de Verificación y validación ambiental: Persona físicas o jurídica competente e independiente, con la responsabilidad de llevar a cabo la validación del Compromiso Ambiental Voluntario y verificación de la Declaración empresarial de emisiones y remociones de GEI e informar de sus resultados.



La Orden de 20 de noviembre de 2009, de la Consejería de Agricultura y Agua, por la que se desarrolla la iniciativa Agricultura murciana como sumidero de CO₂ y se establece la obtención y uso del anagrama-sello LESSCO2 identificador de los compromisos adquiridos en el marco de la misma (BORM nº 273, de 25 de noviembre de 2009) se puede consultar en www.lessco2.es



APPENDIX. DECREE DATED NOVEMBER 20TH 2009, BY THE REGIONAL MINISTRY OF AGRICULTURE AND WATER, AUTHORISING THE DEVELOPMENT OF THE INITIATIVE MURCIAN AGRICULTURE AS A CO₂ SINK AND ESTABLISHING THE CREATION AND USE OF THE LOGO-STAMP LESSCO₂ TO IDENTIFY THE COMMITMENTS SET OUT BY THE INITIATIVE

The concept of the carbon footprint starts out from an analysis of the cycle of life. It is one of the mostly widely accepted indicators for identifying, synthesizing and communicating in a readily understandable way the possible environmental impacts of a process or activity. In this way, the aim is to quantify the greenhouse gas emissions that are released into the atmosphere as a result of the production and marketing of a product from the acquisition of primary materials to its handling as waste, enabling consumers to decide which foods to buy according to the emissions produced.

For companies, the calculating of the carbon footprint brings with it, among many advantages, the possibility of acquiring certification for their voluntary efforts in terms of environmental responsibility, as well as fomenting eco-efficiency benchmarking in business.

The increasing popularity of the carbon footprint concept has led a number of companies in northern and central European countries to employ this instrument in order to address this new social demand by providing information regarding the greenhouse gas emissions associated with their products.

The spread of this concept to the field of agriculture should be undertaken bearing in mind that the agricultural sector, forestry and part of the marine ecosystem are the only activities capable of absorbing or removing CO₂ from the atmosphere, leading us to speak of “carbon balance” instead of “carbon footprint”, given that in the case of many agricultural crops, depending on the production techniques employed, a positive balance will be obtained as they act as net CO₂ sinks.

Within the agricultural sector, regional agriculture through its technological development, and in general terms Mediterranean agriculture as a whole, as a result of a climate that allows for reduced energy consumption, has the characteristic of being a powerful CO₂ sink, producing in this way -as well as food, rural employment and development- a significant environmental benefit.

In order to take advantage of this characteristic to make a contribution to the fight against climate change, it will be necessary to create an initiative to channel the sum total of the greatest possible number of individual efforts. To be effective, such efforts must be voluntary and tailored to the characteristics, scope and timing of each operation. These efforts, however small, must have social recognition through mechanisms such as website advertising and institutional support.

If, in an objective and transparent manner, this environmental benefit produced by agriculture in terms of the absorption of greenhouse gases were to be communicated to the interested parties, particularly consumers, then agricultural companies would be able to obtain competitive advantages that would stimulate them to improve their CO₂ sink capacity. To this end, the opportunity should be provided for those companies able to achieve greater and verifiable commitments to obtain an identifying stamp.

Law 4/2009, dated May 14th, for the Integrated Environmental Protection of the Region of Murcia, establishes in Item VI mandates for fomenting a low carbon economy and the generating of market instruments at the service of the environment. To this end, Article 121 states that:



“The Regional Administration will encourage private sector participation in increasing the carbon sequestration capacity of sinks, developing market instruments capable of producing competitive advantages through the environmental benefits that contribute to the uptake of CO₂”.

The Environmental Administration of the Autonomous Community, in compliance with the requirements of Law 4/2009, and to enable export companies in Murcia, particularly in the food industry, to prepare for future market demands, is developing initiatives that will make it possible to visualize the environmental efforts they develop on a voluntary basis.

The Murcian agriculture as a CO₂ sink initiative aims to promote this absorption capacity of agriculture, making it possible for those agricultural companies which commit themselves to reflecting concrete and verifiable commitments and demonstrate to interested parties the increase in the sink capacity of their crops, to obtain the identifying stamp of the initiative, identified by the slogan “LessCO₂: Agriculture in the Region of Murcia”. In this way, the consumer will be able to visualize the commitment of companies to the reduction of their emissions of greenhouse gases during food production, and will be able to consult the official website for specific information about CO₂ absorbed or removed from the atmosphere associated with the amount of product they have just acquired.

Consequently, it is necessary to establish the use of this “LessCO₂” stamp, so that it can be used by the largest possible number of companies in the region, while at the same time, given that these products are mainly intended for export to foreign markets, these regulations must be adapted to internationally recognised methodologies and ways of thinking, such as those set out under the international standards ISO 14064:2006 1, 2, 3 and 4 and ISO 14065, and which can be verified by internationally recognised environmental verifiers.

By virtue thereof, and through the powers vested in me by Articles 16 and 24.4 of Law 7/2004, dated December

28th, by the Organisation and Legal System of the Public Administration of the Autonomous Community of the Region of Murcia,

I HEREBY DECREE THAT:

Article 1: Purpose and Scope

The purpose of this Decree is to establish the framework of the initiative Murcian agriculture as a CO₂ sink, the mechanism for adherence and the formulation of voluntary environmental commitments, as well as the conditions for use of the initiative’s logo-stamp, known by the slogan “LessCO₂: Agriculture in the Region of Murcia” (known hereafter as the LessCO₂ Initiative and Stamp).

The LessCO₂ stamp is the exclusive property of the Regional Ministry of Agriculture and Water of the Region of Murcia, by virtue of its registration in the Register of the Spanish Patent and Trademark Office.

Article 2: Scope and Purpose of the Initiative

Murcian agriculture as a CO₂ sink is an initiative that reflects the commitment of agricultural companies in the region, under the criterion of continuous improvement, to contribute to the reduction of greenhouse gases in the atmosphere and an increase in the sink capacity of the regional territory, in order to produce food in a more eco-efficient and environmentally responsible way.

Specifically, the initiative establishes an operating framework to:

- Encourage agricultural firms in the region to contribute to sustainable development by formulating practices and adopting specific commitments to environmental responsibility that make it possible to minimise green-



house gas emissions and enhance the capacity for absorption, or the net removal, of CO₂ by agricultural crops.

- Make it possible for the environmental efforts formulated to obtain proper social recognition.
- Enable, in those cases in which commitments are verifiable and validated, the use of an identifying stamp that will allow them to gain a competitive advantage.

In addition, through use of the LessCO₂ stamp, the aim is to reflect the voluntary, validated and verified commitment of the producer to the year on year improvement of the carbon sink capacity associated with a particular agricultural product.

The logotype and the other characteristics of the LessCO₂ stamp are established in the Graphic Identity Manual included in Appendix F.

Article 3: Commitments Assumed by the Regional Administration

The Regional Administration, within the framework of this initiative, undertakes to:

- Contribute to overcoming lack of knowledge regarding eco-efficiency and agricultural best practices that minimise greenhouse gas emissions and enhance the CO₂ removal capacity of crops, encouraging the analysis of new developments, success stories, initiatives and demonstration projects.
- Publish and broadcast via the media and/or publicity campaigns, the list of companies that have adopted the initiative and develop within its framework voluntary

environmental commitments, the companies and products which can use the LessCO₂ stamp and the environmental benefits that entails.

- Contribute to increased social recognition for the agricultural sector in terms of the environmental benefits it generates.
- Make available to the public through the website www.lessco2.es, information regarding the environmental efforts assumed voluntarily by those who adopt the initiative, differentiating them from those who are validated and verified by third parties, and who will be permitted to use the LessCO₂ stamp.

Article 4: Adherence to the Initiative and Commitments Adopted by the Adherent Companies

Agricultural companies from the region of Murcia, groups of such companies, under the coordination of one of their number, or those companies involved in production activities in the region, will be eligible to participate in the initiative Murcian agriculture as a CO₂ sink and, where appropriate, to use the LessCO₂ stamp.

Those interested in joining the initiative Murcian agriculture as a CO₂ sink should complete the membership form contained in Appendix A, and within a period not greater than six months submit a sworn statement in which they undertake to adopt annual voluntary commitments, in accordance with the model in Appendix B, attaching:

- **A company declaration of the balance of emissions and removal of greenhouse gases associated with the crop**, in accordance with the specifications given in Appendix C, and signed by the company's legal representative. This declaration must include the CO₂ equivalent net



balance associated with each product (B), calculated according to the following equation:

$$B = R - E$$

(R): Removal of CO₂ from the atmosphere by the crop. The removal or sink capacity associated with each crop will be made public by the Regional Ministry of Agriculture and Water of the Region of Murcia. Those interested will be able to access this information via the official website www.lessco2.es.

(E): The greenhouse gas emissions associated with the crop.

The CO₂ equivalent net balance is calculated by commercialisation units, so that the initiative's official website can be consulted to see how much CO₂ is temporarily removed from the atmosphere associated with the aforementioned commercialisation units.

- **Company declaration of voluntary environmental commitment** assumed by the company, in accordance with the specifications given in Appendix D.

In addition, the companies joining the initiative Murcian agriculture as a CO₂ sink undertake to:

- Make available to the public the environmental commitments they have assumed voluntarily.
- Contribute to an increase in social recognition for the agricultural sector in terms of the environmental benefits it produces.
- Promote agriculture based on low greenhouse gas emissions and, specifically, to develop production activity characterised, among other things, by:

- A reduction in the use of fossil fuels and their gradual replacement by renewable energy.
- A minimising of the consumption of inorganic nitrogenous fertilizers.
- The use of agricultural practices that favour the net absorption or removal of CO₂ by both the crop and the soil and therefore increase their capacity as sinks.

Article 5: Use of the LessCO₂ Stamp

Those companies which adopt the initiative and are interested in using the LessCO₂ stamp for one or more of their products, should submit, together with their sworn statement (Appendix B), a certified copy of the certificate issued by one of the institutions identified in Article 7, issued for each product for which use of the LessCO₂ stamp is being requested. The certification will be granted in accordance with the standard model included here as Appendix E.

Use of the LessCO₂ stamp may only be requested for those products or crops for which the Administration has made public the quantifying of their respective net absorption or removal (R) of CO₂. For other agricultural products, participating companies may request that the Administration determine their respective removal (R).

If after three months since the submission of all the documentation requested, the Administration has not acted, then the applicant may make use of the stamp, without prejudice to the powers of verification of the Regional Ministry.

Any inaccuracy or misrepresentation in any information, statement or document of an essential nature which accompanies or forms part of the sworn statement, will invalidate the application, therefore preventing, from that moment, any use of the LessCO₂ stamp.



Article 6: Period of Participation in the Initiative and Continued Use of the LessCO₂ Stamp

To maintain their participation in the initiative, the designated legal representative of the company must certify and present each year their written undertaking to voluntarily assume annual commitments within the framework of the initiative, according to the model in Appendix B, attaching:

- The company declaration of the balance of greenhouse gas emissions and removal associated with the crop.
- The company declaration of voluntary environmental commitment.
- The company declaration of the degree of compliance with the voluntary environmental commitment assumed during the previous year.

Requests for the renewal of authorisation to use the LessCO₂ stamp must be sent to the Regional Ministry of Agriculture and Water, together with the declaration of annual commitment assumed under the framework of the initiative referred to in the previous paragraph, and a certified copy of the Certificate issued by environmental verification and validation institutions referred to in Article 7.

Article 7: Environmental Verification and Validation Institutions

Those institutions accredited with ISO 14064:2006 standards by any internationally recognised accreditation body may act as environmental verification and validation bodies, as well as verifiers of greenhouse gases, EMAS accredited environmental verifiers, certifiers of products in accordance

with ISO and UNE standards, designated operational agencies for Clean Development Mechanisms and Joint Implementation of the Kyoto Protocol, PAS 2050 and GHG Protocol certifiers, environmental control agencies and associates of the Administration in environmental issues.

In the process of validation of environmental commitments and verification of the CO₂ emissions and removal balance, the authorised agencies will deal with, in addition to the terms of this decree, the criteria for the UNE-ISO 14064 standard, paragraph 3 (14064-3, “Specification with guidance for the validation of assertions regarding greenhouse gases”).

Article 8: Conditions for Use of the LessCO₂ Stamp

Use of the LessCO₂ stamp shall be subject to the following conditions:

- The LessCO₂ stamp may only be reproduced while fully respecting the logotype, minimum size, colors and fonts specified in the LessCO₂ Graphic Identity Manual (Appendix F).
- The LessCO₂ stamp must be used in association with the product and the company for which its use has been granted, with the aim of enabling the consumer to consult via the website, featured in the label, the environmental efforts being made by the company in question.
- Before making use of the LessCO₂ stamp, the Regional Ministry of Agriculture and Water must be informed of all the places and documents in which it will be used.

The LessCO₂ stamp should be placed on the labels of the units of the product being marketed and it should be featured in the company’s website, in which, in order to



provide the consumer with more information, there should be links to the initiative's official website www.lessco2.es

The owner of the right to use the LessCO2 stamp for a product is required to:

- Communicate in writing to the Regional Ministry of Agriculture and Water:
- Any temporary or permanent cessation to the production of the product. The natural lull between campaigns will not be considered a temporary cessation.
- Any changes in the legal form or name of the company.
- Any substantial modification in productive activity that might affect the CO₂ equivalent net balance associated with the crop.

Article 9: Registration and Publicity

The Regional Ministry of Agriculture and Water will maintain a registry of the companies participating in the initiative, as well as a list of the products of those companies for which they are permitted to use the LessCO2 stamp.

Periodically, a list will be published on the website of the organisations that continue to participate in the initiative, as well as a list of the products and the companies which may use the LessCO2 stamp. Publicity will also be included for each company and product regarding their balance of greenhouse gas emissions and removal, the voluntary environmental commitments assumed by the companies and the level of compliance with environmental commitments made in previous years, among other information.

Article 10: Confidentiality

The Regional Ministry of Agriculture and Water will treat as confidential all information requested regarding those companies participating in the initiative and those which use the LessCO2 stamp, together with all data and documents presented by those companies, and will only use such information, data or documents for the purposes of participation in the initiative and, where appropriate, the granting of permission to use the LessCO2 stamp. To this end, in the documentation presented by the company any data which the company considers confidential should be specified as thus.

FINAL PROVISION

Coming into effect:

This Decree will come into effect the day after its publication in the Official Newsletter of the Region of Murcia.

Murcia, November 20th 2009

The Regional Minister of Agriculture and Water,
Antonio Cerdá Cerdá



APPENDIX A

**INITIATIVE PARTICIPATION FORM
MURCIAN AGRICULTURE AS A CO2 SINK**

Honorable Regional Minister of Agriculture and Water:

Mr./Ms., as the legal representative of, hereby agrees to join the initiative: *Murcian agriculture as a CO2 sink*.

The undersigned hereby assumes the obligations associated with the initiative Murcian agriculture as a CO2 sink, the aim of which is to advance the contribution of agriculture in the fight against climate change.

I, the undersigned, have read and agree to the terms of the initiative.

Signed in Murciaof.....20...



APPENDIX B

SWORN STATEMENT AGREEING TO PRESENT ANNUAL COMMITMENTS WITHIN THE FRAMEWORK OF THE INITIATIVE MURCIAN AGRICULTURE AS A CO2 SINK

Mr./Ms....., identified with DNI, in the name of..... with place of business at.....

States under oath:

That they comply with the requirements established by the initiative Murcian agriculture as a CO2 sink, and that they submit the following documentation accrediting their application (mark with an X):

- Company declaration of the balance of greenhouse gas emissions and removal associated with the crop, in accordance with the specifications given in Appendix C of the Decree dated November 20 2009.
- Company declaration of the voluntary environmental commitment assumed, in accordance with the specifications given in Appendix D of the Decree dated November 20 2009.
- Company declaration of the degree of compliance with the voluntary environmental commitment assumed the previous year.¹
- Certified copy of the Certificate emitted by one of the institutions specified in Article 7 of the Decree, issued for the product for which use of the LessCO2 stamp² is being requested.

.....of.....of 20.....

SIGNATURE AND SEAL

1. To be presented in order to remain part of the initiative and, where appropriate, to retain use of the stamp.
2. To be presented for use and maintenance of the LessCo2 Label.



CONTACT INFORMATION

Company Name:
Company Address:
N.I.F (Tax ID):
Telephone:
Fax:
E-mail:

Contact name:

Position:
Telephone:
Fax:
E-mail:

Other contact details or relevant information (company logo, etc.):



APPENDIX C

SPECIFICATIONS REGARDING THE CONTENT AND CHARACTERISTICS WITH WHICH THE BALANCE OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND REMOVAL OF THE PRODUCT SHOULD BE EXPRESSED, METHOD OF CALCULATION AND COMPANY DECLARATION

Agricultural activities may release into the atmosphere, among other greenhouse gases, CO₂ produced by the use of fossil fuels and nitrous oxide (N₂O), derived from fertiliser (principally inorganic). Nitrous oxide has a global warming potential much higher than that of CO₂; according to the latest report from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) it is 310, meaning that small emissions of this gas can lead to a significant impact on the carbon balance of the agricultural industry and, therefore, on the carbon balance associated with each crop. For this reason, emissions of greenhouse gases should be expressed as carbon dioxide equivalent.

The agricultural sector, on the other hand, is characterised by the fact that it can remove CO₂ from the atmosphere by storing it temporarily in plants (stems, roots, branches, leaves and fruits) and the soil (particularly important and long term) and therefore act as a CO₂ sink. In order to understand the removal capacity of each crop, a prior research process is required. For this reason, the Regional Administration will make public the removal factors applicable to each crop.

In order to determine the CO₂ equivalent net balance of a crop and, as a result, the net capacity as a CO₂ sink associated with each commercialised unit of each product, it is necessary to subtract the CO₂ equivalent emissions which have been necessary for its production from the removal calculated from the data made public by the Regional Administration for each type of crop. Finally, this balance will be applied to each commercialised unit.

To determine emissions, firstly it is necessary to identify the sources of greenhouse gas emissions and determine the different greenhouse gases emitted by the facility and calculate the annual emissions of the different gases, and



secondly, multiply each type of emission by the corresponding emission factors in order to calculate the total CO₂ equivalent emissions associated with the product.

METHOD FOR CALCULATING THE GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND REMOVAL BALANCE OF THE PRODUCT (REMOVAL MINUS EMISSIONS)³

In accordance with the provisions of ISO 14064 and the GHG Protocol, the carbon balance calculation for each product should be based on the following principles, which are essential in ensuring that the information relating to the GHG is accurate and fair:

- **Relevance:** The sources, sinks, GHG reservoirs, data and methodologies appropriate to the needs of the prospective user should be selected.
- **Full coverage:** All relevant emissions and removal of GHG should be included.
- **Consistency:** Enabling meaningful comparisons of information associated with GHG.
- **Accuracy:** Bias and uncertainty will be reduced as far as is possible.
- **Transparency:** Sufficient and appropriate information related to greenhouse gases will be disclosed, to enable prospective users to make decisions with reasonable confidence.

1. Establishment of Operational Limits

The effective and novel management of GHG, and the establishment of comprehensive operational limits with regard to direct and indirect emissions, will help the company to better manage the full spectrum of risks and opportunities throughout their value chain (GHG Protocol).

3. In ISO terminology, "Establishment of operating limits".

The emissions taken into account in the carbon balance must necessarily include:

- Direct GHG emissions
- Indirect GHG emissions from energy

In addition, other indirect GHG emissions will not be included in the carbon balance, but they may be calculated if they are of interest to the organisation applying to use the LessCO₂ stamp. This information, which complements the carbon balance, will be posted on the official website. Examples of other indirect GHG emissions are:

- Transportation of products to markets, both national and European, handled by another organisation.
- Daily movements of employees and business trips.
- Outsourced activities, manufacturing contracts and franchises.
- GHG emissions from waste generated by the organisation, but handled by another.
- GHG emissions from use and end of lifecycle stages of the organisation's products and services.
- GHG emissions originating from the production and distribution of energy other than electricity, steam or heat, consumed by the organisation.
- GHG emissions from the production of primary materials or purchased primary materials.

The removal of CO₂ from the atmosphere associated with each type of crop for a temporary period or during the production cycle, will be provided by the Murcia Regional Ministry of Agriculture and Water, and will be posted on the website www.lessco2.es.

This removal data is supported by the research work based on climatic conditions and the variety of crops grown in the region being conducted by the University of Murcia (UMU),

the Polytechnic University of Cartagena (UPCT), the Centre for Edaphology and Applied Biology of the National Scientific Research Council (CEBAS-CSIC) and the Murcia Institute for Agricultural and Food Research and Development (IMIDA).

2. Quantification of GHG Emissions and Removal

Within the limits of their installation, the company must measure and document the GHG emissions and removal associated with every one of the crops or agricultural products for which they are requesting the LessCO₂ stamp.

The CO₂ equivalent net balance will be calculated according to the equation described in Paragraph 4.2 of Article 4 of this document.

The following should be documented separately: Direct GHG emissions; GHG removal; indirect GHG emissions from energy; other indirect GHG emissions and direct emissions of CO₂ from the combustion of biomass.

Both emissions and removal of GHG will refer to the previous calendar year and will be calculated both by installation and commercialised unit. The method of calculation is based on the ISO 14064 standard and the recommended conversion factors will be updated periodically on the website www.lessco2.es.

Those GHG emissions or removals that are not significant may be excluded from the measurement, together with those the measurement of which is not technically viable or cost effective.

For the balance of emissions of the installation, the unit employed is the *tonne*, while for the balance relating to each commercialised unit, *grams* will be used. The balance will be expressed in terms of CO₂ equivalent.

In addition, the balance may be completed with an evaluation of uncertainty for GHG emissions and removal. Procedures should be established and maintained for the storing of documents and record keeping.

In general, in order to determine the CO₂ removal of a crop, given that it is dependent on the working practices implemented on each farm, it is necessary to consider two contributions: a basic one which is common to the type of crop; and another (additional) factor which will be added or subtracted depending on the practices applied in the installation, so that:

$$\text{CO}_2 \text{ Removal} = \text{Basic Removal} \pm \text{Additional Removal}$$

Where:

Basic Removal: That associated with the plant and soil, depending on cultivation techniques.

The sum of the removal of: Stem + fruit + root + soil + branches and leaves (pruning).

In order to calculate the basic removal, some of the contributions may be added or subtracted, such as the removal produced by the trimmings from pruning, which:

- Are *added* if the trimmings from pruning are used as mulch, because much of the carbon will be incorporated into the soil.
- Are considered *zero* when the trimmings from pruning are used as biomass or biofuel⁴, in accordance with the instructions deriving from Commission Decision 2007/589/CE⁵.
- Are subtracted if the trimmings from pruning are burned and no energy is recovered.

Additional removal: Not associated with the plant or soil, this comes from best practices, as long as they are controlled by the organisation and occur within its limits.

4. If trimmings are used for animal feed, they will also be considered as biomass given that greenhouse gas emissions resulting from the production of animal feed are avoided.
5. Commission Decision dated July 18th 2007, by which the guidelines were established for monitoring and reporting greenhouse gas emissions in accordance with Directive 2003/87/CE of the European Parliament and Council.



The quantitative data for basic and additional CO₂ removal are provided by the Regional Ministry of Agriculture and Water of the Region of Murcia and will be updated periodically on the website www.lessco2.es. The methodology for determining the CO₂ removal capacity of crops is public and will appear on the aforementioned website.

COMPANY DECLARATION OF THE GHG EMISSIONS AND REMOVAL BALANCE

In its declaration of GHG emissions and removal, the company should detail, at the very least, all GHG emissions (direct, indirect, through energy and those “other indirect emissions” which are voluntarily determined), the removal of CO₂ by the crop, the balance of CO₂ equivalent emissions and removals associated with both the installation and each commercialised unit of the product.

The balance of emissions and removals should refer to the entire previous year (from January 1st to December 31st). As an aid to the gathering of data to determine the greenhouse gas emissions of the installation and for the company statement, the following model may be followed:

Company name
Crop type and variety
UTM coordinates of the property and cadastral reference
Municipality to which it belongs in the Region of Murcia

GENERAL INFORMATION

Description of the property (general characteristics)
Nº of hectares cultivated
Annual production (t/Ha) and (units/Ha)
Planting density (Nº plants/Ha)

Type of irrigation

Crop cycle (years) / Planting and harvesting dates

Average weight of fruit or vegetable unit / interval (g)

Belongs to the Irrigation Community (YES/NO)

OBSERVATIONS

SPECIFIC DATA

Direct emissions:

1. Land Preparation:

Direct emissions are those which are produced by the consumption of fuel used during tilling, sowing, pruning, shredding, clearing, mulching, treating, basal dressing, installation of irrigation, etc.

Type of fuel used by machinery

Fuel litres / year

2. Fertilising:

The principal emissions derived from fertilising are biogenic and basically result from nitrification and denitrification.

Consumption of fertiliser

Total amount of synthetic fertiliser used NFERT (kg N/year)

N content

Litres of fertiliser per hectare



3. Transportation and collection:

Transport from the vehicle to the storage facility is considered.

Fuel type

Fuel litres / year

Indirect emissions from energy

1. Drip irrigation:

Those emissions are considered which derive from the consumption of electricity during capture and distribution.

Electricity consumption (kWh)

If fuel is used, specify the type and annual consumption (considered a direct emission).

2. Storage facility and other

Electricity consumption (kWh)

If fuel is used, specify the type and annual consumption.

Other indirect emissions

1. Fertilising:

a. Inorganic fertilisers:

This includes CO₂ emissions from energy required for its production, formulation, packaging and transportation.

Kg of inorganic fertiliser / hectare year

Nº of hectares over which the inorganic fertiliser is applied

| Inorganic fertiliser formulation | kg activekg applied |
|----------------------------------|---------------------|
| Nitrogen | |
| Phosphorus | |
| Potassium | |
| Calcium-Magnesium | |

b. Organic fertilisers:

Kg. manure/hectare year

Nº of hectares to which the organic fertiliser is applied

g N/Kg. manure

2. Phytosanitary treatment:

This takes into account the CO₂ emissions deriving from the energy required for its production, formulation, packaging and transportation.

| Treatment | kg active ingredient/Ha | Nº of hectares |
|--------------|-------------------------|----------------|
| Herbicides | | |
| Insecticides | | |
| Fungicides | | |

Emissions from Transportation to Market

If the company itself is responsible for transport to market, the resulting emissions are considered direct. If the transport company is outsourced, the emissions produced are classed as “other indirect emissions”.

Own company:

Type of fuel used by machinery

Fuel litres / year



Subcontractor

Name (s) of transport company/companies

Type of fuel used by the machinery

Fuel litres / year

Observations

CO₂ Removal

Data provided by the Regional Ministry of Agriculture and Water

OTHER RELEVANT DATA

Management of trimmings from pruning and non-commercialised products
(Indicate type of biomass, kg and use / treatment or final destination)

Best practices employed

Identification of opportunities for cost effective greenhouse gas emission reductions/GEI⁶

Contact, logo and web link to the company

6. Useful for transparency of the LessCO₂ Label and for the start-up of business environmental accounting, which allows the holder to implement intercomparisons, planning, benchmarking, etc.



APPENDIX D

SPECIFICATIONS REGARDING THE CHARACTERISTICS THAT SHOULD BE INCLUDED IN THE VOLUNTARY ENVIRONMENTAL COMMITMENTS FORMULATED, AND REGARDING THE COMPANY DECLARATION THROUGH WHICH THOSE VOLUNTARY ENVIRONMENTAL COMMITMENTS ARE EXPRESSED

The establishment of the voluntary environmental commitment by the company should be based -in addition to the principles of relevancy, full coverage, consistency, accuracy and transparency which characterise the greenhouse gas emissions and removal balance- upon the principle of conservative attitude. In other words, conservative assumptions, values and procedures should be employed to ensure that the reduction of emissions or increase in removal of greenhouse gases is not overestimated. It is essential to ensure that there exists an impartial representation and a credible and balanced account of the greenhouse gas emission reductions and removal increases.

Procedures should be established and maintained for the storing of documentation and the keeping of records.

COMPANY DECLARATION OF VOLUNTARY ENVIRONMENTAL COMMITMENT

The proponent of the project must submit a document describing the Voluntary Environmental Commitment, which must include, at least, the following sections:

- Type of commitment to improvement.
- Description of commitment to improve and the associated best practices.
- Benefits contributed to the net emissions balance.
- Methodology employed to calculate the emissions balance.
- Calculation of CO₂ equivalent emission reductions or increase in CO₂ removal through the following of best practices.



- Balance of CO₂ equivalent emissions.
- Control and monitoring plan.
- Attached documents justifying the formulas and factors employed.

For the implementation of the project, two phases should be established: a planning phase and an implementation phase.



APPENDIX E

CERTIFICATE FROM THE ENVIRONMENTAL VERIFICATION AND VALIDATION BODY

1. IDENTIFICATION OF THE LEGAL REPRESENTATIVE OF THE COMPANY

Name and surname: Tax ID:

2. INFORMATION REGARDING THE COMPANY AND INSTALLATION

Company name: Tax Code/Tax ID:
 Name of facility:
 Address:
 Postcode: Municipality: Province:

3. VERIFICATION PROCESS DATA

Name and accreditation number of the verifying institution:
 Name of Chief Verifier: Tax ID:
 Name of Checker / Technician: Tax ID:
 Date(s) of in situ visit(s) to installation:

4. VERIFICATION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND REMOVAL BALANCE

In compliance with the Decree for regulating the LessCO₂ stamp, the verifier certifies that the carbon balance is:

- Verified without deviations. The data and calculations contained in the report are assumed to be accurate, and it is asserted that it is possible to guarantee the reliability of the CO₂ emission results obtained.

- Verified with deviations. The data and calculations contained in the report are assumed to be accurate, and it is asserted that it is possible to guarantee the reliability of the CO₂ emission results obtained. However, deviations have been detected which do not affect the reliability of the CO₂ emissions results obtained. The deviations detected are detailed in the relevant section.
- Unverified. The report submitted by the holder does not guarantee the reliability of the results obtained for CO₂ emissions. The deviations detected which motivate this opinion are detailed in the relevant section.

Deviations detected (motivating the declaration in assumption 2 or 3):

Suggestions for improvement:

Additional observations:

5. VALIDATION OF NEW ENVIRONMENTAL COMMITMENT

The validating institution, taking into account the project's compliance with the applicable validation criteria, its establishment, justification and documentation, and planned controls, states that the environmental commitment assumed by the company is:

- Validated
- Not validated



APPENDIX. DECREE DATED NOVEMBER 20TH 2009, BY THE REGIONAL MINISTRY OF AGRICULTURE AND WATER, AUTHORISING THE DEVELOPMENT OF THE INITIATIVE MURCIAN AGRICULTURE AS A CO2 SINK AND ESTABLISHING THE CREATION AND USE OF THE LOGO-STAMP LESSCO2 TO IDENTIFY THE COMMITMENTS SET OUT BY THE INITIATIVE

6. COMPLIANCE WITH ENVIRONMENTAL COMMITMENT ASSUMED THE PREVIOUS YEAR

Regarding its environmental commitment assumed the previous year, the company is deemed to have:

- Complied
- Complied with deviations
- Not complied

Deviations detected (motivating the declaration in assumption 2 or 3):

Suggestions for improvement:

Additional observations:

Date and signature

Murcia.....of.....of 20.....

Signed by (representative of the environmental verification and validation institution or body):

(Institution's stamp)

APPENDIX F

LessCO₂ GRAPHIC IDENTITY MANUAL

1. LOGO⁷ OF LessCO₂ STAMP



PANTONE 582



NEGRO



7. The logo must always be linked to the website www.lessco2.es.



2. LOGO OF LessCO2 SEAL FOR MARKETING LABELS

These labels refer to the verifier which carried out the verification and validation process.



APPENDIX G

TERMS AND DEFINITIONS

Greenhouse gases, GHG: Gaseous component of the atmosphere, both natural and anthropogenic, which absorbs and emits radiation at specific wavelengths within the spectrum of infrared radiation emitted by the Earth's surface, atmosphere and clouds.

Some GHG: carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), hydrofluorocarbons (HFC), perfluorocarbons (PFC) and sulfur hexafluoride (SF₆).

Source of greenhouse gases:

A physical unit or process that releases a GHG into the atmosphere.

Global warming potential (GWP):

A factor that describes the impact of the radiative forcing of a unit based on the mass of a given GHG, in relation to the equivalent unit of carbon dioxide over a given period.

Carbon dioxide equivalent:

(CDE): A unit for comparing the radiative forcing of a GHG with that of carbon dioxide.

Greenhouse gas sink:

Physical unit or process that removes GHG from the atmosphere.

Greenhouse gas reservoir: Physical unit or component of the biosphere, geosphere or hydrosphere with the capacity to store or accumulate a GHG removed from the atmosphere by a GHG sink, or a GHG sequestered from a GHG source.

Emission of greenhouse gases: Total mass of a GHG freed into the atmosphere during a given period.

Direct emission of greenhouse gases: Emission of GHG from sources of GHG that belong to or are controlled by the owner of the installation.

Indirect emission of greenhouse gases through energy: Emissions of GHG which come from the generation of electricity, heat or steam of an external origin consumed by the installation.



Other indirect emissions of greenhouse gases: Emission of GHG distinct from the indirect emission of GHG through energy, which is a consequence of the activities of the installation, but originates with sources of GHG which belong to or are controlled by other installations.

Removal of greenhouse gases: Total mass of a GHG removed from the atmosphere during a given period; absorption or sequestering of GHG from the atmosphere (definition according to the GHG Protocol).

Reduction of emissions of greenhouse gases: Calculated reduction of emissions of GHG, taking as a base year the year in which the commitment to reduce emissions of GHG is assumed.

Increase in removal of greenhouse gases: Calculated increase in removals of GHG, taking as a base year the year in which the commitment to increase removal of GHG is assumed.

Emission or removal factor of greenhouse gases: Factor that relates the activity data with the emissions or removal of GHG.

Baseline scenario: Hypothetical reference case that best represents the conditions most likely to occur in the absence of a proposed GHG environmental commitment. For the purposes of this Decree, the base year will be taken as the year in which the commitment to improve the balance of GHG emissions is assumed.

Monitoring: Periodic or continuous evaluation of the emissions or removal of GHG or of other data associated with GHG.

Validation: Systematic, independent and documented process for the evaluation of the company declaration of voluntary environmental commitment described in this Decree.

Verification: Systematic, independent and documented process for the evaluation of the company declaration of emissions and removal of GHG described in this Decree.

Environmental verification and validation body: Competent and independent natural person or legal entity responsible for carrying out the validation of the voluntary environmental commitment and verification of the company declaration of GHG emissions and removals and reporting the results.



The Decree dated November 20th 2009 by the Regional Ministry of Agriculture and Water, through which the initiative Murcian agriculture as a CO₂ sink is developed and the obtaining and use of the logo-stamp LESSCO2 is established, as an indicator of the commitments assumed within the framework of the initiative (BORM N° 273, dated November 25th 2009), can be consulted via the website www.lessco2.es