

UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y AMBIENTALES

TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



Análisis espacial y temporal de sumideros  
potenciales de CO<sub>2</sub> mediante un SIG en el  
municipio de Écija

Autora: Angélica Martín Gutiérrez

Tutor académico: Santiago García López

Tutor profesional: Iker Machain Beraza

Puerto Real, septiembre de 2023

## ÍNDICE

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	1
1. PREÁMBULO .....	2
2. INTRODUCCIÓN .....	2
2.1. Antecedentes.....	2
2.1.1. Problemática actual y definición de sumidero.....	2
2.1.2. Zona de estudio y potencial como sumidero.....	3
2.2. Objetivos del estudio .....	3
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	4
3.1. Material utilizado: Buscadores académicos y Software.....	4
3.2. Procedimiento.....	4
3.2.1. Línea 1: Preparación de bases cartográficas .....	4
3.2.2. Línea 2: Recolección y evaluación de fuentes.....	5
3.2.3. Línea 3: Cálculos y tratamiento de datos.....	6
3.2.4. Línea 4: Traspaso de información a QGIS .....	8
3.2.5. Línea 5: Representación gráfica.....	9
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
5. CONCLUSIONES .....	25
6. PROPUESTAS FINALES .....	25
7. BIBLIOGRAFÍA.....	26
ANEXOS .....	30
ANEXO I. Tabla de datos general.....	30
ANEXO II. Tablas de cálculos y fuentes (por uso).....	30
ANEXO III. Tabla de datos de metodología Junta de Andalucía. ....	41
ANEXO IV. Comparativa entre usos en capa vectorial y ortofotografías. ....	42
ANEXO V. Cronograma. ....	43

ANEXO VI. Factura del estudio. ....	44
ANEXO VII. Cálculos factura.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Composición de gráficas de superficie (totales y porcentaje) y toneladas de CO2 (totales y porcentaje).....	14
Figura 2: Composición de mapas por uso y año.....	19
Figura 3: Composición de mapas por tasa de absorción (t CO2/ha) y año .....	20
Figura 4: Composición de mapas por beneficio potencial (€) y año .....	21
Figura 5: Mapa de beneficio potencial total (€) .....	22

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Superficie (ha) por año para cada uso SIGPAC .....	10
Tabla 2: Cantidad de CO2 (t) por año para cada uso SIGPAC .....	13
Tabla 3: Beneficio potencial (€) por año según CO2 secuestrado .....	16
Tabla 4: Comparativa metodologías Junta de Andalucía y estudio propio .....	17

## RESUMEN

Se realizó un estudio de la evolución temporal y espacial de los sumideros de carbono en el término municipal de Écija con objeto de identificar las zonas con potencial de sumidero para determinar la huella de carbono del municipio. Principalmente, la identificación permitió contrastar la información obtenida con otros estudios similares y desarrollar propuestas dirigidas a incrementar la absorción de CO<sub>2</sub> y el rendimiento de las parcelas en lo relativo a este aspecto.

Para cumplir los objetivos se recurrió a la revisión de artículos científicos de los que se obtuvieron valores de tasa de absorción. Esta información fue combinada con las capas vectoriales SIGPAC, a partir de las cuáles se obtuvieron las superficies y otros factores de las parcelas que permitieron calcular lo necesario para el estudio y sintetizar todos los datos en mapas que representen los datos de manera gráfica y visual. Los resultados obtenidos cuantifican la absorción de carbono a cargo de las actividades agrícolas en Écija y su evolución en el tiempo hacia absorciones cada vez mayores, lo que se justifica fundamentalmente por el crecimiento constante de superficies de cultivo y el incremento porcentual de usos de especies con alta tasa de absorción de CO<sub>2</sub> como es el olivar, los frutos secos y los cítricos.

**Palabras clave:** Carbono, secuestro, absorción, SIGPAC, parcela, cultivo, usos.

## ABSTRACT

A study of the temporal and spatial evolution of the carbon sinks in Écija was made with the objective of identifying the zones with the most significant sink capacity potential to determine the carbon footprint of the municipality. Mainly, the identification permitted to contrast the obtained information with the data of similar studies and develop approaches for its improvement, so that both the CO<sub>2</sub> absorption and the parcel surface increased. In addition, in identifying the zones with the most absorption, the potential economic benefit to be obtained could be quantified.

To achieve the study's objectives multiple scientific articles were collected, from which the values of absorption rates and SIGPAC vectorial layers were obtained. Using these studies, the surfaces and other factors of the parcels were obtained, which made possible to do the necessary calculations for the study and synthesize all the data in maps that reproduced them in a graphic and visual form. The results showed Écija as an efficient carbon sink that evolves in time towards greater absorptions, the major contribution to

this being the constant growth of the crop surface and the percentage increase of species with a high CO<sub>2</sub> absorption rate like the olive trees, nut trees or citrus crops.

## **1. PREÁMBULO**

El estudio se realizó como trabajo de fin de grado para la titulación Ciencias Ambientales, en la Universidad de Cádiz (Campus de Puerto Real, CASEM), en el intervalo de tiempo de marzo a agosto de 2023. Se trabajó a guía y tutorización de la empresa Cumbre Ingeniería, dándose como un trabajo único de investigación con amplia autonomía en diseño y desarrollo para el alumno durante el periodo de prácticas, que no realizó actividades adicionales en la empresa, por lo que el formato escogido para el planteamiento del proyecto es bibliográfico.

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Problemática actual y definición de sumidero**

En la actualidad se está acelerando y magnificando el fenómeno conocido como cambio climático, a causa de la acumulación de gases de efecto invernadero, que son capaces de generar un aumento rápido en las temperaturas en superficie, provocando un aumento de 1°C en la media de temperatura del planeta en las últimas décadas (Lindsey & Dahlman, 2023), además de produciendo alteraciones en la composición química de las aguas y suelos, en ecosistemas, en las corrientes marinas principales, en las frecuencias e intensidades de fenómenos atmosféricos, en la calidad del aire... Todo ello afectando gravemente a la estructura medioambiental general del planeta.

De esta forma, como contraste a las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicas, empezaron a cobrar valor los llamados sumideros de carbono. Los sumideros de carbono se definen como zonas en las que se absorbe, por una serie de procesos, mayor cantidad de CO<sub>2</sub> del que se emite (Keenan & Williams, 2018). En general, estos sumideros hacen referencia al carbono atmosférico en forma de CO<sub>2</sub>, uno de los principales gases de efecto invernadero, en lo que se conoce como secuestro de carbono. Habitualmente los sumideros son superficies con abundancia de organismos fotosintéticos (cubiertas vegetales), aunque también son consideradas sumideros algunas actividades de trabajo de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (MITECO, 2023). La capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico confiere a los sumideros un rol

crucial en la lucha contra el cambio climático, y los convierte en una solución directa para paliar la acumulación de CO<sub>2</sub> y disminuir los efectos de los gases de efecto invernadero.

En la actualidad se trata de transformar los espacios fuente (aquellos que generan CO<sub>2</sub>) en sumideros de carbono. Aun así, es difícil alcanzar el escenario en el que un territorio completo se considere sumidero. De forma común, las zonas industriales o urbanas actúan como fuente mientras que zonas de cultivo o forestadas actúan de sumidero, dando un gradiente de absorción de CO<sub>2</sub> que varía con la distribución de las distintas zonas y de los tipos de vegetación encontrada.

### **2.1.2. Zona de estudio y potencial como sumidero**

El estudio se sitúa en Écija, municipio de Sevilla de alrededor de 40.000 habitantes, que consta de una superficie de 978,51 km<sup>2</sup>. Tiene un clima cálido y semiárido, de tipo mediterráneo. Sus principales actividades económicas son el comercio y la agricultura, por lo que cobra sentido que un 34% (329,18 km<sup>2</sup>) de la superficie del territorio esté dedicada a la explotación de cultivos de diferentes especies en la actualidad.

Este papel de gran importancia económica que toma la agricultura es una de las claves por las que Écija constituye un sumidero de carbono de suficiente valor como para ser estudiado para su aprovechamiento ante la crisis climática.

### **2.2. Objetivos del estudio**

Los objetivos del estudio se centran en dos finalidades fundamentales. En primer lugar, estimar y representar de forma cartográfica la situación de los sumideros de carbono en Écija, así como analizar los factores de interés para el desarrollo, siendo estos el beneficio económico potencial por absorción, las tasas de absorción medias, los cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo y las diferencias temporales en la extensión de los tipos de cultivos principales. Este objetivo satisface el aspecto informativo de la investigación, orientado a la transferencia a la sociedad de forma asequible. Esta información permitirá especialmente a profesionales con cargos de gestión y a los propios agricultores formar una opinión al respecto y tomar iniciativas que puedan ser beneficiosas tanto a nivel individual como a Écija como municipio.

El segundo objetivo se centra en establecer una serie de propuestas que permitiesen incrementar la cantidad de sumideros en el municipio o simplemente aumentar la extensión de los existentes, mediante el análisis de los datos obtenidos y la observación

de las representaciones gráficas, para así lograr como meta final la disminución de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico y una posible mejora económica y de la calidad de vida de los astigitanos.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Material utilizado: Buscadores académicos y Software**

De forma previa al inicio del estudio, se seleccionaron las herramientas y materiales a utilizar a fin de obtener resultados sistematizados, coherentes y representativos.

Para la búsqueda bibliográfica (y de artículos y libros científicos) se utilizaron los motores de búsqueda Science, Scopus y Google Scholar, además de recurrir al propio servidor de la biblioteca de la Universidad de Cádiz. Estos motores de búsqueda permitieron hallar escritos aprobados tanto por editoriales como por revistas científicas y páginas web de renombre.

Para el procesamiento y explotación de datos fueron necesarios programas que permitiesen tratar tanto información georreferenciada vectorial como de ráster. El software utilizado para cumplir este objetivo fue QGIS 3.30.0, software libre de amplio uso por la comunidad científica, que fue empleado en diferentes fases del estudio.

Así mismo, se consideró importante la creación de tablas y gráficas que permitieran la visualización resumida de lo obtenido a partir de QGIS. Por ello se recurrió a un segundo software, Excel 2016, que se utilizó para la creación de tablas y gráficas de apoyo, además de dar la posibilidad realizar algunos de los cálculos base antes de traspasarlos a QGIS, e incluso permitir hacer comparativas de variables entre años de manera más rápida y eficaz.

#### **3.2. Procedimiento**

Para el desarrollo y el avance de la investigación se siguieron 5 líneas o pasos principales. Todos los datos e información obtenida se centraron en el intervalo temporal de 2005 a 2023, específicamente centrado en los años 2005, 2010, 2016, 2019 y 2023.

##### **3.2.1. Línea 1: Preparación de bases cartográficas**

En primer lugar, fue necesario el asentamiento de las bases del estudio, en las que se instalaron los programas y se descargaron los archivos necesarios, además de hacer la

preparación previa a los mapas. Los programas a utilizar fueron dos, QGIS y Excel. Una vez se tuvieron ambos programas, fue posible dar comienzo a la investigación.

El primer paso fue obtener los archivos cartográficos de base y cargarlos en el proyecto. Estos eran las ortofotografías aéreas y las capas vectoriales. Los archivos de ortofotografías sirvieron para comprobar que la información dada por las capas vectoriales SIGPAC coincidía con la realidad fotografiada en ese año. Las propias capas SIGPAC contenían todos los datos para la realización con posterioridad de los cálculos.

Se prosiguió con el traslado de los primeros valores a la hoja Excel. Se hizo una lista de todos los tipos de usos que aparecían en las tablas de atributos de las capas SIGPAC para cada uno de los años. Los usos considerados incluían tanto cultivos como otros tipos de ocupación (zonas urbanas, carreteras, ríos, etc.).

Tras esto, fue necesario obtener la superficie total (en hectáreas) por cada tipo de uso para cada uno de los años. En las tablas de atributos, pertenecientes a las capas vectoriales de los distintos años, se mostraban los valores de superficie para cada parcela, existiendo miles de parcelas para cada año estudiado. A fin de poder realizar el sumatorio de todas ellas de manera rápida se generó mediante un algoritmo predeterminado de la caja de herramientas (Estadísticas por categorías) una nueva tabla de atributos aparte, en la que se mostró el sumatorio en cuanto al factor superficie.

Las cifras se pasaron a la hoja de cálculo, aunque fueron primero convertidas las unidades en una nueva columna, ya que los valores de superficie en las capas SIGPAC de QGIS se hallan en m<sup>2</sup> y no en hectáreas.

### 3.2.2. Línea 2: Recolección y evaluación de fuentes

En la recolección de artículos se utilizaron los motores de búsqueda mencionados en el apartado de materiales. Los artículos objetivo fueron aquellos que permitían la obtención de la tasa de absorción, ya sea porque se expusiera el dato de forma directa o porque se proporcionase un dato similar del que se pudiera convertir a la absorción de CO<sub>2</sub> mediante factores de conversión (por dar la tasa en C, las capacidades de secuestro y emisión de CO<sub>2</sub> de forma separada, la acumulación o stock medio de C... entre otros). Se consideraron especialmente aquellos estudios cuyo clima o localización geográfica fuera similar (al menos en cierto grado) al de Écija.

Se recopilaron un mínimo de 3 artículos que proporcionaran datos para cada uno de los diferentes usos identificados en el SIGPAC.

### 3.2.3. Línea 3: Cálculos y tratamiento de datos

Se elaboró en la hoja Excel una nueva tabla específica para cada tipo de uso (Anexo II), en las que se incluyó el dato principal obtenido de cada fuente (el que constata la cantidad de CO<sub>2</sub> por unidad de superficie), procediendo a su conversión si fuera necesaria. Una vez convertidos todos los valores a unas mismas unidades, en este caso t CO<sub>2</sub>/ha, se calcularon las medias a partir de estos.

Para intentar acotar la fiabilidad de las medias se procedió a realizar los llamados “intervalos de confianza”, que describen para un conjunto de datos en los que se calcula una media cuál es la variación máxima del valor. El propio intervalo de confianza se calculó mediante el algoritmo presente en Excel “INTERVALO.CONFIANZA.NORM(alfa, desv\_estándar\_tamaño). En él, el alfa se obtuvo como resultado de la resta de 1 - confianza (siendo esta última del 95%); la desviación estándar, mediante otro algoritmo llamado “DESVEST.M; y el tamaño muestral por el número de elementos considerados (artículos seleccionados).

El intervalo de confianza se dividió por la media obtenida para observar la aproximación en porcentaje de ambos números. En los casos en los que el intervalo de confianza representaba un 50% o más del valor de la media, se tomó esta como no representativa al considerarse la variación demasiado importante, y se procedió a la eliminación de los valores más discrepantes, para después generar otra media con los valores extraídos de los artículos restantes. Se comprobaron de nuevo los intervalos de confianza tras ello.

A partir de las medias, una vez consideradas como válidas, se completó el resto de campos (columnas) de interés de la tabla general de Excel (Anexo I). Las columnas fueron:

1. Las toneladas de CO<sub>2</sub> totales en función de cada año. Su cálculo se basó en una multiplicación simple de las superficies por la tasa de absorción de CO<sub>2</sub>:

$$\text{Superficie (ha)} \times \text{Tasa de absorción (t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}) = \text{t CO}_2 \text{ totales}$$

2. Porcentaje de superficie en cuanto a superficie total para cada uso por año. Se consiguió haciendo el sumatorio para conseguir la superficie total y siguiendo la ecuación:

$$\frac{\text{Superficie para uso determinado (ha)}}{\text{Superficie total (ha)}} = \% \text{ superficie (ha)}$$

3. Porcentaje de total de CO<sub>2</sub> en cuanto al total del sumatorio de CO<sub>2</sub> por cada uso y por año. Se sumaron todas las toneladas de CO<sub>2</sub> para cada uso, que se utilizaron para calcular la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Total t CO}_2 \text{ uso determinado}}{\text{Total t CO}_2 \text{ todos los usos}} = \%t \text{ CO}_2 \text{ totales}$$

En total se conformaron 15 columnas nuevas en la tabla, 5 por cada factor nuevo calculado, ya que se trabajó con 5 años distintos. En las columnas de variables de porcentajes, aquellos usos en las que se observaron valores suficientemente notables o una evolución evidente fueron resaltadas, siendo estos los cultivos o usos de mayor peso, que fueron seleccionados como principales y sobre los que se centró el estudio.

Todas las variables calculadas y sus correspondientes valores se escribieron, construyendo la tabla general de cálculos (Anexo I).

Se realizaron de forma adicional dos nuevas tablas. La primera de ellas se refiere al beneficio económico potencial, que dependía de la absorción total de CO<sub>2</sub>. La ganancia económica por tonelada de CO<sub>2</sub> secuestrada (€) variaba cada año, por lo que estas cifras fueron consultadas en la web “SendeCO2”. En la tabla se establece este beneficio económico como resultado de la ecuación:

$$\text{Beneficio } (\text{€ t CO}_2^{-1}) \times t \text{ CO}_2 \text{ totales} = \text{Beneficio potencial } (\text{€})$$

Además, también se realizaron en la misma tabla las medias de ganancia para cada intervalo de tiempo entre los años principales, que se obtiene mediante la expresión “PROMEDIO” y la suma de los euros totales en los mismos intervalos, por la expresión “SUMA”.

La segunda tabla sirvió para realizar una comparativa que permitiera analizar la conveniencia de diferentes metodologías para el estudio en desarrollo y confirmar que la utilizada hasta ahora (mediante bibliografía) fuese correcta. El estudio con el que se comparó fue el realizado por la Junta de Andalucía. A fin de encontrar el punto común por el que hacer una comparativa fiable se tomaron los valores de tasa de absorción que establece la Junta de Andalucía, pero los valores de superficie hallados a través de SIGPAC. Como en las tablas anteriores, se siguió la ecuación de obtención de toneladas totales:

$$\text{Superficie } (\text{ha}) \times \text{Tasa de absorción } (\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}) = t \text{ CO}_2 \text{ totales}$$

#### 3.2.4. Línea 4: Traspaso de información a QGIS

A continuación, se integraron en el archivo QGIS todas las variables mencionadas con anterioridad, calculadas en la hoja Excel, dentro de las tablas de atributos de las capas vectoriales. Fue necesario su recálculo dentro del programa a fin de conseguir los valores de cada variable para cada parcela.

Para la tasa de absorción los valores se asignaron a mano, seleccionando todas las filas correspondientes a cada tipo de uso e insertando su valor correspondiente mediante una expresión.

Para calcular el total de toneladas CO<sub>2</sub> absorbidas, primero fue necesario pasar la superficie, que en la tabla de atributos se halla en m<sup>2</sup>, a hectáreas, justo como se había hecho previamente en la hoja Excel, creando una nueva columna. A continuación, pudo realizarse la multiplicación de las nuevas superficies por las tasas de absorción, que dieron las toneladas de CO<sub>2</sub> totales absorbidas.

Dentro de las tablas de atributos se añadieron también las columnas de beneficio potencial económico. Para crearlas, se generó una nueva variable mediante la multiplicación de las toneladas totales de CO<sub>2</sub> por la ganancia por tonelada de CO<sub>2</sub> (EUA, cuya media es variable entre años), que dio como resultado ese beneficio para cada parcela.

De forma adicional, se comprobó la estimación de la posible ganancia económica total que podría haberse obtenido desde el inicio del intervalo en 2005. Para ello era necesario unir todas las capas existentes de diferentes años, pero surgía la problemática de no coincidencia de los mismos IDs de parcela para las mismas parcelas en distintos años. Por ello, primeramente, las capas debían tener un código de identificación específico para cada parcela, que permitiera relacionarlas correctamente al hacer la unión. Así, en cada capa vectorial, se añadió la variable de ID de parcela, en la que se generó un número dependiente de la expresión “POLÍGONO || PARCELA || RECINTO” que unía los valores especificados por cada una de las 3 columnas por el mismo orden en el que se ve en la expresión. Esto daba un número único para cada parcela que coincidía sin importar el año.

Una vez completado este paso, se unieron todas las capas de los restantes años en una capa vectorial nueva, mediante la pestaña “Uniones” en “Propiedades”. Las uniones se hicieron añadiendo las filas según la variable de ID de parcela, y las variables del total de

toneladas de CO<sub>2</sub> fueron añadidas a la tabla de atributos. Se concluyó construyendo una última variable, de beneficio total:

$$\begin{aligned} & (\textit{Beneficio 2005 – 2009}) + (\textit{Beneficio 2010 – 2015}) + (\textit{Beneficio 2016 – 2018}) \\ & + (\textit{Beneficio 2019 – 2022}) + (\textit{Beneficio 2023}) \end{aligned}$$

La cual se generó a partir de las variables de beneficio para cada intervalo, resultantes de la suma de los beneficios obtenidos de todos los años pertenecientes a cada intervalo.

### 3.2.5. Línea 5: Representación gráfica

Con las variables ya calculadas, se prosiguió con la última línea, dispuesta a la representación de mapas y gráficas.

En el caso de los mapas, se eligió a través de QGIS en la pestaña “Propiedades” un código de colores para cada tipo de mapa a querer representar. Se construyeron composiciones de mapas en los que se colocaron todos los mapas de cada año según las distintas variables a representar.

En cuanto a las gráficas, se utilizó Excel para representar las variables en diagramas de dispersión como reflejo de la evolución temporal. Las gráficas representadas se centraron en los tres cultivos principales, para las variables superficie total, toneladas de CO<sub>2</sub> totales, porcentaje de superficie total y porcentaje de toneladas de CO<sub>2</sub> totales.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se muestran a continuación se obtienen tras las labores detalladas anteriormente y se presentan por orden de obtención.

En primer lugar, se obtuvo un listado con los usos del suelo considerados en el SIGPAC para cada uno de los años se observaron un total de 24 usos distintos (Tabla 1):

Tabla 1: Superficie (ha) por año para cada uso SIGPAC

Uso	Significado	ha 2005	ha 2010	ha 2016	ha 2019	ha 2023
AG	Agua	1.387	1.354	1.436	1.402	1.391
CA	Viales	1.184	1.193	1.171	1.171	1.178
CF	Cítricos - frutales		2	1	1	1
CI	Cítricos		334	341	386	399
CS	Cítricos - frutos secos				0,068	
ED	Edificaciones	6	11	5	6	6
EP	Elem. Paisaje				5	5
FL	Frutos secos y olivar		0,08	0,08	0,08	0,08
FO	Forestal	122	122	108	108	105
FS	Frutos secos		48	239	1.510	4.311
FV	Frutos secos - viñedo			0,05	0,05	0,05
FY	Frutales	692	264	193	167	104
IM	Improductivos	1.501	1.446	2.087	2.159	2.211
IV	Invernaderos		0,77	14	19	35
OC	Olivar – cítricos		0,84	1,55	1,52	1,55
OF	Olivar – frutal		0,58	0,61	0,60	0,67
OV	Olivar	7.728	17.300	19.305	23.791	28.071
PA	Pasto con arbolado	8	26	42	48	45
PR	Pasto arbustivo	502	352	343	299	338
PS	Pastizal	27	46	59	65	66
TA	Tierras arables	83.836	74.552	71.675	65.891	58.765
TH	Huerta	92	45	41	31	29
VI	Viñedo					0,096
ZU	Zona urbana	635	622	671	671	671
<b>TOTAL</b>		<b>97.719</b>	<b>97.719</b>	<b>97.732</b>	<b>97.732</b>	<b>97.733</b>

De cada uso se hizo un estudio con la intención de encontrar la tasa de absorción media adecuada de cada uno. En ciertos casos (para ED, EP, IM, TA e IV) no se consiguieron encontrar estudios concluyentes de los que extraer las tasas de absorción, por lo que se omitieron en la posterior tabla general de datos. También dejaron de tomarse en cuenta las zonas urbanas y carreteras, ya que aminoraban la capacidad sumidero al dar emisiones. Al solo estudiarse los sumideros, no se consideraron de interés para el estudio.

De esta forma quedaron 16 usos, de los que sí se consiguió información. Para cada uno de los usos se utilizó una diversidad de artículos (listados en el Anexo II) de los que se extrajeron los datos y sobre los que se basó la media de tasa de absorción con la que se trabaja. Se obtuvo así, para cada uno de los usos restantes, una tabla específica, las cuáles se muestran en el Anexo II:

- **AG:** Masas de agua. Se consideró en el estudio que, para el agua la absorción se produce en su totalidad por parte de la microbiota (microalgas y bacterias fotosintéticas). En los cálculos, al tratarse de agua, se trabajó con unidades de

volumen, no de área. Para la obtención de unidades en área se tomó una profundidad media de 2 m de la masa de agua. Estos 2 m son una estimación que resulta de la observación de la profundidad media de otros ríos pequeños, que son los que constituyen el mayor porcentaje del área de AG.

Los datos de los artículos se adecuaron disminuyéndolos al 1% en cuanto a la tasa de absorción, ya que pertenecían a experimentos en los cuáles las densidades de microorganismos por litro superaban con creces aquellos niveles que se encontraban en las aguas naturales. Se consiguió así una media adecuada de  $13,48 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , sin embargo, observando los artículos se vio que los estudios disponibles se basaron en regiones muy distintas al clima mediterráneo de Écija, perteneciendo a zonas tropicales o desérticas/semidesérticas. Estos son factores, que pueden influir en gran medida en las cifras calculadas, de modo que el estudio para este uso no fue concluyente y no se utilizó para el resto del desarrollo.

- **CF:** Asociaciones de cultivos cítricos y frutales. Para el cálculo de su tasa de absorción se utilizaron las tasas medias de cítricos y frutales por separado, asignando un peso del 50% para cada uno de ellos. El resultado fue de  $7,14 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- **CI:** Cultivos de cítricos. Todos los obtenidos pertenecían a territorios españoles de clima parecido y de los que se obtuvieron valores similares, de forma que se utilizaron todos ellos para generar la media. El resultado fue de  $7,9 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- **CS:** Asociación de cultivos de cítricos y frutos secos. Se asigna un peso del 50% a cada tipo de cultivo que lo compone, dando un valor final de  $8,09 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- **FL:** Asociación de cultivos de frutos secos y olivar. Se asignó un peso del 50% a cada cultivo que lo constituye. El resultado fue de  $8,23 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- **FO:** Forestal. Se utilizaron artículos de bosques mediterráneos y áridos, que son similares a los que encontramos en Écija. Se concluyó el resultado en una media de  $7,82 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- **FS:** Cultivos de frutos secos. Los artículos encontrados no se asemejaban en sus valores, lo que cobra sentido al observar las localizaciones de los mismos, entre las que hay diferencias notables en el clima, por lo que se descartaron las que mostraban estas diferencias. El artículo restante, más próximo y con clima más parecido a Écija, por lo que se acepta, siendo así la media de  $8,26 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- **FV:** Asociaciones de frutos secos y viñedos. Se les dio un peso del 50% a cada uno de los tipos de cultivo. Como valor final se obtuvo  $6,89 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

- **FY:** Cultivos de frutales. Todas las fuentes presentaban clima mediterráneo. Todas las fuentes españolas se asemejaban en gran medida y distaban de la fuente 4, por lo que solo se tomaron las primeras para sacar otra media más adecuada, de la cual se obtuvo un intervalo de confianza muy pequeño que sugería una gran fiabilidad. El valor medio tomado fue el de esta media, siendo  $6,37 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- **OC:** Asociaciones de olivar y cítricos. Como en el resto de usos con asociaciones, se otorgó un peso del 50% a cada especie. El resultado fue de  $8,06 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- **OF:** Asociaciones de olivar y frutales. Cada tipo de cultivo tuvo un peso del 50%, con un valor final como resultado de  $7,29 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- **OV:** Olivar. Al ser el tipo de cultivo que ocupa mayor número de hectáreas, se hizo un estudio más exhaustivo del olivar, y contamos con 6 diferentes fuentes en este caso. De ellas, 4 pertenecían a España, y 2 a Italia, de forma que todas poseían clima mediterráneo. Los resultados varían entre las medias dadas, rondando desde las casi 12 a las 5  $\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , con como único valor atípico el valor de la fuente 3, que no se toma en consideración para la media final, de  $8,20 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- **PA:** Pasto con arbolado. En este caso se trató como si fuera una asociación, en particular se tomaron los usos pastizal y forestal, que tendrían unos pesos de 85% y 15%, respectivamente. La media de absorción es de  $7,02 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- **PR:** Pasto arbustivo. Se encontraron fuentes de diversos lugares del mundo, generalmente de zonas semiáridas, aunque no siempre pertenecientes al clima mediterráneo, que aun así mostraron similitudes en cuanto a la media de absorción anual (a excepción de la fuente número 5, un valor atípico). Por esta razón la media escogida fue calculada teniendo en cuenta todas las fuentes excepto la 5, otorgando porcentajes menores a aquellas fuentes con zonas de estudio más diferenciadas del propio y asignando el mayor porcentaje a la fuente más similar (fuente 6). De esta manera, las fuentes de 1 a 4 aportan un 5% a la media total, y la fuente 6 un 80%, logrando un valor de absorción media de  $5,44 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- **PS:** Pastizal. Se encontraron 4 fuentes referentes a pastizal con la información necesaria, de las cuáles 2 no se ajustaban al clima, ni a la localización ni al resto de valores de media proporcionados por el resto de artículos, de manera que fueron descartados. La media se generó a partir de las fuentes 1 y 4 (ambas españolas) que dieron como resultado un valor de media de  $6,88 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .
- **TH:** Huerta. Hace referencia a pequeñas huertas privadas, que suelen variar en las especies cultivadas, así como la proporción de ellas, por lo que no existe un amplio

repertorio de artículos científicos centrados en ellas en cuanto a absorción de carbono. Se halló una fuente de un estudio en la Comunidad Valenciana que ofreció como dato de media unas 6,97 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, de forma que se tomó este dato como resultado final, aunque debido a que no puede contrastarse con otros estudios, su precisión puede variar.

- **VI:** Viñedo. Todas las fuentes pertenecen a climas mediterráneos, habiendo 2 localizaciones de España y 1 de Italia, sin embargo, la fuente 1 presenta un valor atípico que puede deberse a diferencias geográficas, por lo que se descarta al hacer la media. Así, para esta, tendremos un resultado de 5,53 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Los valores de las medias se incluyeron en la tabla de datos general una vez obtenidos. En este momento ya se dispuso de toda la información necesaria para los cálculos de las variables de estudio.

Se calcularon, a continuación, las absorciones totales. Así se obtuvieron 5 columnas:

Tabla 2: Cantidad de CO<sub>2</sub> (t) por año para cada uso SIGPAC

Uso	Significado	tCO2 2005	tCO2 2010	tCO2 2016	tCO2 2019	tCO2 2023
AG	Agua	18.702	18.257	19.356	18.899	18.749
CA	Viales	-75.692	-76.252	-74.880	-74.874	-75.318
CF	Cítricos - frutales	0	12	11	8	9
CI	Cítricos	0	2.643	2.702	3.058	3.158
CS	Cítricos - frutos secos	0				
ED	Edificaciones	0				
EP	Elem. Paisaje	0				
FL	Frutos secos y olivar	0	0,66	0,65	0,65	0,65
FO	Forestal	952	950	842	845	819
FS	Frutos secos	0	398	1.970	12.471	35.595
FV	F. secos - viñedo	0		0,33	0,33	0,33
FY	Frutales	4.411	1.684	1.228	1.062	665
IM	Improductivos	0				
IV	Invernaderos	0				
OC	Olivar – cítricos	0	7	12	12	12
OF	Olivar – frutal	0	4	4	4	5
OV	Olivar	63.368	141.864	158.303	195.092	230.189
PA	Pasto con arbolado	56	180	292	339	319
PR	Pasto arbustivo	2.729	1.914	1.864	1.626	1.837
PS	Pastizal	182	318	403	447	452
TA	Tierras arables	0				
TH	Huerta	642	314	289	214	201
VI	Viñedo	0				0,53
ZU	Zona urbana	-52.316	-51.245	-55.257	-55.260	-55.264

De nuevo, queda patente por la observación de la tabla la importancia de los cultivos principales (olivar, frutos secos y cítricos) también en materia de cantidad de CO<sub>2</sub> absorbida.

Ya con las superficies y las toneladas totales de CO<sub>2</sub> calculadas, se siguió la ecuación escrita en el procedimiento para calcular las variables de porcentajes de toneladas de CO<sub>2</sub> y de superficie en hectáreas creadas. Con todos los datos, se generaron las siguientes gráficas que describen la evolución de la superficie total, toneladas de CO<sub>2</sub> totales, porcentaje de superficie respecto a la superficie total, y porcentaje de toneladas de CO<sub>2</sub> respecto al total:

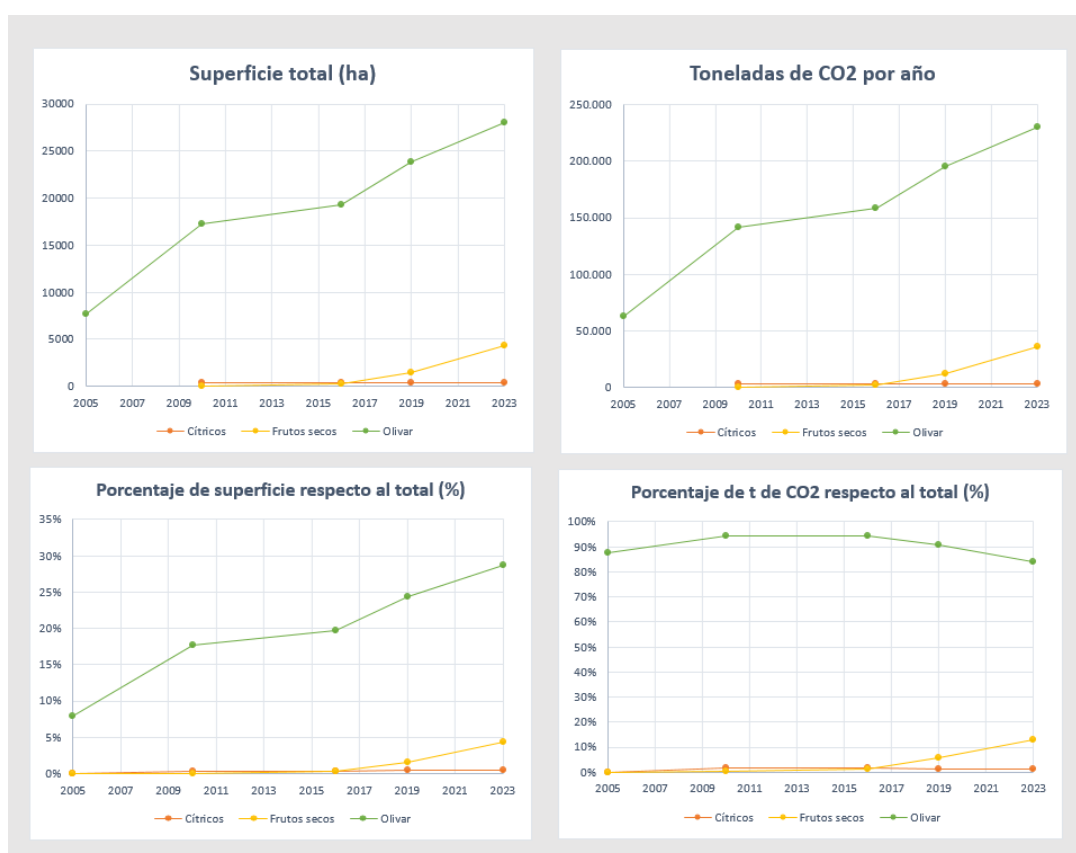


Figura 1: Composición de gráficas de superficie (totales y porcentaje) y toneladas de CO<sub>2</sub> (totales y porcentaje)

Las gráficas representadas en la figura 1 ofrecen información sobre cómo se desarrolla la evolución de los cultivos principales en cuanto a las superficies y las absorciones totales, por lo que se utilizan las mismas a fin de explicar la evolución temporal.

En primera instancia puede observarse como en todos los casos, el olivar supera cuantiosamente a los frutos secos y cítricos. Es el cultivo que más hectáreas ocupa, y

debido a esto y su alta capacidad de secuestro de CO<sub>2</sub>, lidera en todas las gráficas, lo que significa que se califica como el mayor sumidero de Écija.

Las gráficas de superficie total y porcentaje de superficie total van a la par. En ellas, se deja entrever que los tres cultivos principales tienen un aumento constante, mostrado más evidentemente en el olivar, que aumenta desde las 7.728 hectáreas (7,91%) en 2005 hasta las 28.071 actuales (28,72%). En el caso de los cítricos y frutos secos, su existencia hasta 2010 es nula (o no está recogida) y tras su aparición presentan porcentajes muy bajos, de menos del 1%. Esta tendencia se mantiene en los cítricos hasta la actualidad, donde representan solo un 0,4%, mientras que en los frutos secos se reconoce una subida paulatina de la superficie a partir de 2016, pasando de 48 (0,05%) hectáreas a las 4.311 (4,41%) en 2023.

Al contrario que las dos gráficas de superficie, las gráficas dedicadas a evolución temporal de las absorciones totales (toneladas de CO<sub>2</sub> absorbidas) no muestran la misma línea de tendencia. La diferencia entre ambos casos radica en que para la superficie no existía competencia, ya que los nuevos cultivos ocupaban terreno previamente sin utilizar, de forma que simplemente aumentaba el porcentaje; en el caso de las absorciones el funcionamiento prueba ser diferente, de modo que al aumentar el porcentaje de un cultivo bajará el de los otros.

Todos los cultivos presentaron un aumento continuo en cuanto a toneladas absorbidas, mayor en el olivar y menor en los dos restantes, debido a su ligación estrecha respecto del área ocupada. El olivar aumenta desde las 63.368 ha en el inicio hasta llegar a un máximo de 230.189 ha en la actualidad. Para los frutos secos, hay una variación desde las 398 t CO<sub>2</sub> en 2010 a las 35.595; para los cítricos la variación se limita de las 2.643 toneladas a las 3.158, siendo el aumento poco notorio en comparación.

El porcentaje de toneladas absorbidas en el olivar respecto al total comienza siendo del 87,60% y aumenta hasta alcanzar su pico máximo en 2010, de un 94,39%. A partir de este año desciende lentamente hasta alcanzar el 84,24% en la actualidad. Esta disminución coincide con el aumento del porcentaje de los frutos secos, que aventajan al olivar ya que poseen una mayor tasa de absorción de CO<sub>2</sub>, que influye en las toneladas de CO<sub>2</sub> absorbidas. Los frutos secos pasan del 0,26% en 2010 al 13,03% en 2023. En el caso de los cítricos, existe un decrecimiento suave continuo, pasando del 1,76% en 2010 a los 1,16% actuales.

A continuación, se procedió a la creación de la tabla de beneficio potencial. El beneficio por tonelada de CO<sub>2</sub> varía cada mes desde su fecha de creación, por lo que se realizan 18 cálculos distintos para abarcar todo el intervalo de tiempo, utilizando la media de precio de cada año. Se tienen datos registrados del precio desde 2008, de forma que ocurre la problemática del desconocimiento de los precios de 2005, 2006 y 2007, lo que se solventó por el uso de la media de 2008 para estos años. Así se obtuvo la tabla 3, que muestra los resultados de potencial beneficio económico.

Tabla 3: Beneficio potencial (€) por año según CO<sub>2</sub> secuestrado

Año	Beneficio (€/t CO2)	t CO2 totales	Beneficio total (€)	Media € intervalo	Suma € intervalo
2005	22,02 €	72.339	1.592.909,56 €	1.463.277,68 €	7.316.388,40 €
2006	22,02 €	72.339	1.592.909,56 €		
2007	22,02 €	72.339	1.592.909,56 €		
2008	22,02 €	72.339	1.592.909,56 €		
2009	13,06 €	72.339	944.750,17 €		
2010	14,32 €	150.289	2.152.135,73 €	1.318.283,33 €	7.909.699,97 €
2011	12,89 €	150.289	1.937.222,74 €		
2012	7,33 €	150.289	1.101.616,96 €		
2013	4,45 €	150.289	668.785,20 €		
2014	5,96 €	150.289	895.721,30 €		
2015	7,68 €	150.289	1.154.218,05 €		
2016	5,35 €	167.922	898.380,08 €	1.514.652,03 €	4.543.956,09 €
2017	5,83 €	167.922	978.982,41 €		
2018	15,88 €	167.922	2.666.593,60 €		
2019	24,84 €	215.181	5.345.098,82 €	9.898.869,10 €	39.595.476,40 €
2020	24,75 €	215.181	5.325.732,52 €		
2021	53,55 €	215.181	11.522.948,54 €		
2022	80,87 €	215.181	17.401.696,52 €		
2023	86,67 €	273.263	23.683.696,88 €	23.683.696,88 €	23.683.696,88 €
<b>TOTAL</b>			83.049.217,75 €		

Como último paso dentro de esta línea, se realizó la comparativa a objeto de entender diferentes formas de estudio de una misma materia en el mismo lugar (Écija). A fin de encontrar el punto común por el que hacer una comparativa fiable se tomaron los valores de tasa de absorción que establece la Junta de Andalucía y los valores de superficie hallados a través de SIGPAC. Para adaptar las superficies de los usos SIGPAC a los nuevos tipos de usos de la J.A., se asignaron de la siguiente forma:

- Superficie forestal arbolada: FO, PA
- Superficie de dehesa espesa: PR, PS

- Superficie de cultivo anual convertida a cultivo leñoso: CF, CI, FL, FS, FV, FY, OC, OF, OV, TH, VI
- Superficie de tierras agrícolas convertidas a forestal: (Ninguno)

Se sumaron las hectáreas dedicadas a los nuevos usos, y, como en las tablas anteriores, se multiplicaron las hectáreas totales por la tasa de absorción para conseguir las toneladas totales para cada año. Se escribieron los resultados obtenidos para cada año para cada uno de los dos estudios para facilitar la visualización de las diferencias.

La comparativa final de la metodología de la Junta de Andalucía con la del estudio en Écija que desarrollamos se basó, como se dijo en el apartado de procedimiento, en la utilización de los usos en los que dividió el terreno la Junta de Andalucía, pero tomando las hectáreas calculadas por QGIS, que sirve de punto en común para comparar los resultados. Se obtuvo:

Tabla 4: Comparativa metodologías Junta de Andalucía y estudio propio

Uso superficie	tC/ha/año	tCO2/ha/año	ha totales 2005	ha totales 2010	ha totales 2016	ha totales 2019	ha totales 2023	tCO2 2005	tCO2 2010	tCO2 2016	tCO2 2019	tCO2 2023
Forestal arbolada	1,85	6,79	130	147	149	156	150	881	1.000	1.014	1.062	1.020
Dehesa espesa	1,85	6,79	528	398	401	364	404	3.588	2.704	2.726	2.473	2.740
Cultivo anual convertida a cultivo leñoso	0,42	1,54	8.512	17.994	20.122	25.888	32.918	13.120	27.737	31.017	39.904	50.739
Tierras agrícolas convertidas a forestal	1,85	6,79										
<b>Total</b>			9.170	18.540	20.673	26.409		17.588	31.441	34.757	43.439	54.499
<b>Toneladas según metodología propia</b>								72.339	150.289	167.922	215.181	273.263
<b>Toneladas según estudio J.A.</b>								8.029	9.627	9.627	9.627	9.627

De la comparativa puede obtenerse una conclusión principal clara: los resultados obtenidos por la Junta de Andalucía y los propios divergen en gran medida. Se atribuyen estas diferencias a las tasas de absorción de CO<sub>2</sub> por hectárea utilizados, además de las enormes divergencias en las áreas de cultivo consideradas (observables en el Anexo III).

En el caso del estudio propio, las tasas de absorción se eligieron a partir de las estimaciones de datos de artículos científicos de los que se tomó el balance neto, el stock

total de C, los NEP..., para realizar medias y en ocasiones asignar pesos dependiendo de semejanza climática o geográfica y/o relevancia. Los valores de superficie se obtuvieron mediante el sumatorio del área de todas las parcelas, utilizando QGIS.

En la documentación que ofrece la Junta se describe la metodología de cálculo. Para la superficie, los datos proceden de la CAGPDS, mientras que el factor de absorción procede del Inventario de Sumideros de CO<sub>2</sub> en Andalucía elaborado en 2007, que usa como base los cambios en el flujo de CO<sub>2</sub> hacia o desde la atmósfera y que está relacionado con los cambios en el stock de carbono de la biomasa y suelos. El Inventario calcula el factor de absorción según la ecuación:

$$\text{(Incremento anual C por crecimiento – Disminución anual C por pérdidas biomasa) * Superficie dedicada a cada uso}$$

En la metodología de la Junta de Andalucía se agrupa una cantidad amplia de especies y usos distintos en cuatro grupos principales. Al ser necesario extrapolar los datos a la localización estudiada (Écija) si se siguiera esta metodología, se considera como más representativo utilizar los valores que se han hallado con el desarrollo propio, motivo principal para la elección del susodicho.

Otro de los motivos es la precisión de los datos de superficie. Se tiene en posesión una hoja de datos proporcionada por la Junta de Andalucía en la cual se ofrecen los valores de las absorciones por los cultivos (divididos en los 4 tipos de cultivos ya mencionados). En ella pueden observarse que las toneladas de CO<sub>2</sub> absorbidas en cada año apenas sufren modificaciones, ya que solo hay un cambio en 2005 y tras ello el resto de años se mantiene constante. Esto se debe a que no registran cambios en las superficies desde 2008, por lo tanto, no se centra tan detalladamente en los municipios, sino que se centra en una representación general a nivel Andalucía.

Puede concluirse que son dos estudios que siguen dos líneas distintas, y resultan en valores diferentes, debido a que la metodología utilizada varía y fija su importancia en la representación a escalas adecuadas a la zona de estudio, las cuales se adecúan a municipio (Écija) y comunidad autónoma (Andalucía). Por ello se decidió proseguir, tanto en el apartado procedimiento como en el apartado de resultados, la metodología desarrollada desde el inicio en el estudio propio.

Los resultados de los cálculos en las tablas de atributos dentro del programa QGIS dieron lugar a los siguientes mapas y composiciones:

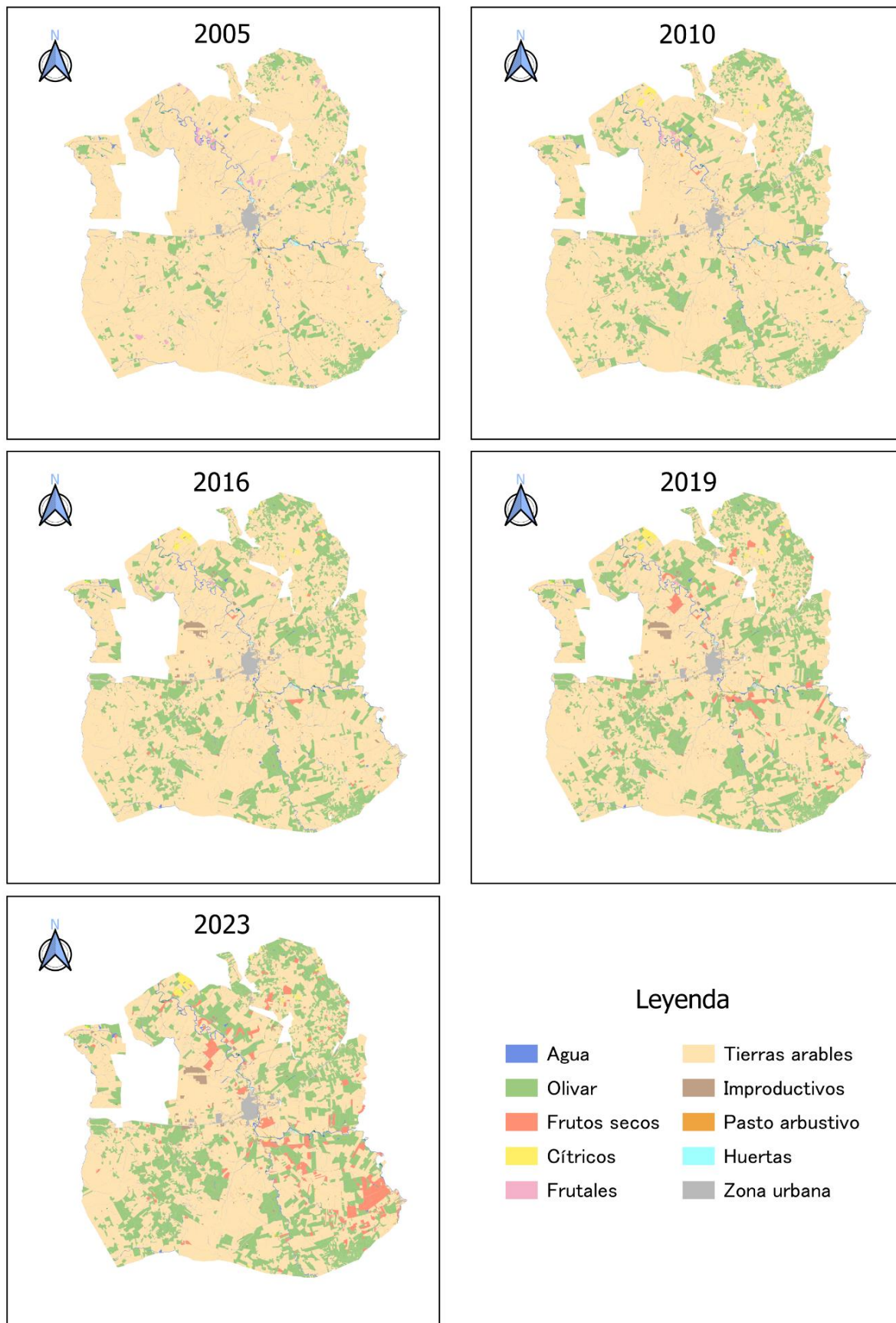


Figura 2: Composición de mapas por uso y año

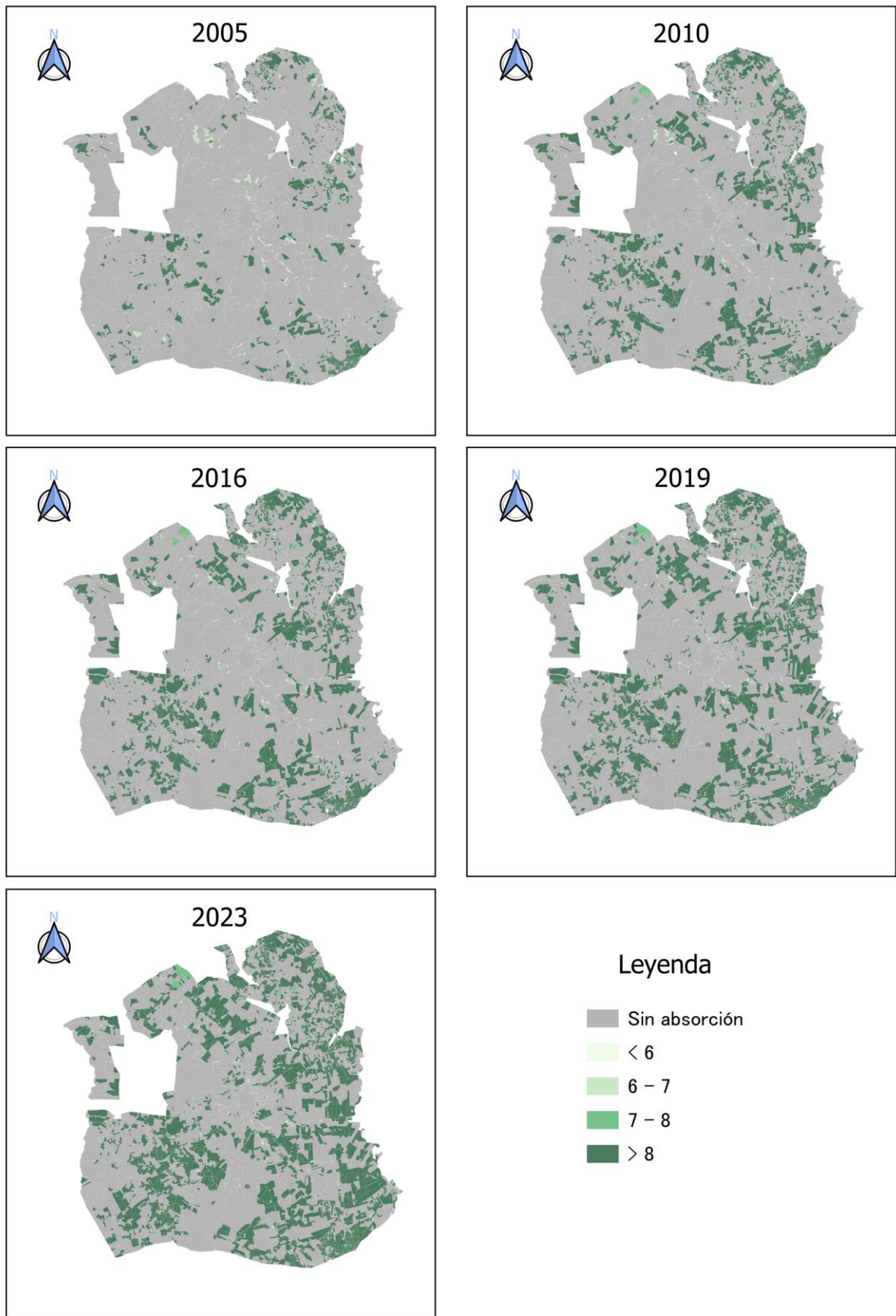


Figura 3: Composición de mapas por tasa de absorción (t CO<sub>2</sub>/ha) y año

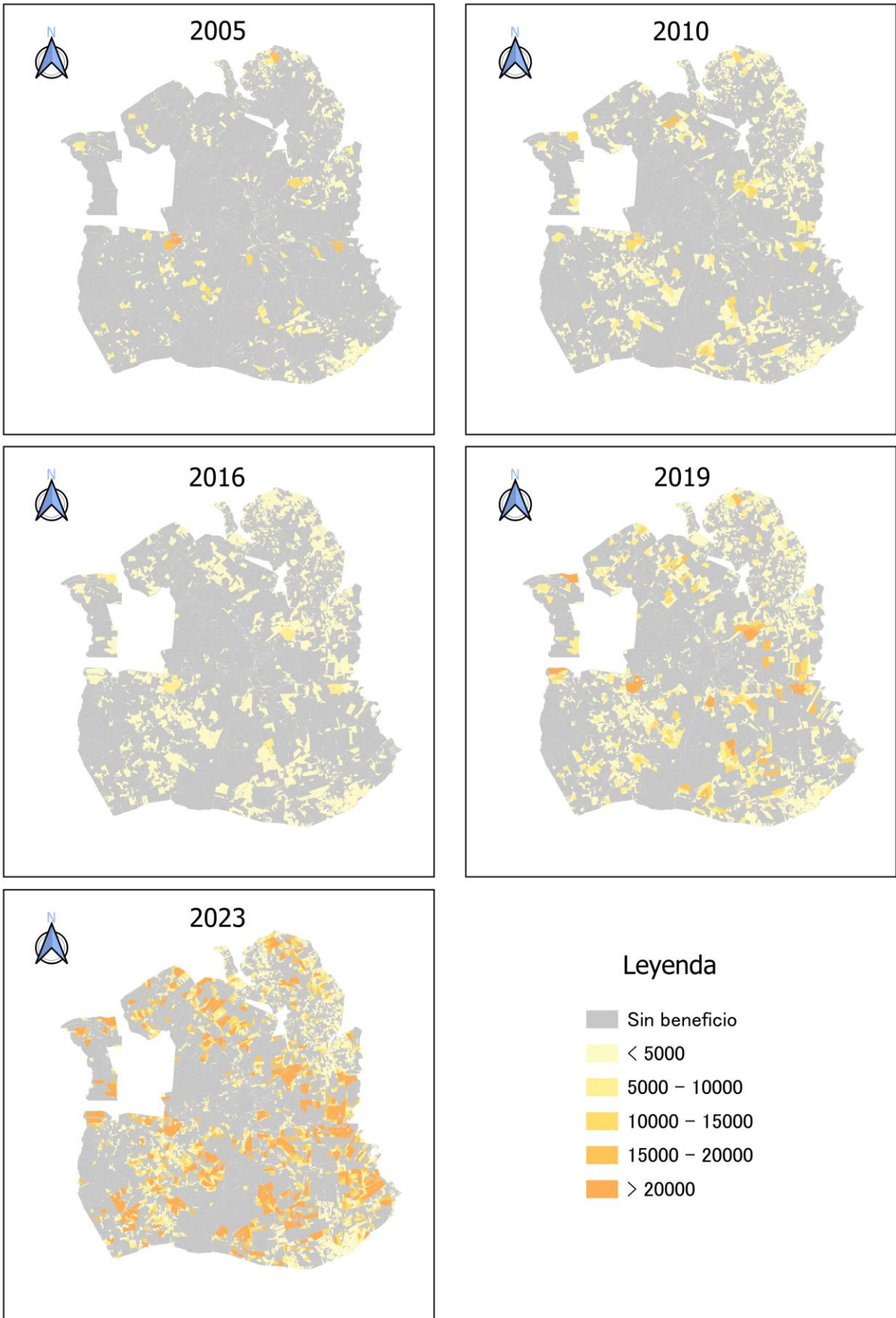
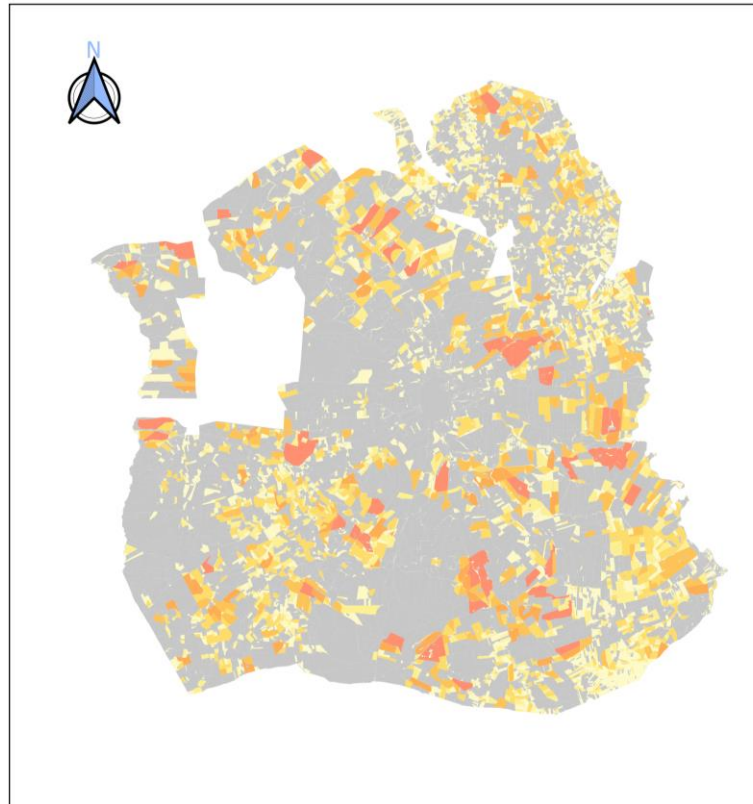


Figura 4: Composición de mapas por beneficio potencial (€) y año



Leyenda

■	Sin beneficio
■	< 10000
■	10000 - 20000
■	20000 - 50000
■	50000 - 100000
■	100000 - 150000
■	> 150000

Figura 5: Mapa de beneficio potencial total (€)

La representación cartográfica de los resultados permite identificar la distribución espacial de las principales variables consideradas y su evolución en el tiempo.

En primera instancia, puede observarse como en los primeros años del periodo considerado la superficie dedicada al cultivo era mucho menor, cultivándose únicamente un 9% del territorio. En el año 2005 la población era de 38.911 habitantes (Instituto Nacional de Estadística), cifra que se ha triplicado en la actualidad, lo que se trata de una posible explicación al pequeño porcentaje del trabajo de las parcelas.

En cuanto a los cultivos plantados, predominan especialmente los olivares que se sitúan por todo el territorio. También en estas fechas se aprecia la existencia de parcelas dedicadas a la agricultura de especies frutales, en especial las dos pequeñas

concentraciones situadas a orillas del río Genil. Otros usos, como el pasto arbustivo y las huertas salpican el mapa, aunque no llegan a conformar un porcentaje del territorio muy perceptible.

La capacidad de sumidero se encuentra en su punto más bajo en este momento. Existe una absorción de carbono en todas las parcelas cultivadas, pero debido a la mayor presencia de especies de menor tasa de absorción junto con la baja superficie en cultivo, solo se alcanza a un total de 72.314 t CO<sub>2</sub> en todo el municipio en 2005, y un total de 361.570 toneladas de CO<sub>2</sub> acumuladas entre los años 2005 y 2009 (5 años). El beneficio económico potencial también mostrará sus cifras mínimas. En este intervalo 2005-2009 la ganancia potencial media tiene un valor de 1.463.277€ en total.

Desde 2005 a 2010 se documenta el primer cambio significativo para Écija, que pasa de tener un 9% de terreno cultivado a un 19% al llegar a 2010, una diferencia del 10% en solo 5 años. Los usos del terreno empiezan a modificarse ligeramente en 2010: aunque el olivar sigue siendo el cultivo predilecto con diferencia, vemos como los cultivos frutales comienzan a descender en extensión, mientras que los cítricos se trabajan en algunas parcelas en el norte.

Las absorciones aquí pueden observarse como aumentan notoriamente, ya que está comenzando la transformación de los usos de las parcelas a cultivos de mayor absorción, además de la obvia expansión de los cultivos en superficies antes no utilizadas. La capacidad de sumidero de Écija asciende, habiendo, sólo en 2010, 167.905 t CO<sub>2</sub> absorbidas, que dobla la cantidad mostrada en 2005. De 2010 a 2015 (6 años), la acumulación de CO<sub>2</sub> secuestrado de la atmósfera alcanza 901.640 toneladas, que triplica al intervalo anterior contando únicamente con 1 año más. Los beneficios económicos potenciales sufren un golpe en el intervalo, ya que aunque en 2010 los beneficios son de 2.152.135 €, los precios de EUA (€/toneladas CO<sub>2</sub>) comienzan a caer en picado alcanzando mínimos en 2013, de solo 4,45 € por tonelada. De esta manera la media de beneficio por año en el intervalo se ve afectada y baja hasta los 1.318.283 €.

La evolución sigue el mismo camino hasta 2016: las tierras en uso de agricultura ascienden en superficie, aunque solo en un 2%. El olivar crece, aunque no de forma obvia, tomando las parcelas que antes se dedicaban al cultivo de frutales, mientras que los cítricos siguen subiendo lentamente en la zona norte. Asimismo, comienza a apreciarse la presencia de cultivos de frutos secos en el municipio. También es notable la aparición

de dos parcelas de gran tamaño de uso “IM” (improductivo), que al consultar las ortofotografías aéreas pueden reconocerse como una plataforma de placas fotovoltaicas.

Entre los años 2016 a 2018 (3 años) la superficie de absorción, como se ha dicho, no crece cuantiosamente, por lo tanto, el secuestro total de CO<sub>2</sub> permanece casi constante. Se toman de la atmósfera 503.714 toneladas, con una media de 167.905 toneladas por año, lo que supera al intervalo temporal anterior. En cuanto al beneficio económico, los precios EUA se mantienen bajos durante 2016 y 2017 (con alrededor de los 5€/t CO<sub>2</sub>) y solo suben en 2018, por lo que se muestran tonos amarillos más claros en las parcelas que en el 2010-2015, es decir los beneficios por parcela son menores. La media posible a obtener de ganancia económica por año es de 1.514.652 €.

En 2019 la ocupación de la tierra para cultivo continúa ascendiendo significativamente hasta alcanzar un 27% (aumento del 6%). La extensión de cultivos de olivar y de cítricos permanecen aproximadamente igual, sin embargo, una porción del terreno no trabajado hasta el momento comienza a emplearse en mayor cantidad para el cultivo de frutos secos, convirtiéndose este en el segundo cultivo principal en Écija.

La implantación de los frutos secos como cosecha, especies con alta capacidad de absorción de carbono atmosférico, se muestra como una aportación importante a los sumideros de Écija. Las toneladas de CO<sub>2</sub> absorbidas aumentan a 215.176 por año desde 2019 hasta 2022, con un total de 860.704 toneladas secuestradas. La gran cantidad de toneladas absorbidas, junto con los precios en incremento de EUA, producen el comienzo de la aparición de parcelas naranja intenso, en las que se mantienen beneficios de más de 20.000 €. La media de ganancia entre 2019 y 2022 (4 años) da un brusco salto para conseguir llegar a casi los 10 millones de euros, alcanzando un total de casi 40 millones en todo el intervalo.

En la actualidad, hasta un total del 34% del territorio del municipio ecijano se dedica al cultivo. Desde 2019 ha aumentado ligeramente la superficie de olivar en la zona sureste, pero la expansión se observa como mucho más notoria en los cultivos de frutos secos, que siguen tomando terrenos marcados en años anteriores como tierras arables, es decir, no utilizadas, alrededor de todo el mapa.

Al continuar el crecimiento de la superficie cultivada, así como la utilización de especies con alta tasa de absorción como son los frutos secos y el olivar, el territorio experimenta el mayor secuestro de CO<sub>2</sub> atmosférico desde 2005. En 2023 las toneladas de CO<sub>2</sub>

absorbidas rozan casi las 275.000, que supera las medias de absorción por año del resto de intervalos. En cuanto a los beneficios, se registra la EUA más alta, de 86,67€/t CO<sub>2</sub>, lo que se refleja en un mapa cubierto en gran medida de parcelas anaranjadas de altos ingresos. Cuando finalice el año, y solo en el año actual, se estima que el beneficio potencial habrá sido de más de 23,5 millones de euros.

## **5. CONCLUSIONES**

Observando los mapas y gráficos, podemos ver una tendencia a la utilización cada vez más frecuente de las parcelas no cultivadas y su modificación al uso en cultivo, que se estima continuará en el futuro. En particular, los frutos secos mostraron ganar en superficie con rapidez, y ocupan terrenos que antes no eran utilizados para cultivo. La resiliencia de estas especies y su adaptación a climas secos pueden hacer a estas especies un contendiente al olivar, cultivo principal en el municipio actualmente.

La evolución a sumidero es positiva, aumentando cada vez más la superficie de absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico mediante la utilización de parcelas previamente en desuso, lo que puede significar una mejora para el municipio tanto en el aspecto ecológico como en el económico al aumentar su fuerza en el sector agrícola.

## **6. PROPUESTAS FINALES**

Las propuestas de investigación se basan en la existencia de una serie de opciones que se ofrecen para poder obtener cifras más precisas en todos los cálculos hechos. Las propuestas de investigación o corrección del estudio, se basarían primariamente en la fomentación del estudio de los cultivos principales (olivar, frutos secos y cítricos) para conseguir valores más exactos adecuados a la localización exacta del estudio en cuanto a aspectos como la tasa de absorción, teniendo en cuenta técnicas locales o formas de cultivo predominantes en Écija, como cultivo tradicional o cultivo intensivo.

Asimismo, sería de conveniencia estudiar algunos de los usos SIGPAC descartados a principios del desarrollo del estudio. En especial el uso “AG”, referido para masas de agua, sería de interés, ya que en casos se ha demostrado que el agua tiene cierta capacidad de secuestro de carbono. Esta capacidad, sumada a la gran superficie que toma el agua en el territorio, podría acrecentar en gran medida las toneladas totales de CO<sub>2</sub> calculadas, dando una imagen más precisa del estado de Écija como sumidero.

Se propone también la corrección de los usos asignados en las capas vectoriales SIGPAC para correlacionarse con las ortofotografías aéreas. En un estudio comparativo de estos usos para parcelas de diferentes tamaños (Anexo IV) se obtiene que, eligiendo las parcelas de forma aleatoria, solo un 83% de media coinciden en el uso SIGPAC mostrado en la tabla de atributos con el uso real mostrado en la ortofotografía. Se recomienda la revisión de las tablas de atributos y si fuera necesario su parcial modificación, de forma que los resultados para futuros estudios aumenten en su precisión.

En último lugar, como propuestas de desarrollo, se mostraría de utilidad la reforestación de parcelas que no puedan utilizarse para cultivo, plantando especies vegetales (recomendables especies arbóreas) autóctonas que puedan proliferar sin necesidad de mantener un cuidado continuo de la zona, ya que continuarían expandiéndose a un coste nulo y aumentando la absorción total de CO<sub>2</sub>. Otras ideas razonan la posibilidad de plantación de especies arbustivas en bordes de carreteras u otros viales, que ofrecerían los mismos beneficios que la reforestación antes mencionada, mientras que se hace uso de terreno que de otra manera quedaría improductivo e inutilizable.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Web del Instituto de Estadística y Cartografía de la Junta de Andalucía. Andalucía pueblo a pueblo - Fichas Municipales (Écija).

Web del Instituto de Estadística y Cartografía de la Junta de Andalucía. Descarga de información geográfica SIGPAC.

Web de la Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul de la Junta de Andalucía. Portal de descargas REDIAM.

Allard, V., Ourcival, M., Rambal, S., Joffre, R., & Rocheteau, A. (2008). Seasonal and annual variation of carbon exchange in an evergreen Mediterranean forest in southern France. *Global Change Biology*, 714-725.

Allard, V., Ourcival, M., Rambal, S., Joffre, R., & Rocheteau, A. (2008). Seasonal and annual variation of carbon exchange in an evergreen Mediterranean forest in southern France. *Global Change Biology*, 714-725.

Carvajal, M. (2023). Investigación sobre la absorción de CO<sub>2</sub> por los cultivos más representativos.

Departamento de Prospectiva de la Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA), Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla. (2012). Estimación de la función sumidero de las nuevas plantaciones de olivar en Andalucía: 1990-2011.

Evrendilek, F., Berberoglu, S., Taskinsu-Meydan, S., & Yilmaz, E. (2006). Quantifying Carbon Budgets Of Conifer Mediterranean Forest Ecosystems, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 527-543.

Funes, I., Molowny-Horas, R., Savé, R., De Herralde, F., Aranda, X., & Vayreda, J. (2022). Carbon stocks and changes in biomass of Mediterranean woody crops over a six-year period in NE Spain. *Agronomy for Sustainable Development* (98).

Gordon, A., Naresh, R., & Thevathasan, V. (2005). How much carbon can be stored in Canadian agroecosystems using a silvopastoral approach? CABI International.

Gratani, L., Catoni, R., & Varone, L. (2011). *Quercus ilex* L. carbon sequestration capability related to shrub size. *Environment Monitoring & Assessment*, 178, 383-392.

Gratani, L., Varone, L., Ricotta, C., & Catoni, R. (2013). Mediterranean shrublands carbon sequestration: environmental and economic benefits. *Environmental Monitoring and Assessment*, 18, 1167-1182.

Grünzweig, J., Gelfand, I., Fried, Y., & Yakir, D. (2007). Biogeochemical factors contributing to enhanced carbon storage following afforestation of a semi-arid shrubland. *Biogeosciences*, 4, 891-904.

Grünzweig, J., Lin, T., Rotenberg, E., Schwartz, A., & Yakir, D. (2003). Carbon sequestration in arid-land forest. *Global Change Biology*, 791-799.

Iglesias, D., Quiñones, A., Font, A., Martínez-Alcántara, B., Forner-Giner, M., Legaz, F., & Primo-Millo, E. (2013). Carbon balance of citrus plantations in Eastern Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 103-111.

Järvi, L., Nordbo, A., Junninen, H., Riikonen, A., Moilanen, J., Nikinmaa, E., & Vesala, T. (2012). Seasonal and annual variation of carbon dioxide surface fluxes in Helsinki, Finland, in 2006–2010. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8475–8489.

- Jia, X., Zha, T., Wu, B., Zhang, Y., Gong, J., Qin, S., . . . Peltola, H. (2014). Biophysical controls on net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange over a semiarid shrubland in northwest China. *Biogeosciences*, 4679-4693.
- Jones, M. (2010). Potential for carbon sequestration in temperate grassland soils. *Integrated Crop Management*, 11.
- Keenan, T.F., & Williams, C.A. (2018). The Terrestrial Carbon Sink. *Annual Review of Environment and Resources*, 43, 219-243.
- Kumar, R., Goswami, G., Debnath, D., Sinha, A., & Das, D. (2022). Screening and evaluation of novel microalga *Desmodesmus pannonicus* CT01 for CO<sub>2</sub> sequestration potential and aqua feed application. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
- Lindsey, R., & Dahlman, L. (18 de enero de 2023). Climate Change: Global Temperature. Obtenido de Climate.gov: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>
- López-Bellido, P. (2017). Balance y huella de carbono en plantaciones de olivar en el sur de España.
- Maraskolhe, V., Warghat, A., Charan, G., & Nandkar, P. (2012). Carbon sequestration potential of *Scenedesmus* species (Microalgae) under the fresh water ecosystem. *African Journal of Agricultural Research*, 2818-2823.
- Marras, S., Masia, S., Duce, P., Spano, D., & Sirca, C. (2015). Carbon footprint assessment on a mature vineyard. *Agricultural and Forest Meteorology*, 350-356.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (s.f.). Sumideros de carbono. Obtenido de MITECO: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/sumideros-de-carbono.html>
- Montanaro, G., Xiloyannis, C., Nuzzo, V., & Dichio, B. (2017). Orchard management, soil organic carbon and ecosystem services in Mediterranean fruit tree crops. *Scientia Horticulturae*, 92-101.
- Munay Abdulqadir, A., Hishamuddin, O., Mohammad Noor Amal, A., & Ahmad, I. (2016). Water quality, primary productivity and carbon capture potential of microalgae in two urban manmade lakes, Selangor, Malaysia. *Advances in Environmental Biology*, 10-22.

- Navarro, R., & Blanco, P. (2006). Estimation of above-ground biomass in shrubland ecosystems of southern Spain. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 15, 197-207.
- Nemitz, E., Hargreaves, K., McDonald, A. G., Dorsey, J. R., & Fowler, D. (2002). Micrometeorological Measurements of the Urban Heat Budget and CO<sub>2</sub> Emissions on a City Scale. *Environmental Science and Technology*, 36, 3139-3146.
- Pacchiarelli, A., Priori, S., Chiti, T., Silvestri, C., & Cristofori, V. (2022). Carbon sequestration of hazelnut orchards in central Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.
- Proietti, P., Sdringola, P., Brunori, A., Ilarioni, L., Nasini, L., Regni, L., . . . Proietti, S. (2016). Assessment of carbon balance in intensive and extensive tree cultivation systems for oak, olive, poplar and walnut plantation. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2613-2624.
- Proietti, S., Sdringola, P., Desideri, U., Zepparelli, F., Brunori, A., Ilarioni, L., . . . Proietti, P. (2014). Carbon footprint of an olive tree grove. *Applied Energy*, 127, 115-124.
- Ramaraj, R., Dah-Wei, D., & Honglay Chen, P. (2014). Freshwater microalgae niche of air carbon dioxide mitigation. *Ecological Engineering*, 47-52.
- Serrano-Ortiz, P., Domingo, F., Cazorla, A., Were, A., Cuezva, S., Villagarcía, L., . . . Kowalski, A. (2009). Interannual CO<sub>2</sub> exchange of a sparse Mediterranean shrubland on a carbonaceous substrate. *Journal of Geophysical Research*, 114.
- Shabani, M., Sayadi, M., & Rezaci, M. (2016). CO<sub>2</sub> bio-sequestration by *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* in response to different levels of salinity and CO<sub>2</sub>. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 53-61.
- Soegaard, H., & Møller-Jensen, L. (2003). Towards a spatial CO<sub>2</sub> budget of a metropolitan region based on textural image classification and flux measurements. *Remote Sensing of Environment*, 283-294.
- Soussana, J., Tallec, T., & Blanfort, V. (2009). Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal*, 334-350.

Ueyama, M., & Ando, T. (2016). Diurnal, weekly, seasonal, and spatial variabilities in carbon dioxide flux in different urban landscapes in Sakai, Japan. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 14727-14740.

Velasco, E., Pressley, S., Allwine, E., Westberg, H., & Lamb, B. (2005). Measurements of CO<sub>2</sub> fluxes from the Mexico City urban landscape. *Atmospheric Environment*, 39, 7433-7446.

Visconti, F., & de Paz, J. (2017). Estimación de la capacidad potencial de secuestro y emisión de CO<sub>2</sub> de los suelos agrícolas de la Comunidad Valenciana. *Ecosistemas*, 91-100.

Ward, H., Evans, J., & Grimmond, C. (2013). Multi-season eddy covariance observations of energy, water and carbon fluxes over a suburban area in Swindon, UK. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4645–4666.

Wotherspoon, A., Thevathasan, N. V., Gordon, A., & Voroney, R. (2014). Carbon sequestration potential of five tree species in a 25-year-old temperate tree-based intercropping system in southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems*, 631-643.

## **ANEXOS**

Por orden:

ANEXO I. Tabla de datos general.

ANEXO II. Tablas de cálculos y fuentes (por uso).

ANEXO III. Tabla de datos de metodología Junta de Andalucía.

ANEXO IV. Comparativa entre usos en capa vectorial y ortofotografías.

ANEXO V. Cronograma.

ANEXO VI. Factura del estudio.

ANEXO VII. Cálculos factura.

Tabla de datos general (variables por cada uso de SIGPAC)

Uso	Significado	Información	Tasa absorción (tCO2/ha/año)	ha 2005	ha 2010	ha 2016	ha 2019	ha 2023	tCO2 2005	tCO2 2010	tCO2 2016	tCO2 2019	tCO2 2023	CULTIVO PPAL.
AG	Agua	Tabla AG	13,48	1.387	1.354	1.436	1.402	1.391	18.702	18.257	19.356	18.899	18.749	
CA	Viales			1.184	1.193	1.171	1.171	1.178						
CF	Cítricos - frutales	Suponemos 50% de cada tipo de cultivo	7,14		2	1	1	1		12	11	8	9	
CI	Cítricos	Tabla CI	7,91		334	341	386	399		2.643	2.702	3.058	3.158	3º CI
CS	Cítricos - frutos secos	Suponemos 50% de cada tipo de cultivo	8,09				0,068							
ED	Edificaciones			6	11	5	6	6						
EP	Elem. Paisaje						5	5						
FL	Frutos secos y olivar	Suponemos 50% de cada tipo de cultivo	8,23		0,08	0,08	0,08	0,08		0,66	0,65	0,65	0,65	
FO	Forestal	Tabla FO	7,82	122	122	108	108	105	952	950	842	845	819	
FS	Frutos secos	Tabla FS	8,26		48	239	1.510	4.311		398	1.970	12.471	35.595	2º FS
FV	Frutos secos - viñedo	Suponemos 50% de cada tipo de cultivo	6,89			0,05	0,05	0,05			0,33	0,33	0,33	
FY	Frutales	Tabla FY	6,37	692	264	193	167	104	4.411	1.684	1.228	1.062	665	
IM	Improductivos			1.501	1.446	2.087	2.159	2.211						
IV	Invernaderos				0,77	14	19	35						
OC	Olivar – cítricos	Suponemos 50% de cada tipo de cultivo	8,06		0,84	1,55	1,52	1,55		7	12	12	12	
OF	Olivar – frutal	Suponemos 50% de cada tipo de cultivo	7,29		0,58	0,61	0,60	0,67		4	4	4	5	
OV	Olivar	Tabla OV	8,20	7.728	17.300	19.305	23.791	28.071	63.368	141.864	158.303	195.092	230.189	1º OV
PA	Pasto con arbolado	Suponemos un 85% pastizal y 15% árboles (FO)	7,02	8	26	42	48	45	56	180	292	339	319	
PR	Pasto arbustivo	Tabla PR	5,44	502	352	343	299	338	2.729	1.914	1.864	1.626	1.837	
PS	Pastizal	Tabla PS	6,88	27	46	59	65	66	182	318	403	447	452	
TA	Tierras arables			83.836	74.552	71.675	65.891	58.765						
TH	Huerta	Tabla general pág.6 (huerta semárido = 16,6-14,7 t C/ha)	6,97	92	45	41	31	29	642	314	289	214	201	
VI	Viñedo	Tabla VI	5,53					0,096					0,53	
ZU	Zona urbana			635	622	671	671	671						
<b>TOTAL</b>				<b>97.719</b>	<b>97.719</b>	<b>97.732</b>	<b>97.732</b>	<b>97.733</b>	<b>72.339</b>	<b>150.289</b>	<b>167.922</b>	<b>215.181</b>	<b>273.263</b>	

NOTA: Para las fuentes en las que se posee solo la masa de C, se utiliza el factor de conversión 3,67. Procede de la proporción entre la masa molecular del CO2 (44 g/mol) y la masa atómica del carbono (12 g/mol) (44/12=3,67).  
**En resumen, por cada 1 t C acumulada en cultivos, habrá 3,67 t CO2 secuestrado.**

Como puede observarse, los porcentajes nos dicen en qué cultivos tenemos que centrarnos especialmente, ya que son aquellos de mayor peso. En este caso los que tienen el mayor peso será en este orden: 1º los olivares, 2º los frutos secos y 3º los cítricos.

Uso	% ha 2005	% ha 2010	% ha 2016	% ha 2019	% ha 2023	% de tCO2 2005	% de tCO2 2010	% de tCO2 2016	% de tCO2 2019	% de tCO2 2023
AG										
CA										
CF	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%
CI	<b>0,00%</b>	<b>0,34%</b>	<b>0,35%</b>	<b>0,40%</b>	<b>0,41%</b>	<b>0,00%</b>	<b>1,76%</b>	<b>1,61%</b>	<b>1,42%</b>	<b>1,16%</b>
CS	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ED										
EP										
FL	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FO	0,12%	0,12%	0,11%	0,11%	0,11%	1,32%	0,63%	0,50%	0,39%	0,30%
FS	<b>0,00%</b>	<b>0,05%</b>	<b>0,24%</b>	<b>1,55%</b>	<b>4,41%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,26%</b>	<b>1,17%</b>	<b>5,80%</b>	<b>13,03%</b>
FV	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
FY	<b>0,71%</b>	<b>0,27%</b>	<b>0,20%</b>	<b>0,17%</b>	<b>0,11%</b>	<b>6,10%</b>	<b>1,12%</b>	<b>0,73%</b>	<b>0,49%</b>	<b>0,24%</b>
IM										
IV										
OC	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%
OF	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
OV	<b>7,91%</b>	<b>17,70%</b>	<b>19,75%</b>	<b>24,34%</b>	<b>28,72%</b>	<b>87,60%</b>	<b>94,39%</b>	<b>94,27%</b>	<b>90,66%</b>	<b>84,24%</b>
PA	0,01%	0,03%	0,04%	0,05%	0,05%	0,08%	0,12%	0,17%	0,16%	0,12%
PR	0,51%	0,36%	0,35%	0,31%	0,35%	3,77%	1,27%	1,11%	0,76%	0,67%
PS	0,03%	0,05%	0,06%	0,07%	0,07%	0,25%	0,21%	0,24%	0,21%	0,17%
TA										
TH	0,09%	0,05%	0,04%	0,03%	0,03%	0,89%	0,21%	0,17%	0,10%	0,07%
VI	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ZU										
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Superficie cultivos 2023	33.471	32.918
% Superf. Cultivos 2023	34%	34%
Superficie cultivos 2019	26.409	25.888
% Superf. Cultivos 2019	27%	26%
Superficie cultivos 2016	20.673	20.122
% Superf. Cultivos 2016	21%	21%
Superficie cultivos 2010	18.540	17.994
% Superf. Cultivos 2010	19%	18%
Superficie cultivos 2005	9.170	8.512
% Superf. Cultivos 2005	9%	9%

## Cálculos y fuentes para AG

Fuente	Clima / ámbito	Información	tCO <sub>2</sub> /ha/año	tCO <sub>2</sub> /ha/año estim.	Autor
1	Tailandia (tropical)	175 mgCO <sub>2</sub> /L/día máx. para microalgas agua dulce (varias especies)	1278	12,78	(Ramaraj, Dah-Wei, & Honglay Chen, 2014)
2	India (tropical)	1,440 gCO <sub>2</sub> /L/día en microalgas (general) cuando expuestas a luz continua	5256		(Maraskolhe et al., 2012)
3	Irán (árido/semiárido)	0,49 gCO <sub>2</sub> /L/día en <i>Spirulina platensis</i> y 0,152 g/L/día en <i>Chlorella vulgaris</i>	3577		(Shabani, Sayadi, & Rezaci, 2016)
4	Irán (árido/semiárido)	0,49 gCO <sub>2</sub> /L/día en <i>Spirulina platensis</i> y 0,152 g/L/día en <i>Chlorella vulgaris</i>	1110	11,10	(Shabani, Sayadi, & Rezaci, 2016)
5	Desconocido	159,91 mgCO <sub>2</sub> /L/día máx. para <i>Desmodosmus pannonicus</i>	1167	11,67	(Kumar et al., 2022)
6	Malasia (tropical)	0,57 mgC/L/hora mín. y 2,86 mgC/L/hora de máx. (muestra con varias especies)	367		(Munay Abdulqadir et al., 2016)
7	Malasia (tropical)	0,57 mgC/L/hora mín. y 2,86 mgC/L/hora de máx. (muestra con varias especies)	1839	18,39	(Munay Abdulqadir et al., 2016)

Para los cálculos se tienen unidades de volumen (no área).  
 Para obtener unidades en área se toma una profundidad media de **2 m** de la masa de agua. Estos 2 m son una estimación que resulta de la observación de la profundidad media de otros ríos pequeños (que constituyen mayor % del área en AG).  
**m<sup>2</sup> = m<sup>3</sup>/m**

La media de secuestro de CO<sub>2</sub> se reducirá al 1% ya que en los artículos se hacen los cálculos en base a una densidad mucho más alta (de las muestras) a las que encontramos de forma natural en las aguas dulces.

**1 L --> 0,001 m<sup>3</sup>**  
**0,001 m<sup>3</sup> con altura 2 m --> 0,0005 m<sup>2</sup>**

MEDIA SEQUESTRO	MEDIA SEC. ESTIMADA
2085	13,48

Datos normales		Datos estimados		INTERV. CONFIANZA	INTERV. CONFIANZA EST.
Media:	2085		13,48	<b>1273,8</b>	<b>2,93</b>
Desv:	1719,53		3,34	<b>Valor máx</b>	<b>Valor máx</b>
Conf:	95%		95%	3358,5	16,41
Tam:	7		5	<b>Valor mín</b>	<b>Valor mín</b>
z:	1,96		1,96	810,9	10,55
alfa:	5%		5%	61%	22%

## Discusión de valor medio tomado

Todas las fuentes pertenecen a climas tropicales, clima completamente distinto al clima mediterráneo, de forma que la posible variación del secuestro medio en la localización de nuestro estudio puede variar en gran medida. Por ello el resultado obtenido no es concluyente al utilizar todos los valores. Vemos que existe una tendencia en 4 de los 7 valores al intervalo entre 11 y 18; por lo que se toman esas fuentes para la media. El intervalo de confianza es menor en comparación al valor de la media anterior, por lo que se mantiene la nueva media, siendo finalmente **13,48 tCO<sub>2</sub>/ha/año**.

Igualmente, **para el proyecto no se tendrá en cuenta el agua por el propio motivo de que el resultado sea no concluyente**.

### CONCLUSIÓN

Se considera la media de (1), (4), (5) y (7) con un porcentaje de minoración del 99,5% por efecto de diferencias de densidad de microalgas entre muestras de laboratorio y aguas naturales.

## Cálculos y fuentes para CI

Fuente	Clima / ámbito	Información	t CO <sub>2</sub> /ha/año	Valores usados	Autor
1	Comunidad Valenciana	Capac. Pot. Sec. 11,3 t C/ha/año y capac. Pot. Emis. 10,3 t C/ha/año	3,67	3,7	(Visconti & de Paz, 2017)
2	Moncada, Valencia	10 Mg C/ha/año	10,0	10,0	(Iglesias et al., 2013)
3	Murcia	8,3 (limonero); 5,6 (naranja) y 3,5 (mandarino) t CO <sub>2</sub> /ha/año	5,8	5,8	(Carvajal, 2023)
4	Cataluña	3,32 Mg C/ha/año	12,2	12,2	(Funes et al., 2022)

**MEDIA SECUESTRO**  
7,9

**INTERV. CONFIANZA**  
3,80  
**Valor máx**  
11,71  
**Valor mín**  
4,12  
48%

Datos normales	
Media:	7,91
Desv:	3,88
Conf:	95%
Tam:	4
z:	1,96
alfa:	5%

## Discusión de valor medio tomado

Todas las fuentes se centran en localidades españolas de forma que la diferencia con lo que sería el valor medio real en la localización (Écija) no es significativa (clima mediterráneo). Como valor final se escoge la media de todas las fuentes, que es **7,9 tCO<sub>2</sub>/ha/año**.

## CONCLUSIÓN

Se considera la media de todas las fuentes sin modificación porcentual.

## Cálculos y fuentes para FS

Fuente	Clima / ámbito	Información	tCO <sub>2</sub> /ha/año	Valores usados	Autor
1	Cataluña	2,25 Mg C/ha/año	8,26	8,26	(Funes et al., 2022)
2	Ontario, Canadá	0,8 t C/ha/año para nuez negra de C neto	2,94		(Wotherspoon et al., 2014)
3	Viterbo, Italia central	0,6 a 3,3 Mg C/ha durante los 3-5 primeros años	1,79		(Pacchiarelli et al., 2022)

Datos normales	
Media:	4,33
Desv:	3,45
Conf:	95%
Tam:	3
z:	1,960
alfa:	5%

<b>MEDIA SEQUESTRO</b>	<b>MEDIA ADEC.</b>
<b>4,33</b>	<b>8,26</b>

INTERV. CONFIANZA
<b>3,91</b>
<b>Valor máx</b>
8,23
<b>Valor mín</b>
0,42
90%

## Discusión del valor medio tomado

Se observa que los valores distan mucho entre sí, por lo que si se usaran todas las fuentes el resultado no sería tan preciso. Por ello se analizan las localizaciones, una de ellas es Canadá que tiene un clima completamente distinto al que se trata en el estudio, mientras que la otra es de Italia Central, que tiene un clima más subcontinental, por lo que no se mostrarán representativos de la localización estudiada. Por ello se utiliza como valor final con el valor perteneciente al lugar de estudio más próximo y con clima más parecido a Écija, teniendo así **8,26 tCO<sub>2</sub>/ha/año**.

## CONCLUSIÓN

Se considera (1), por efecto de similitud climática y geográfica a nuestro lugar de estudio.

## Cálculos y fuentes para FO

Fuente	Clima / ámbito	Información	t CO2/ha/año	t CO2/ha/año estim.	Autor
1	Francia (mediterráneo)	Sumidero de 254 g C/m2/año	9,32	9,32	(Allard et al., 2008)
2	Sur de Israel (árido)	0,13-0,24 kg C/m2/año	6,79	6,79	(Grünzweig et al., 2003)
3	Turquía (mediterráneo)	Intervalo de 2,0 ± 1,1 Mg C/ha/año de secuestro medio	7,34	7,34	(Evrendilek et al., 2006)

**MEDIA SEQUESTRO**  
7,82

Datos normales	
Media:	7,82
Desv:	1,33
Conf:	95%
Tam:	3
z:	1,96
alfa:	5%

**INTERV. CONFIANZA**  
1,51  
**Valor máx**  
9,32  
**Valor mín**  
6,31  
19%

## Discusión del valor medio tomado

Los valores son medianamente parecidos y el intervalo de confianza es pequeño frente a la media de secuestro, de forma que es representativo, además de que los climas son similares al del lugar de estudio. Es por ello que se toma la media obtenida de todos los valores, de **7,82 tCO2/ha/año**.

## CONCLUSIÓN

Se considera la media de todas las fuentes, sin modificación porcentual.

## Cálculos y fuentes para FY

Fuente	Clima / ámbito	Información	t CO2/ha/año	Valores usados	Autor
1	Comunidad Valenciana	Capac. Pot. Sec. 16,5 t C/ha/año y capac. Pot. Emis. 14,8 t C/ha/año	6,24	6,2	(Visconti & de Paz, 2017)
2	Murcia	4,7 (albaricoquero); 6,3 (ciruelo); 7,7 (melocotonero); 7 (nectarina) t C/ha/año	6,43	6,4	(Carvajal, 2023)
3	Cataluña	1,68 a 1,84 Mg C/ha/año	6,46	6,5	(Funes et al., 2022)
4	Italia (mediterráneo)	380 (manzana); 475-320 (melocotón) g C/m2/año	14,37		(Montanaro et al., 2017)

MEDIA SECUESTRO	MEDIA ADECUADA
8,37	6,37

Datos normales	Datos estimados		INTERV. CONFIANZA	INTERV. CONF. ADEC.
Media:	8,37	6,37	3,92	0,13
Desv:	4,00	0,12	Valor máx	Valor máx
Conf:	95%	95%	12,30	6,51
Tam:	4	3	Valor mín	Valor mín
z:	1,96	1,96	4,45	6,24
alfa:	5%	5%	47%	2%

## Discusión de valor medio tomado

Todas las fuentes presentan clima mediterráneo, pero la última pertenece a un estudio en Italia por lo tanto se encuentran más diferencias respecto a nuestra localización. Todas las fuentes españolas se asemejan en gran medida y distan de la fuente 4, por lo que solo se tomará la media de las tres primeras. Es por ello que se usan solo estos 3 valores (fuente 1, 2 y 3) para sacar otra media más adecuada, de la cual se obtiene un intervalo de confianza muy pequeño que sugiere una gran fiabilidad. El valor medio tomado será el de esta media, siendo **6,37 t CO2/m2/año**.

## CONCLUSIÓN

Se considera la media de (1), (2) y (3) sin modificación porcentual.

## Cálculos y fuentes para OV

Fuente	Clima / ámbito	Información	tCO <sub>2</sub> /ha/año	Valores usados	Autor
1	Cataluña	0,38 Mg C/ha/año	1,39		(Funes et al., 2022)
2	Italia	11,756 t CO <sub>2</sub> /ha/año	11,76	11,76	(Proietti et al., 2016)
3	Comunidad Valenciana	Capac. Pot. Sec. 14 t C/ha/año y capac. Pot. Emis. 12,5 t C/ha/año	5,51	5,51	(Visconti & de Paz, 2017)
4	Andalucía	2,05 y 4,10 t C/ha/año de promedio en las parcelas estudiadas	11,29	11,29	(López-Bellido, 2017)
5	Andalucía	7 t CO <sub>2</sub> /ha/año para olivos de 15 años	7,0	7,0	(Agapa, Junta de Andalucía, 2012)
6	Italia Central	Secuestro de mín 0,67 a 19,07 t CO <sub>2</sub> /ha a lo largo de 10 años	5,46	5,46	(Proietti et al., 2014)

<b>MEDIA SECUESTRO</b>	<b>MEDIA ADECUADA</b>
<b>7,07</b>	<b>8,20</b>

	Datos normales	Datos estimados	INTERV. CONFIANZA	INTERV. CONF. ADEC.
<b>Media:</b>	7,07	8,20	<b>3,14</b>	<b>2,72</b>
<b>Desv:</b>	3,92	3,10	<b>Valor máx</b>	<b>Valor máx</b>
<b>Conf:</b>	95%	95%	10,21	10,92
<b>Tam:</b>	6	5	<b>Valor mín</b>	<b>Valor mín</b>
<b>z:</b>	1,96	1,96	3,93	5,48
<b>alfa:</b>	5%	5%	44%	<b>33%</b>

## Discusión del valor medio tomado

Los climas de todas las fuentes son mediterráneos de forma que no debería haber diferencias significativas entre ellos, aunque vemos que las fuentes, independientemente de donde sean (España o Italia) muestran valores distintos que se centran generalmente entre las 11 toneladas y las 5 toneladas, con un valor medio de 7 y otro mucho menor de 1,39 que será atípico y por lo tanto no se tendrá en cuenta.

De esta manera se toma la media obtenida de las fuentes de 2 a 6, que será suficientemente preciso como para aprobarlo como nuestro factor de absorción, que será entonces de **8,20 tCO<sub>2</sub>/ha/año**.

## CONCLUSIÓN

Se considera la media de (2), (3), (4), (5) y (6) por efecto de similitud climática y geográfica a nuestro lugar de estudio.

## Cálculos y fuentes para PR

Fuente	Clima / ámbito	Información	t CO2/ha/año	Valores usados	Autor
1	Noroeste China (árido/semiárido)	Sumidero con media de 77 g C/m2/año	2,83	2,83	(Jia et al., 2014)
2	Italia (mediterráneo)	0,20 ± 0,02 kg CO2/año/matorral pequeño (estimamos 2 matorrales/m2)	4,0	4,0	(Gratani, Catoni, & Varone, 2011)
3	Clima semiárido	Stock de C de 2380 a 5840 g C/m2 en 35 años	3,63	3,63	(Grünzweig et al., 2007)
4	Desierto Chihuahua (árido)	49 g C/m2/año de media	1,80	1,80	(Gratani et al., 2013)
5	Almería	2 ± 23 g C/m2/año de media	0,07		(Serrano-Ortiz et al., 2009)
6	Córdoba	Intervalos de 2,23 a 9,83 t CO2/ha/año	6,03	6,03	(Navarro & Blanco, 2006)

MEDIA SEQUESTRO	MEDIA ADECUADA
3,06	5,44

	Datos normales	Datos estimados	INTERV. CONFIANZA	INTERV. CONF. ADEC.
Media:	3,06	5,44	1,62	1,38
Desv:	2,03	1,57	Valor máx	Valor máx
Conf:	95%	95%	4,68	1,38
Tam:	6	5	Valor mín	Valor mín
z:	1,96	1,96	1,44	-1,38
alfa:	5%	5%	53%	25%

## Discusión del valor medio tomado

Las fuentes proporcionan valores que son relativamente parecidos (excepto fuente 4 y 5) aunque pertenecen a climas en ciertos casos muy diferentes (algunos áridos) y de lugares muy alejados. La cifra obtenida de todas las fuentes da un intervalo de confianza alto en comparación a la media por lo que tomar en cuenta todos los valores con el mismo peso daría una media no precisa. De esta forma, se confía más en la fuente 6 que es la única que poseemos de España con un valor parecido al resto de fuentes y así más representativa, a la que se le asigna un peso del 80%, mientras que al resto se le da un peso de 5% cada uno. La media final entonces es de **5,44 t CO2/ha/año**.

## CONCLUSIÓN

Se consideran todos los valores asignándoles un 5%, 5%, 5%, 5% y 80% (por orden de numeración), por efecto de similitud climática y geográfica a nuestro lugar de estudio.

## Cálculos y fuentes para PS

Fuente	Clima / ámbito	Información	t CO2/ha/año	Valores usados	Autor
1	Comunidad Valenciana	Capac. Pot. Sec. 19,4 t C/ha/año y capac. Pot. Emis. 17,5 t C/ha/año	6,97	6,97	(Visconti & de Paz, 2017)
2	Europa	22 ± 56 g C/m2/año	0,81		(Soussana, Tallec, & Blanfort, 2009)
3	Clima templado	67 g C/m2/año de acumulación C media	2,46		(Jones, 2010)
4	Lugo	9,9 (sistemas silvopastoriles) y 1,0 t CO2/ha/año (pasto de monocultivo)	6,79	6,79	(Gordon, Naresh, & Thevathasan, 2005)

MEDIA SECUESTRO	MEDIA ADECUADA
4,26	6,879

Datos normales		Datos estimados		INTERV. CONFIANZA	INTERV. CONF. ADEC.
Media:	4,26	6,88	3,04	0,18	
Desv:	3,10	0,13	Valor máx	Valor máx	
Conf:	95%	95%	7,30	7,06	
Tam:	4	2	Valor mín	Valor mín	
z:	1,96	1,96	1,21	6,69	
alfa:	5%	5%	71%	3%	

## Discusión de valor medio tomado

Las fuentes pertenecen tanto al clima mediterráneo (España) como a clima templado. En este caso, el que se asemeja al lugar del estudio propio es el mediterráneo. Esto, sumado al hecho de que los de clima templado y los mediterráneos rondan intervalos muy diferentes (entre 1-2 toneladas para el primero y 6-7 toneladas para el segundo), provoca que se escoja como valor final la media de las fuentes mediterráneas (1 y 4), de **6,88 t CO2/ha/año**.

## CONCLUSIÓN

Se considera (1) y (4), por efecto de similaridad climática y geográfica a nuestro lugar de estudio.

## Cálculos y fuentes para VI

Fuente	Clima / ámbito	Información	t CO2/ha/año	Valores usados	Autor
1	Cataluña	0,35 Mg C/ha/año	1,3		(Funes et al., 2022)
2	Comunidad Valenciana	Capac. Pot. Sec. 13,8 t C/ha/año y capac. Pot. Emis. 12,4 t C/ha/año	5,1	5,1	(Visconti & de Paz, 2017)
3	Italia (mediterráneo)	0,53 g C/m2/día de media	7,1	7,1	(Marras, Masia, Duce, Spano, & Sirca, 2015)

MEDIA SECUESTRO	MEDIA ADECUADA
4,51	5,53

	Datos normales	Datos estimados	INTERV. CONFIANZA	INTERV. CONF. ADEC.
Media:	4,51	5,53	3,35	1,92
Desv:	2,96	1,39	Valor máx	Valor máx
Conf:	95%	95%	7,86	7,45
Tam:	3	2	Valor mín	Valor mín
z:	1,96	1,96	1,16	3,61
alfa:	5%	5%	74%	35%

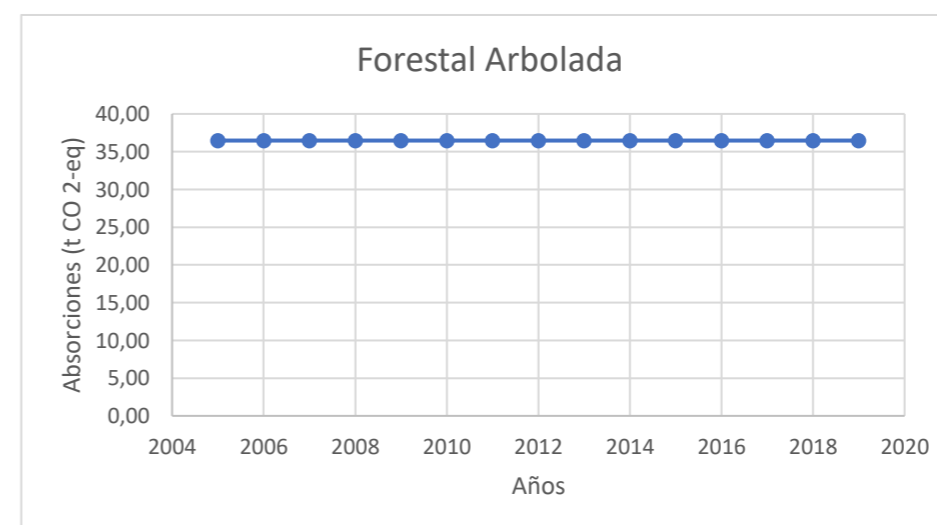
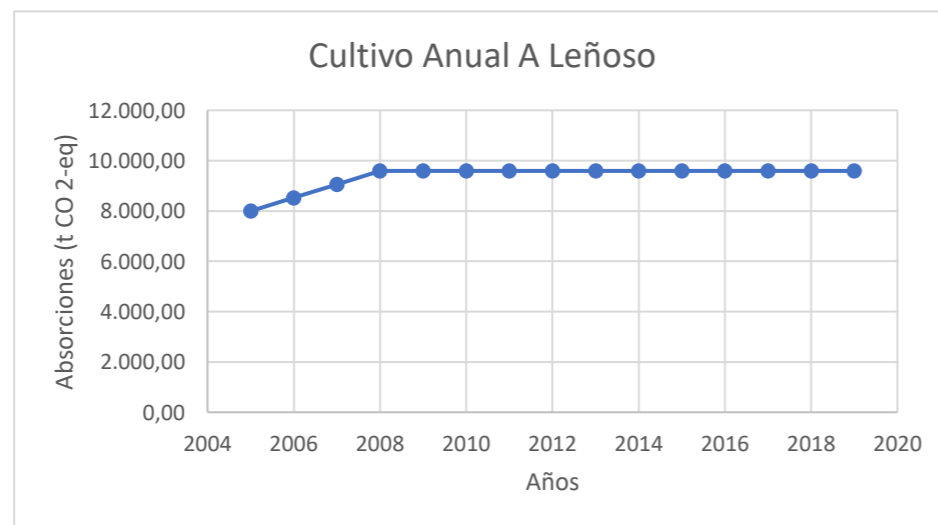
## Discusión del valor medio tomado

Las fuentes pertenecen a España e Italia, ambos de clima mediterráneo, por lo que serán climáticamente parecidos. Se observa que los valores distan entre sí, aunque especialmente la fuente 1 da un valor mucho más reducido que el resto, lo que hace que si se utilizan todos ellos el resultado no sea tan representativo. Para la media, se toman las dos últimas fuentes, concediendo un peso del 80% al valor de la fuente 2 (más parecida climáticamente) y de 20% a la 3. De esta forma, la media final que se usará será de **5,53 t CO2/ha/año**.

## CONCLUSIÓN

Se consideran (2) y (3) asignándoles unos pesos del 80% y 20% respectivamente, por efecto de similitud climática y geográfica a nuestro lugar de estudio.

Año	Población Ecija		TOTAL	PIB	TOTAL	Absorciones								
	Hombres	Mujeres				Emisiones (t CO 2-eq)	Absorciones (t CO 2-eq)	Agrícola A Forestal	Cultivo Anual A	Dehesa Espesa	Forestal Arbolada			
								erficie (hectáreas)	erficie (hectáreas)	erficie (hectáreas)	erficie (hectáreas)			
2005	19.148	19.763	38.911		326864,52	8.028,96	0,00	0,00	7.992,49	5.189,93	0,00	0,00	36,47	22,99
2006	19.361	19.934	39.295		311562,17	8.561,79	0,00	0,00	8.525,32	5.535,92	0,00	0,00	36,47	22,99
2007	19.462	20.048	39.510		339709,27	9.094,62	0,00	0,00	9.058,15	5.881,92	0,00	0,00	36,47	22,99
2008	19.769	20.374	40.143		314703,04	9.627,46	0,00	0,00	9.590,99	6.227,91	0,00	0,00	36,47	22,99
2009	19.901	20.499	40.400		286353,11	9.627,46	0,00	0,00	9.590,99	6.227,91	0,00	0,00	36,47	22,99
2010	19.996	20.538	40.534		267266,88	9.627,46	0,00	0,00	9.590,99	6.227,91	0,00	0,00	36,47	22,99
2011	20.066	20.652	40.718		266817,34	9.627,46	0,00	0,00	9.590,99	6.227,91	0,00	0,00	36,47	22,99
2012	20.071	20.612	40.683		267832,72	9.627,46	0,00	0,00	9.590,99	6.227,91	0,00	0,00	36,47	22,99
2013	20.169	20.711	40.880		238414,94	9.627,46	0,00	0,00	9.590,99	6.227,91	0,00	0,00	36,47	22,99
2014	20.025	20.609	40.634		242458,56	9.627,46	0,00	0,00	9.590,99	6.227,91	0,00	0,00	36,47	22,99
2015	19.864	20.456	40.320		262127,68	9.627,46	0,00	0,00	9.590,99	6.227,91	0,00	0,00	36,47	22,99
2016	19.819	20.451	40.270		256069,59	9.627,46	0,00	0,00	9.590,99	6.227,91	0,00	0,00	36,47	22,99
2017	19.740	20.347	40.087		282654,77	9.627,46	0,00	0,00	9.590,99	6.227,91	0,00	0,00	36,47	22,99
2018	19.662	20.220	39.882		285101,72	9.627,46	0,00	0,00	9.590,99	6.227,91	0,00	0,00	36,47	22,99
2019	19.707	20.166	39.873		243656,42	9.627,46	0,00	0,00	9.590,99	6.227,91	0,00	0,00	36,47	22,99
Ratio de eficiencia 2019-2005						-19,91%	#¡DIV/0!		-20,00%		#¡DIV/0!		0,00%	



## Comparativa entre usos en capa vectorial y ortofotografías

Número	Parcelas pequeñas (< 15 ha)			
	Código	Uso vect.	Uso ortof.	Coincidencia en uso
1	63132	TA	TA	Sí
2	3443	OV	OV	Sí
3	711028	FS	TA	No
4	16147	CI	CI	Sí
5	7392	OV	OV	Sí
6	102862	OV	OV	Sí
7	781393	OV	OV	Sí
8	2123	PR	PR	Sí
9	101331	OV	OV	Sí
10	28373	TA	TA	Sí

**Precisión: 90%**

**Precisión media: 83%**

Para ver las coincidencias del uso SIGPAC, se ha tenido en cuenta sólo el año 2019 (debido a que no se han realizado ortofotografías del año 2023 hasta la fecha).

Código	Parcelas medias (15 - 50 ha)		
	Uso vect.	Uso ortof.	Coincidencia en uso
76491	OV	OV	Sí
62153	TA	TA	Sí
28142	TA	(Parcialmente cult.)	No
5930913	FS	FS	Sí
72404	TA	TA	Sí
331124	TA	TA	Sí
74348	OV	OV	Sí
1411	TA	TA	Sí
17425	OV	OV	Sí
57184	TA	TA	Sí

**Precisión: 90%**

Código	Parcelas grandes (> 50 ha)		
	Uso vect.	Uso ortof.	Coincidencia en uso
41512	TA	TA	Sí
551722	OV	OV	Sí
722	TA	TA	Sí
4015	TA	(Parcialmente cult.)	No
41631	TA	(Parcialmente cult.)	No
65141	OV	OV	Sí
593101	FS	FS	Sí
45571	TA	(Parcialmente cult.)	No
5153	OV	OV	Sí
651025	OV	OV	Sí

**Precisión: 70%**



# Factura

Angélica Martín Gutiérrez  
Calle San Nicolás, Puerto Real, CP: 11510  
angelicamartingut@gmail.com  
91-1234-567

**FACTURA N°: 000001**

Fecha: 25 agosto 2023

## Datos cliente

Universidad de Cádiz  
Avenida República Árabe Saharaui s/n, Puerto Real, CP: 11510  
investigaciones@uca.es  
956-0237-738

Descripción / Producto	Cantidad	Base	IVA	Total
Estudio sumideros CO2 (Écija)	1	12.159,42 €	1.276,74 €	13.436,16 €

Base Imponible		13.436,16 €
IVA	21%	2.821,59 €
Retención	15%	1.823,91 €
<b>Total</b>		<b>14.433,84 €</b>

El pago se realizará en un plazo de tres meses desde la emisión de esta factura, se realizará mediante transferencia bancaria.

	Horas previstas	Angélica			Horas previstas	Consultores externos	
		Gabinete	Computación	Aprendizaje		Santiago	Iker
Horas totales	272,95	165	32,2	75,75	30,25	5,5	24,75
€/hora		20,00 €	7,50 €	0,00 €		-60,00 €	-50,00 €
€ totales	3.541,50 €	3.300,00 €	241,50 €	0,00 €	-1.567,50 €	-330,00 €	-1.237,50 €

Cálculos de factura	
Presupuesto de Ejecución Material (P.E.M)	5.109,00 €
Gastos generales (13%)	664,17 €
Beneficio Industrial (6%)	306,54 €
Presupuesto por contrata (PEC)	6.079,71 €
IVA (21%)	1.276,74 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>13.436,16 €</b>

PRESUPUESTO - IVA (21%)	12.159,42 €
IVA 21%	2.821,59 €
RETENCIÓN 15%	1.823,91 €
<b>TOTAL + IVA 21% - RETENCIÓN 15%</b>	<b>14.433,84 €</b>