

Febrero 2023

WORKING PAPER

**ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL NEXO
AGUA-ENERGÍA EN LA COMARCA
AXARQUÍA 1990-2030.**

**Autores: Enrique Tocados, Javier Martínez-Dalmau, y
Julio Berbel**

Este trabajo forma parte de los resultados de los proyectos:

*BONEX Boosting Nexus Framework Implementation in the
Mediterranean.* PRIMA Section1 project (Number 2141) [04/2022
/03/2025]

*GOVAQUA: Water governance, economic and financial sustainability of
water systems.* Horizon-EU-101086578[02/2023-01/2027]



ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL NEXO AGUA-ENERGÍA EN LA COMARCA AXARQUÍA 1990-2030.

Introducción.....	6
1. Caso de estudio. La Axarquía.....	7
1.1 <i>Fuerzas motoras de la transformación: Cambios demográficos y una agricultura tradicional poco rentable.</i>	7
1.2 <i>Estado de los recursos suelo y agua</i>	9
<i>Recursos de suelo</i>	9
<i>Recursos hídricos</i>	9
1.3 <i>Impacto sobre los recursos hídricos</i>	10
1.4 <i>Respuestas públicas.....</i>	10
<i>Impulso público de la concienciación ciudadana para reducir el uso del agua.....</i>	10
<i>Reconocimiento público de situaciones anómalas que aumentan el déficit.....</i>	11
<i>Fuentes alternativas de suministro de agua.....</i>	11
2. Materiales y Métodos.....	11
2.1 <i>Análisis de cultivos.....</i>	12
2.2 <i>Análisis de los recursos hídricos.....</i>	12
2.3 <i>Nexo Agua-Energía (WE).....</i>	13
a. <i>Sistema agrícola.....</i>	13
b. <i>Sistema urbano</i>	13
2.4 <i>Emisiones de CO₂/energía.....</i>	13
2.5 <i>Huella de Carbono (Balance CO₂eq).....</i>	14
3. Resultados	15
3.1 <i>Evolución de cultivos y necesidades hídricas</i>	15
3.2 <i>Nexo Agua-Energía (WE).....</i>	17
a. <i>Sistema agrícola.....</i>	18
b. <i>Sistema Urbano</i>	19
3.3 <i>Emisiones de Co₂/energía</i>	20
a. <i>Sistema agrícola:.....</i>	21
b. <i>Sistema urbano:.....</i>	22
3.4 <i>Balance de Carbono de los Cultivos Seleccionados</i>	23
4. Conclusiones	24
5. Referencias.....	25

ABREVIATURAS

WEF	Nexus Water, Energy and Food
WE	Nexus Water and Energy
DPSIR	Drivers, Pressures, State, Impact and Response
QGIS	Quantum Geographic Information System
INE	Instituto Nacional de Estadística
SIGPAC	Sistema de Información Geográfica por Parcelas Agrícolas
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
DHCMA	Demarcación Hidrográfica Cuencas Mediterráneas Andaluzas
DHCS	Demarcación Hidrográfica Cuencas del Sur
EDAR	Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales
FAO	Food and Agriculture Organisation
CNMC	Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia
GHG	Global Green House Gases
IPCC	Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
AAE	Agencia Andaluza de la Energía
EUREAU	European Federation of National Associations of Water Services
ETAP	Estaciones de Tratamiento de Agua Potable
ANR	Agua no Registrada
AEAS	Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento
AGA	Asociación Española de Empresas Gestoras de los Servicios de Agua Urbana
REE	Red Eléctrica de España
GEI	Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Evolución recursos y demandas de agua DHCMA	12
Tabla 2: Fuentes de información balance CO₂	14
Tabla 3: Evolución leñosos en la Axarquía 1999-2022. Datos CENSO, INE y SIGPAC	15
Tabla 4. Superficie cultivos leñosos y herbáceos Axarquía seco y riego.	16
Tabla 5: Estimación de necesidades de riego	17
Tabla 6. Datos cálculo de ecuación energía (Ejemplo 2030).....	18
Tabla 7. Nexos agua-energía media nacional (España)	19
Tabla 8. Balance CO₂ cultivos Axarquía.....	23
Tabla 9. Resumen global resultados variables Axarquía	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la Axarquía.	7
Figura 2. Incremento de superficie (base 2009) Herbáceos/Leñosos (ha).	8
Figura 3. Balates y terrazas de la Axarquía, cultivo subtropical	9
Figura 4. Situación paisajística actual de la Axarquía.	9
Figura 5. Evolución y estado actual Embalse - La Viñuela (dic.2022).	10
Figura 6. Esquema metodológico.	12
Figura 7. Consumo de energía final por sectores (Málaga). de los datos obtenidos de la AAE.	17
Figura 8. Energía utilizada en los recursos hídricos agrícolas (Axarquía).	18
Figura 9. Análisis nexo agua-energía en la Axarquía.	20
Figura 10. Evolución mix energía nivel autonómico.	21
Figura 11. Evolución emisiones CO₂ eq debido al consumo eléctrico sistema agrícola.	22
Figura 12. Evolución emisiones CO₂ eq debido al consumo eléctrico sistema urbano.	23

Introducción

La escasez de lluvias y el aumento de los cultivos de regadío es un problema que afecta a muchas regiones áridas y semiáridas del mundo, donde los recursos de agua disponible se ven superados para abastecer la demanda creciente en los distintos sectores (urbano, industrial y agrario). Para satisfacer el aumento de la demanda, la respuesta tradicional ha sido aumentar la oferta. Sin embargo, las medidas relacionadas con la oferta se ven limitadas cuando se alcanza la capacidad máxima de suministro de agua y las cuencas o acuíferos se definen como "cerrados" (Expósito & Berbel, 2019), Martín-Ortega et al., (2009). La inversión en tecnologías de ahorro y conservación del agua ha sido una respuesta común a la oferta limitada en las cuencas cerradas, al igual que el aumento del consumo de energía, ya que están estrechamente relacionados (Zaman et al., 2012). El nexo agua-energía-alimentos (WEF) ha aparecido recientemente como una línea de investigación prioritaria en entornos académicos e institucionales (Zhang et al., 2019), Berbel (1993). El nexo WEF implica varios conceptos (Huckleberry & Potts, 2019): (a) Agua-energía, que se refiere al consumo de energía para captar, almacenar, transportar y depurar agua, así como para el tratamiento de aguas residuales; (b) Energía-agua, que mide el uso de agua para la producción de energía termoeléctrica o hidroeléctrica; (c) Energía-alimentos, que mide el uso de energía para maquinaria y equipos para cultivos y la energía para el transporte de productos intermedios y finales; y finalmente (d) Agua-alimentos, como el agua necesaria para cultivar. Además, un quinto componente implica el análisis de la biomasa para la producción de energía. Este documento se centrará exclusivamente en el primer componente, es decir, el nexo agua-energía (WE) como subconjunto del marco global del WEF. La novedad de este estudio se basa en incluir la variable medioambiental dentro de esta componente, de forma que analizamos la huella de carbono mediante el balance de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) para observar el efecto que tiene, respecto al efecto derivado del nexo WE.

El caso de estudio seleccionado es la comarca de la Axarquía, situada en la costa oriental del sur de España, que cuenta con una intensa actividad agraria, y que se puede considerar como representativa de una zona árida/semiárida del entorno mediterráneo con necesidades de adaptación a la escasez de agua. Para ello, este estudio trata de caracterizar desde los puntos de vista agrario, económico e hidrológico el ámbito territorial de la Axarquía. El enfoque se centra en estudiar la trayectoria reciente en la explotación de los recursos hídricos describiendo de la forma más objetiva posible el sistema socio-hidrológico que lo define. Como esquema de análisis vamos a emplear la estructura que recomienda la Agencia Europea de Medio Ambiente denominado DPSIR (drivers, pressures, state, impact, and response model of intervention) que facilita el análisis de la gestión ambiental.

1. Caso de estudio. La Axarquía

La Axarquía (36°50'00"N 4°10'00"O) se encuentra en la comarca de Vélez-Málaga, Málaga, Sur de España (Figura 1). El distrito cuenta con 31 municipios con una superficie total de 1.023,51 km².

En toda la vega y la zona costera, las excepcionales condiciones climáticas hacen posible los cultivos subtropicales. Las temperaturas son suaves, tanto en invierno como en verano, oscilando entre una media anual de 9°C en las zonas más altas de la Sierra de la Almirajara y más de 17° en la zona de Vélez-Málaga y Torre del Mar. Las precipitaciones mínimas se localizan en la parte occidental de la comarca y alcanzan unos 400 mm, y las máximas (cerca de los 800 mm) en la Sierra de la Almirajara. La insolación anual se sitúa en torno a las 2.600 horas (Junta de Andalucía, 2006). El valor más bajo de humedad relativa se registra en julio (61,06 %) y el más alto en diciembre (77,65 %) (Climate-Data.Org, 2022).

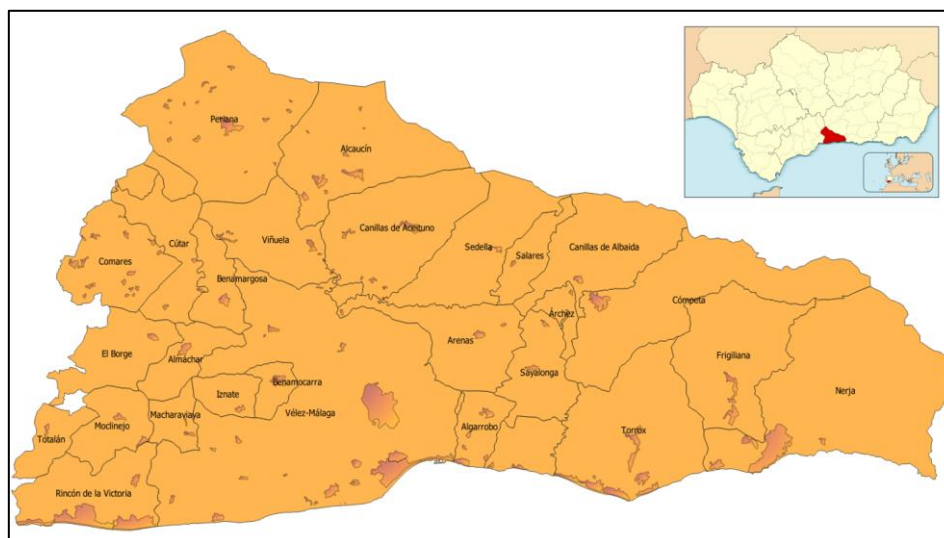


Figura 1. Mapa de la Axarquía. Fuente: Elaboración propia mediante sistema de información geográfica (QGIS).

1.1 Fuerzas motoras de la transformación: Cambios demográficos y una agricultura tradicional poco rentable.

En el esquema de análisis DPSIR (Kristensen, 2004), el primer paso consiste en identificar las fuerzas motrices de la transformación de la comarca que son según nuestro análisis el crecimiento poblacional y la falta de rentabilidad de la agricultura tradicional.

La provincia de Málaga se encuentra a la cabeza de España en crecimiento de población por segundo año consecutivo, rebasando los 1,7 millones habitantes. La Axarquía ha duplicado en los últimos 20 años su población de derecho, a lo que hay que añadir segundas residencias y turismo estacional. Los cinco núcleos más poblados de la Axarquía son los costeros, donde se encuentra el 84% de la población de la comarca. El término municipal más grande de la comarca es Vélez-Málaga, que cuenta con el 39% del total de la población en la comarca.

La falta de rentabilidad de la agricultura tradicional, y las expectativas de elevados rendimientos en el cultivo de nuevas especies frutales subtropicales han sido las dos fuerzas motoras impulsoras de la transformación del paisaje agrícola en la comarca. El incremento de superficie cultivada producido en el periodo 1998-2022 es de 15.000 ha (Instituto nacional de Estadística (INE) periodo 1998-2017- Sistema de Información Geográfica por Parcelas Agrícolas (SIGPAC) periodo 2018-2022) (Fig.2). Este incremento se ha debido fundamentalmente a la conversión de pastos y secanos en regadío. Una gran parte de los nuevos cultivos han sido cítricos y subtropicales, que han desplazado al cultivo tradicional de herbáceos. Según la prensa local¹ en 2016 la provincia de Málaga facturó por primera vez más de 200 millones en exportaciones de fruta subtropical.

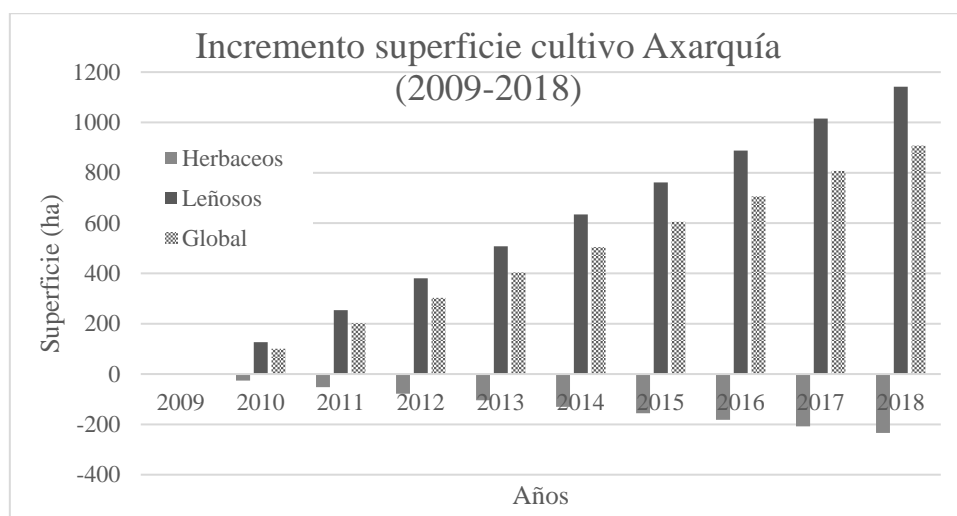


Figura 2. Incremento de superficie (base 2009) Herbáceos/Leñosos (ha) Axarquía. Fuente INE

Las plantaciones de cultivos subtropicales en la comarca (Axarquía) han aumentado un 214% de 4.161 ha según los datos extraídos del Censo agrario (1999) a 13.094 ha según datos SIGPAC (2022). Concretamente, Vélez-Málaga cuenta con el 66% de los cultivos subtropicales de la provincia. Frente al aumento de subtropicales, otros cultivos como los cítricos y frutales de hueso han sufrido una reducción del 50%, pasando de 548 ha (Censo agrario, 1999) a 274 ha (SIGPAC, 2022).

Junto a la intensificación agraria, el aumento de población es otro factor clave de transformación de la comarca. Según datos del INE, la población provincial (Málaga) se ha duplicado, mientras que, en algunos municipios de la comarca de Axarquía, como el Rincón de la Victoria, la población se ha multiplicado por siete en el mismo periodo. Esto ha provocado un urbanismo diseminado con un impacto territorial negativo y un aumento del consumo de agua para usos urbanos.

¹<https://www.laopiniondemalaga.es/malaga/2016/10/10/subtropical-malagueno-facture-doble-cine-28309959.html>

1.2 Estado de los recursos suelo y agua

Recursos de suelo

Los muros de piedra seca, denominados balates en la Axarquía fueron reconocidos en 2017 por la UNESCO como pertenecientes al patrimonio cultural inmaterial de la humanidad. Desde los años 70 en los que se abandonaron cultivos tradicionales y terrazas (Fig.3), estos han sido ocupados por viviendas diseminadas y cultivos de regadío (generalmente subtropicales) donde antes de la reconversión la mayoría estaban abandonados y mantenían herbáceos con muy baja productividad (Fig.4).

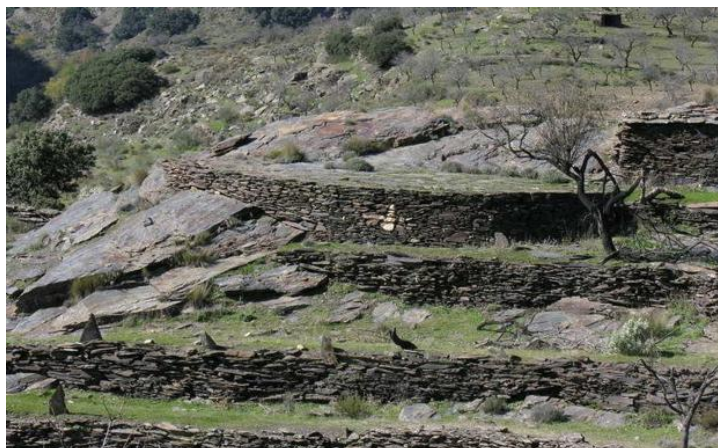


Figura 3. Balates y terrazas de la Axarquía tradicionales. Fuente: diariosur.es

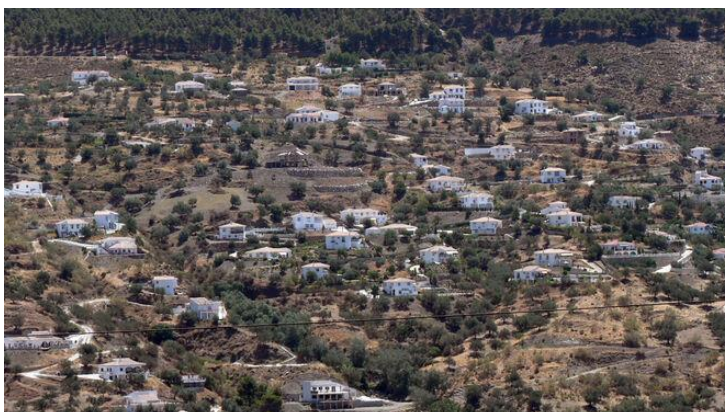


Figura 4. Urbanismo disperso en la Axarquía. Fuente: Málaga hoy.es

Recursos hídricos

La evolución de estas presiones ha ejercido un efecto negativo sobre los recursos hídricos hasta el punto de que la demanda supera la capacidad del sistema. Los recursos hídricos totales disponibles totalizan 92,55 hm³ según el Plan hidrológico 2021-2027 (DHCMA, 2021).

Desde el punto de vista natural, un alto porcentaje del área tiene una pendiente elevada que dificulta la explotación. Las cuencas hidrológicas son de poca entidad y, por tanto, los recursos disponibles y la capacidad de almacenamiento de agua es reducida, proliferando las balsas de almacenamiento privadas para paliar esta circunstancia. En la zona de la Axarquía solo hay un gran embalse situado en la Viñuela, con una capacidad de 165 hm³, los últimos años de sequía y el aumento de las necesidades hídricas en la comarca han provocado que el nivel de agua embalsada se encuentre

actualmente en mínimos históricos², con apenas un 9,7% del agua disponible (Figura 5. Evolución y estado actual Embalse - La Viñuela

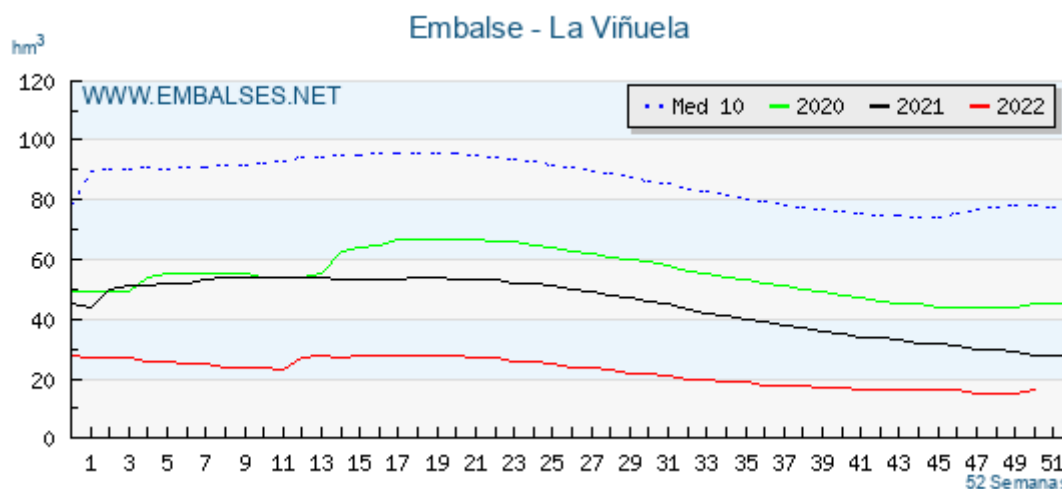


Figura 5. Evolución y estado actual Embalse - La Viñuela (dic.2022). Fuente: Embalses.net

1.3 Impacto sobre los recursos hídricos

En el contexto descrito de sequía hidrológica prolongada se están dando casos de agricultores que han tenido que eliminar el cultivo de aguacate debido a la escasez de agua. La prensa local recoge algunas noticias que reflejan esta situación³. En junio de 2022 “La Asociación de Tropicales advierte de que el panorama puede ser «catastrófico» si la Junta reduce este verano aún más la dotación para riego y no se producen precipitaciones en el inicio del otoño”, con reducciones en sus cosechas de hasta el 50%⁴.

1.4 Respuestas públicas

Ante esta situación, la Administración Pública está adoptando medidas con el fin de reducir este desequilibrio.

Impulso público de la concienciación ciudadana para reducir el uso del agua

En abril de 2022, “La Junta insta a 14 municipios de la Axarquía a reducir su «excesivo» consumo de agua⁵. “El delegado de Agricultura advierte a la empresa pública Axaragua que ya llevan gastado el 70% de lo asignado del embalse de La Viñuela hasta el 30 de septiembre”⁶. Ha sido

² <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2022-08-13/vida-y-muerte-de-un-pantano-andaluz-la-agricultura-el-turismo-y-la-falta-de-lluvias-secan-el-embalse-de-la-viñuela.html>

³ <https://www.diariosur.es/axarquia/-agricultor-velez-malaga-aguacates-sequia-20220617121221-nt.html#:~:text=A%20sus%2066%20a%C3%B1os%2C%20Francisco,la%20sequ%C3%ADa%20en%201a%20Axarqu%C3%ADa.>

⁴ <https://www.diariosur.es/economia/agroalimentacion/productores-aguacates-axarquia-preven-caida-cosecha-minima-proxima-cosecha-sequia-20220622230457-nt.html>

⁵ <https://www.diariosur.es/axarquia/junta-axarquia-consumo-excesivo-consumo-agua-20220407121617-nt.html>

⁶ <https://www.axarquiaplus.es/el-delegado-de-agricultura-pide-a-axaragua-que-equilibre-el-consumo-en-la-comarca-en-respuesta-al-esfuerzo-que-realizan-los-agricultores/>

necesario aprobar un trasvase extraordinario desde el sistema Málaga de 5 hm³ y abrir un nuevo sondeo para poder atender la demanda urbana de agua una vez agotadas las reservas existentes.

Reconocimiento público de situaciones anómalas que aumentan el déficit

La Junta de Andalucía reconocía en 2016 unas 10.200 hectáreas de terreno en regadío, de las que únicamente 5.200 están bajo la cota autorizada de 140 metros, por lo que 5.000 hectáreas necesitan una regularización⁷.

Fuentes alternativas de suministro de agua

En 2017 se proyectó la construcción de una estación de depuración con un volumen total de 20 hm³ en Vélez-Málaga, lo que aumentaría los recursos de la comarca alrededor de un 25%, actualmente en funcionamiento⁸. A principios de noviembre de 2021 la Junta de Andalucía firma un acuerdo para proceder a la ejecución de las obras de ampliación y mejora del tratamiento terciario de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR.) de Vélez-málaga, Torrox y Rincón de la Victoria⁹.

En mayo de 2022, se toman estas medidas:

- El Ayuntamiento de Málaga ha contratado un proyecto para enviar más agua a la Axarquía. La empresa EMASA adjudica la redacción del estudio básico para reutilizar para riego el volumen tratado en la depuradora del Peñón del Cuervo.
- El agua regenerada de la EDAR de Vélez-Málaga se entrega a la comunidad de regantes Guadiaro para regar 2.700 ha en la Axarquía¹⁰.

La Junta, la Mancomunidad Oriental y los regantes insisten en que una desaladora en la Axarquía es la solución a la escasez. El gobierno central y los ecologistas entienden que este proyecto sólo debe ponerse en marcha en casos de emergencia¹¹, mientras agricultores y entidades locales promueven esta solución¹².

2. Materiales y Métodos

El material básico de esta investigación es el de los datos oficiales publicados, aunque se han solventado lagunas de datos con ciertas estimaciones cuando la variable de interés no está directamente registrada. La metodología se describe en la figura 6 y muestra la fuente de datos y el proceso de estimación de las variables finales.

⁷ <https://www.laopiniondemalaga.es/axarquia/2016/10/13/agricultores-limitacion-subtropical-ahora-plantea-28307113.html>

⁸ http://www.axaragua.com/depuracion_de_agua_residual.html

⁹ <https://ws040.juntadeandalucia.es/webconsejos/cgobierno/transparencia/211103/documentos/4Expediente.pdf>

¹⁰ <https://www.diariosur.es/malaga-capital/malaga-agua-contrata-proyecto-sequia-riego-20220530161036-nt.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>

¹¹ <https://www.diariosur.es/axarquia/desaladora-axarquia-proyecto-viable-quimera-20220302225038-nt.html>

¹² <https://www.diariosur.es/malaga/inversores-desaladora-axarquia-interes-20221017151027-nt.html>

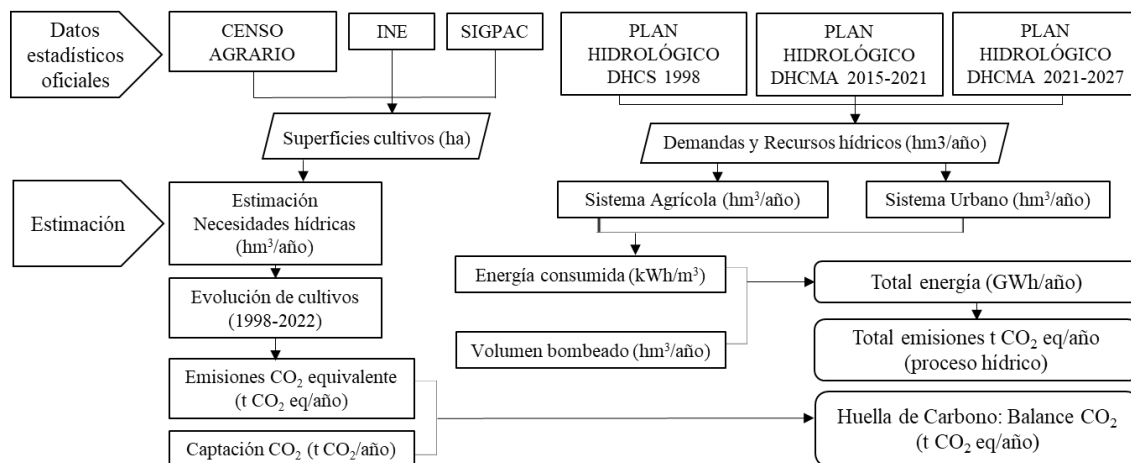


Figura 6. Esquema metodológico. Fuente: Elaboración propia

2.1 Análisis de cultivos

Se ha realizado un análisis de la superficie cultivada en la comarca que abarca el periodo 1999-2022. Para ello se han utilizado los datos del Censo Agrario (1999), del INE (2009) y del SIGPAC (2018 y 2022). El detalle de estos datos es por “Grupos de cultivos”: Cítricos y frutales hueso, frutales de clima templado, subtropicales, frutales de fruto seco, olivar, viñedo, viveros, otros cultivos leñosos, hortalizas y otros.

Para profundizar en el análisis de la situación actual, se ha realizado una consulta a la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, que nos ha remitido datos de superficies de los cultivos unitarios correspondiente al ejercicio 2021:

- Cultivos leñosos: Aguacate, castaño, limonero, mango, naranjo, níspero, olivar, almendro, viñedo y otros (<100 ha)
- Cultivos herbáceos: Alcachofa, calabaza y calabacín, judía verde, lechuga, patata, pepino, pimiento, tomate, avena, cebada, trigo, veza y otros (<100 ha)

2.2 Análisis de los recursos hídricos

El análisis hídrico se basa en la información extraída de los Planes Hidrológicos pertenecientes a las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (Tabla 1).

Tabla 1: Evolución recursos y demandas de agua DHCMA

Recursos (hm ³)	Superf.	Subter.	Reutil.	Desal / Travsv.	Total
1998	25	57	0	0	82
2015	45	39	0	0	85
2021	47	45	0	0	93
2030	50	39	13	25	102
Demanda (hm ³)	Urbana ⁽¹⁾	Regadío ⁽²⁾	Otras	Total	Déficit
1998	19	73	-	92	-10
2015	24	76	1	101	-16
2021	24	78	1	103	-11
2030	23	77	3	102	0

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de los Planes Hidrológicos (DHCMA, 2015, 2021; DHCS, 1998).

(1) El sector urbano incluye la demanda industrial; (2) Derechos concesionales reconocidos

Estos datos de DHCMA se han contrastado con las necesidades hídricas de la superficie cultivada estimada en el epígrafe 2.1. Para ello, se ha seguido la metodología de FAO-56 en el cálculo de las estimaciones de las necesidades de riego de los distintos cultivos, excepto para los frutales, en los que se ha seguido a Moldero et al. (2021) y Moreno-Ortega et al. (2019). Tanto el cálculo de las estimaciones de las necesidades de riego como los datos reflejados en la table 1 de recursos y derechos concesionales (demandas de agua) se basan en un ‘año pluviométrico medio’.

2.3 Nexo Agua-Energía (WE)

a. Sistema agrícola

Se calcula la energía total anual (GWh) que se produce en todo el proceso de suministro hídrico agrícola en la Axarquía. Nuestro cálculo está basado en la metodología propuesta por Espinosa-Tasón, Berbel et al. (2020). Según este estudio la energía consumida de riego depende del volumen bombeado, el sistema de riego, la eficiencia de la bomba y la fuente de combustible del motor (Ec. 1). Los datos de las variables y parámetros son extraídos del propio estudio, excepto para el volumen bombeado, donde utilizamos los recursos hídricos disponibles en nuestro caso de estudio (Axarquía) presentados en los Planes Hidrológicos 1998, 2015 y 2022.

$$\text{Energía (kWh)} = \frac{\text{Volumen (m}^3\text{)} * TH (m)}{367 * \mu_{bomba} * \mu_{motor}} \quad (1)$$

Donde TH es la suma de $Lift_{(m)} + H_{\min (m)} + f_{Losses (m)}$; $Lift_{(m)}$ (profundidad al agua subterránea); y $H_{\min (m)}$ la presión típica de trabajo de los diferentes sistemas (riego superficial = 0, aspersión = 3 bares y goteo = 1 bar). Normalmente se añade presión adicional en la cabeza de estos sistemas para garantizar la uniformidad, se suponen pérdidas de presión ($f_{Losses (m)}$) de alrededor del 20 % por fricción en el sistema de riego; μ_{bomba} es la eficiencia de la bomba para convertir la energía del motor en presión hidrodinámica y toma un valor de 0,8 con independencia de la fuente de alimentación utilizada, y μ_{motor} es la eficiencia del motor, que toma un valor de 0,4 para motores diésel, donde hay una gran pérdida de energía en forma de calor, y 0,9 para motores eléctricos, que son más eficientes.

b. Sistema urbano

La energía consumida en el abastecimiento urbano de agua se ha estimado mediante el producto de las demandas hídricas urbanas por el dato de la energía consumida por cada 1.000 litros de agua (kWh/m³).

Las demandas urbanas utilizadas en el análisis se han extraído de los Planes hidrológicos (DHCMA, 2015, 2021; DHCS, 1998).

El dato de la energía consumida por metro cubico de agua se ha obtenido de EurEau (2021). Este informe establece que el consumo de energía para la extracción, tratamiento y distribución de agua potable en España de 0.39 kWh/m³ y el consumo de energía para la recogida y el tratamiento de las aguas residuales de 0.55 kWh/m³ (0.07 kWh/m³ recogida y 0.48 kWh/m³ tratamiento). Total abastecimiento urbano: Agua potable + Agua residual = 0.94 kWh/m³

2.4 Emisiones de CO₂/energía

Para poder cuantificar las emisiones de CO₂eq en nuestra zona de estudio utilizamos los datos medios anuales a nivel Andaluz. Estos datos están basados en el mix eléctrico, que es el indicador

de las fuentes energéticas que utilizamos para producir la electricidad y expresa las emisiones de CO₂ asociadas a la generación de la electricidad consumida. Cuanto menor es el mix, mayor es la contribución de fuentes energéticas bajas en carbono. Los datos de mix eléctrico son extraídos de Rodríguez et al. (2022), que se basa en la información de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) de acuerdo con la Circular 2/2021 de 10 de febrero (Ministerio de la Presidencia, 2021).

Una vez obtenidas las emisiones en t CO₂eq /GWh, utilizamos los datos de energía calculados en el apartado 2.3.a para el sector agrícola y 2.3.b para el sector urbano, para obtener las emisiones totales de CO₂eq en la Axarquía mediante el producto de ambas variables (t CO₂eq/GWh x GWh).

2.5 Huella de Carbono (Balance CO₂eq)

La huella de carbono se determinó como la diferencia entre las emisiones de CO₂eq (relacionadas con las operaciones agrícolas) y la captura de CO₂ (carbono biogénico) por parte de los cultivos. A lo largo del estudio se consideró el siguiente criterio de signo: positivo para las transferencias de carbono de la actividad agrícola a la atmósfera y negativo cuando las transferencias se dan en sentido contrario, siguiendo la normativa ISO 14067. Por lo tanto, las emisiones de CO₂ tienen signo positivo, la captura de CO₂ tiene signo negativo y el balance de signo es el resultado de la suma de esos flujos.

Para determinar las emisiones de CO₂eq relacionadas con las operaciones de cultivo, se han utilizado los datos de Martín-Gorriz et al. (2021) y Fernández-Lobato et al. (2021). Las investigaciones citadas anteriormente siguen la metodología propuesta por la norma ISO 14064, que, al igual que el GHG Protocol (Protocol, 2005), señalan que a la hora de calcular las emisiones de CO₂eq, hay que contemplar obligatoriamente las emisiones directas y las indirectas. Las emisiones directas hacen referencia al 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 fertilización¹³. Las emisiones indirectas son cualquier distintas a las citadas anteriormente.

La captura de CO₂ de los diferentes cultivos representativos en la zona de estudios se han obtenido fundamentalmente de la investigación de Jumilla et al. (2010), quien presentó información para la mayoría de los cultivos en el sureste de España. Se han tenido que utilizar otras fuentes para obtener los datos no incluidos en el análisis de Jumilla et al. (2010). En la siguiente tabla 2 se pueden observar las fuentes de información donde se han obtenido los datos necesarios por cultivo unitario para realizar el Balance neto de CO₂eq.

Tabla 2: Fuentes de información balance CO₂

Cultivos	Fuente (captura)	Fuente (emisiones)
Aguacate	https://lafast.org/el-aguacate-y-el-agua/	(Martín-Gorriz et al., 2021)
Mango	https://www.mango.org/wp-content/uploads/2018/03/Sustainability_Final_Report_Spn.pdf	(Martín-Gorriz et al., 2021)
Limonero	(Jumilla et al., 2010)	(Martín-Gorriz et al., 2021)
Naranja	(Jumilla et al., 2010)	(Martín-Gorriz et al., 2021)

¹³ 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 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.

Uva	(Jumilla et al., 2010)	(Martin-Gorriz et al., 2021)
Olivar	(Mairech et al., 2020)	(Fernández-Lobato et al., 2021)
Almendro	https://bibliotecavirtual.aragon.es/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=3707991	(Martin-Gorriz et al., 2021)
Avena	(Jumilla et al., 2010)	(Martin-Gorriz et al., 2021)
Cebada	(Jumilla et al., 2010)	(Martin-Gorriz et al., 2021)
Trigo	(Jumilla et al., 2010)	(Martin-Gorriz et al., 2021)
Tomate	(Jumilla et al., 2010)	(Martin-Gorriz et al., 2021)
Pimiento	(Jumilla et al., 2010)	(Martin-Gorriz et al., 2021)
Lechuga	(Jumilla et al., 2010)	(Martin-Gorriz et al., 2021)
Alcachofa	(Jumilla et al., 2010)	(Martin-Gorriz et al., 2021)

Fuente: Elaboración propia.

En algunos cultivos la información del CO₂ fijado se determinó a partir de los valores de concentración de carbono utilizando una relación de peso molecular utilizada por Sofo et al. (2005) de 1,0 g de carbono = 3,66 g CO₂.

3. Resultados

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos en cada uno de los sectores analizados. En primer lugar nos centramos en la evolución de los cultivos y necesidades hídricas, seguiremos con el nexo agua-energía y las emisiones de dióxido de carbono y finalmente expondremos los resultados obtenidos en el análisis de la huella de carbono.

3.1 Evolución de cultivos y necesidades hídricas

Los dos “grupos de cultivos” que han experimentado un mayor aumento de superficie en la Axarquía en el periodo 1999-2022 han sido los frutales subtropicales, con un incremento del 215%, y el olivo con un 1097% (tabla 3).

Tabla 3: Evolución leñosos en la Axarquía 1999-2022. Datos CENSO, INE y SIGPAC

CULTIVOS*	1999⁽³⁾	2009⁽¹⁾	2018⁽²⁾	2022⁽²⁾
Cítricos y frutales hueso	548	483	300	275
Frutales de clima templado	175	165	n/d	n/d
Subtropicales	4.161	5.315	13.013	13.094
Frutales de fruto seco	11	1.307	1.628	1.658
Olivar	1.042	8.827	12.496	12.475
Viñedo	81	1.774	1.663	1.653
Viveros	2	46	782	923
Otros cultivos leñosos	2	59	819	829
Hortalizas y otros	n/d	572	1.154	1.034
Total, leñosos y hortícolas	6.022	18.548	31.855	31.941

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Censo, INE y SIGPAC

(*) Superficie (ha) leñosos y hortícolas Axarquía; (1) Superf. INE; (2) Superf. SIGPAC; (3) Superf. Censo Agrario

La tabla 4 muestra de las superficies de los cultivos unitarios de la comarca agraria de la Axarquía en 2021, así como el porcentaje de superficie destinada a regadío en cada una de ellas. Los frutales subtropicales (aguacate y mango) representan el 66% del total de la superficie de regadío (14.080 ha), por lo que tienen un papel fundamental en relación con el incremento de las necesidades hídricas. El olivo de regadío ocupa el 5% del total de superficie regada en la comarca, por lo que, a pesar del importante crecimiento experimentado en la evolución analizada en la tabla 3, pierde importancia en el análisis de las necesidades hídricas analizadas en este estudio.

Tabla 4. Superficie cultivos leñosos y herbáceos Axarquía secano y riego.

Cultivos	Superficie (ha)	Porcentaje de cultivo en riego (%)
Aguacate	5.227	100
Castaño	225	100
Limonero	220	100
Mango	4.092	100
Naranja	128	100
Níspero	177	100
Olivar	15.179	5
Almendro	1.779	0
Viñedo	2.739	0
Otros (<100 ha)	346	100
Alcachofa	200	100
Calabaza y calabacín	108	100
Judía verde	245	100
Lechuga	154	100
Patata	344	100
Pepino	119	100
Pimiento	316	100
Tomate	725	100
Avena	201	0
Cebada	201	0
Trigo	193	0
Veza	163	0
Otros (<100 ha)	695	100
TOTAL	33777	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Junta de Andalucía, actualización 2021. (Consejería de Agricultura, 2022)

La estimación de las necesidades de riego se muestra en la tabla 5. Las necesidades de riego totales estimadas para 2022 según la metodología FAO son de 120 hm³, mientras que los derechos concesionales establecidos en el Plan hidrológico (2021-2027) son de 78 hm³. Esta diferencia pone de manifiesto la existencia de un riego deficitario para muchos cultivos en relación con las necesidades hídricas totales estimadas por el modelo FAO 56 (condiciones de máxima producción). Por otro lado, el plan hidrológico asume una superficie de regadío inferior a la estimada en este estudio en base a los datos de la Junta de Andalucía. Por lo tanto, consideramos un déficit de 42 hm³ entre la oferta y la demanda de los recursos hídricos de la comarca de la Axarquía. Por otro lado, los derechos concesionales como las necesidades de riego se basan en un ‘año pluviométrico medio’, por lo que en caso de sequía, este balance hídrico se ve alterado negativamente ya que los recursos se ven reducidos y las necesidades aumentan.

Tabla 5: Estimación de necesidades de riego

	1999 ⁽³⁾	2009 ⁽²⁾	2018 ⁽¹⁾	2022 ⁽¹⁾	Increment. (2022-1999)
Leñosos (ha)	6.022	17.976	30.701	30.907	+24.885
De los cuales subtropicales (ha)	4.161	5.315	13.013	13.094	+8.933
Otros (ha)	n/d	572	1.154	1.034	
Derechos concesionales (hm ³)	73	76	78	78	
Necesidades de riego ⁽⁴⁾ (hm ³)	35	50	119	120	
RIS (relative irrigation supply)	2,11	1,52	0,66	0,65	

Fuente: Elaboración propia.

(1) Estimación propia a partir de SIGPAC; (2) Estimación propia a partir del INE; (3) Estimación propia a partir del Censo Agrario; (4) Estimación a partir de metodología FAO

3.2 Nexo Agua-Energía (WE)

La evolución de la energía consumida (1 ktep = 11630 kWh)¹⁴ en el periodo 2005-2020 a nivel provincial (Málaga), muestra un ahorro global de 8 GWh procedente fundamentalmente del sector del transporte (Figura 7).

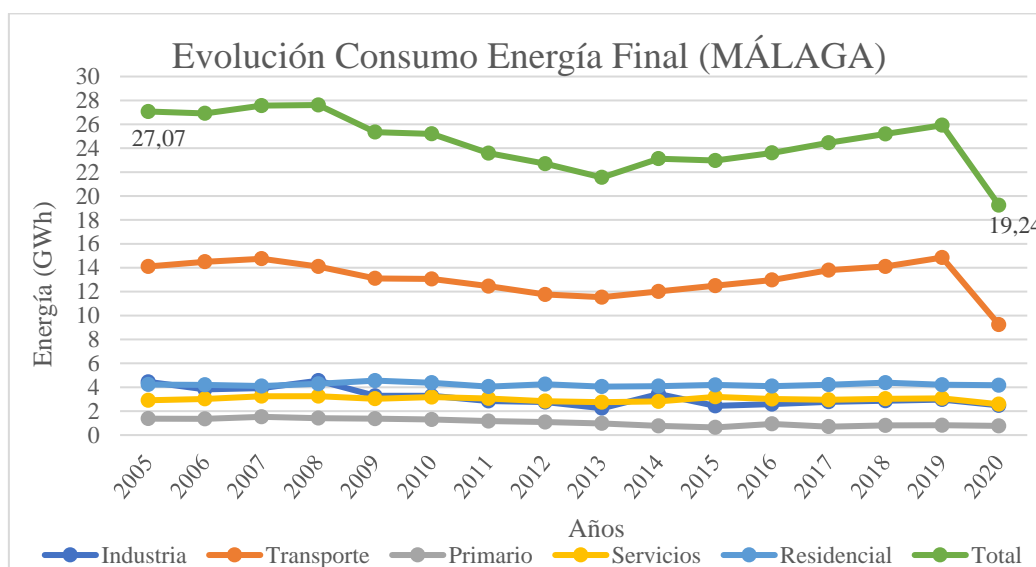


Figura 7. Consumo de energía final por sectores (Málaga). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la AAE. (Junta de Andalucía, 2022)

¹⁴ ktep: kilo tonelada equivalente de petróleo (Unidad energética equivalente a la energía contenida en mil toneladas de petróleo = 10.000.000 kcal)

a. Sistema agrícola

La tabla 6 muestra los datos utilizados para aplicar la metodología de Espinosa-Tasón et al. (2020) en la estimación de la energía consumida en la actividad de regadío del sistema agrícola, así como los resultados obtenidos para el horizonte 2030 para cada tipo de recurso hídrico evaluado.

Tabla 6. Datos cálculo de ecuación energía (Ejemplo 2030)

HORIZONTE 2030	Aguas Superficiales	Aguas Subterráneas	Reutilización	Desalación
Volumen (Hm3)	50	39	13	25
TH (m)	17	72		
Lift (m)	5	60		
Hmin (m)	10	10		
fLosses (m)	2	2		
μ motor	90%	90%		
μ bomba	80%	80%		
Total energía GWh	1,67	5,51	50,70	29,25

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados se muestran gráficamente en la figura 8. Destaca el aumento exponencial estimado en el consumo energético del sector agrícola para el horizonte 2022-2030 (80 GWh/año). La reducción de recursos disponibles debido a los continuos procesos de sequía, y el aumento de la demanda de los nuevos cultivos, obliga a la utilización de nuevos recursos hídricos no disponibles de forma inmediata, sino que necesitan de la utilización de procesos con un alto coste energético para poder ser utilizados (desalación, depuración y aguas subterráneas profundas).

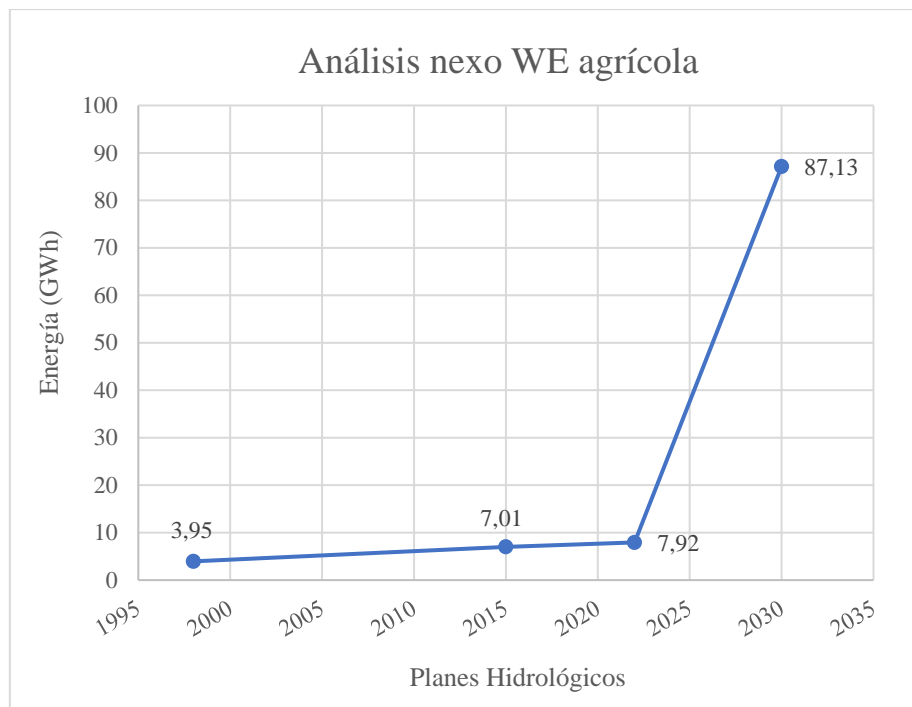


Figura 8. Energía utilizada en los recursos hídricos agrícolas (Axarquía).

b. Sistema Urbano

Según EurEau (2021), el consumo medio de agua potable residencial en Europa es de 124 litros por habitante y día, la composición media de los hogares es de 2,3 habitantes/hogar y las pérdidas del sistema son del 25%.

Según la AEAS-AGA (2020), a nivel nacional (España) se estima un caudal de agua de abastecimiento urbano de 3.730 hm³ anuales y un volumen de agua residual tratada de 4.450 hm³. La energía asociada a los tratamientos de captación, abastecimiento y distribución en bombeo es de 447 GWh/año, y en depuración 2.225 GWh/año. En España la media de consumo energético por cada 1.000 litros de agua es de 0,95 kWh/m³. La dotación de agua total que sale de los depósitos de distribución para el consumo es de 237 litros por habitante y día. El volumen de agua no registrada (ANR) que incluye las pérdidas aparentes y reales del agua es del 23%. Por lo tanto, de los 182 litros disponibles para abastecimiento, el 70% se destina para uso doméstico, el 16 % uso industrial y un 13% para otros. Estos porcentajes pueden tener pequeñas variaciones en función del tamaño de la población. La tabla 7 muestra los resultados obtenidos del nexo agua-energía a nivel nacional en base a estos datos proporcionados por la AEAS-AGA (2020).

Tabla 7. Nexo agua-energía media nacional (España)

Abastecimiento	%	L/hab/día*	m3/hab/día	kWh/hab/día
Doméstico	70	128	0,13	0,12
Industrial	16	29	0,03	0,03
Otros	13	24	0,02	0,02

Fuente: Elaboración propia.

**De los 237 litros para abastecimiento, el 23% es agua no registrado (55 l). Total de litros para abastecimiento 182. Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos de AEAS Y AGA.*

Extrapolando estos datos a nuestro caso de estudio (Figura 9), observamos como el consumo urbano de energía no muestra cambios significativos en la tendencia, teniendo unos valores prácticamente constantes a lo largo del tiempo, sin mostrar cambios significativos. Los resultados hacia el horizonte 2030 muestran un ligero descenso en el consumo eléctrico, como consecuencia del ajuste pronosticado por los planes hidrológicos en cuanto a la demanda de agua para uso urbano. En el análisis del consumo de agua por habitante y día de la Axarquía (40% superior a la media nacional española), debemos tener en cuenta la distorsión que produce el consumo de agua urbana producido por los no-residentes, al ser una comarca eminentemente turística.

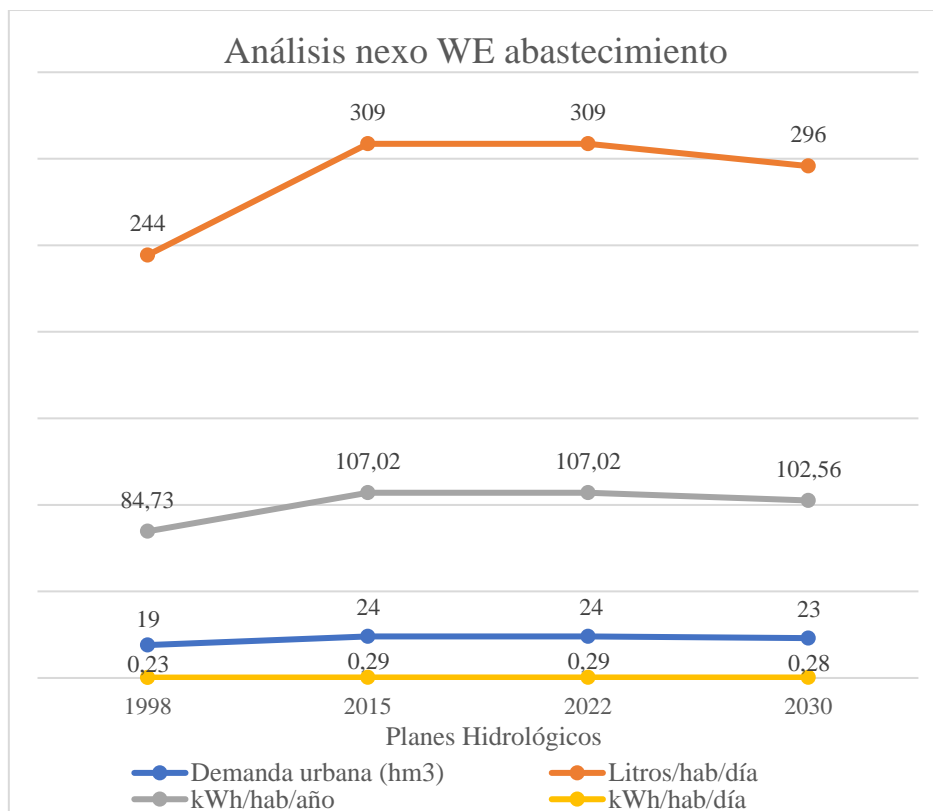


Figura 9. Análisis nexo agua-energía en la Axarquía. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Emisiones de CO₂/energía

El mix de la red eléctrica española publicado por la CNMC en fecha 20 de abril de 2022 es de 259 g CO₂eq/kWh. En el caso del sistema eléctrico español, las emisiones se han venido reduciendo como consecuencia de la mayor tasa de energías renovables y la reducción de la producción con carbón, pasando de cerca de 80 MtCO₂eq en 2015, a aproximadamente 50 MtCO₂eq en 2019¹⁵. El factor de emisión ha pasado de 290 t CO₂eq/GWh en 2015 a 136 t CO₂eq/GWh en 2021¹⁶, lo que supone una reducción de más del 50%.

El mix eléctrico andaluz se basa, en más de un 95%, en fuentes renovables y gas natural, lo que supone unas emisiones de CO₂ por unidad de generación inferiores en un 68% al valor registrado en el año 2000. En la siguiente figura 10 se puede observar la evolución de las emisiones de CO₂ debidas a la generación eléctrica Mix¹⁷ a nivel andaluz:

¹⁵ REE, 2021. Emisiones de CO₂ asociadas a la generación de electricidad en España.

<https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/especial/2020/06/las-emisiones-se-reducen-en-30-millones-de-toneladas-en-5-anos>

¹⁶ Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC), 2022.

<https://gdo.cnmc.es/CNE/accesoAcuerdoEtiquetado.do>

¹⁷ Informe sobre la Situación Socioeconómica de Andalucía 2021. Consejo Económico y Social de Andalucía. https://www.juntadeandalucia.es/empleoformacionytrabajoautonomo/ces/adjuntos/publicacion/es/1_2389_Informe2021.pdf

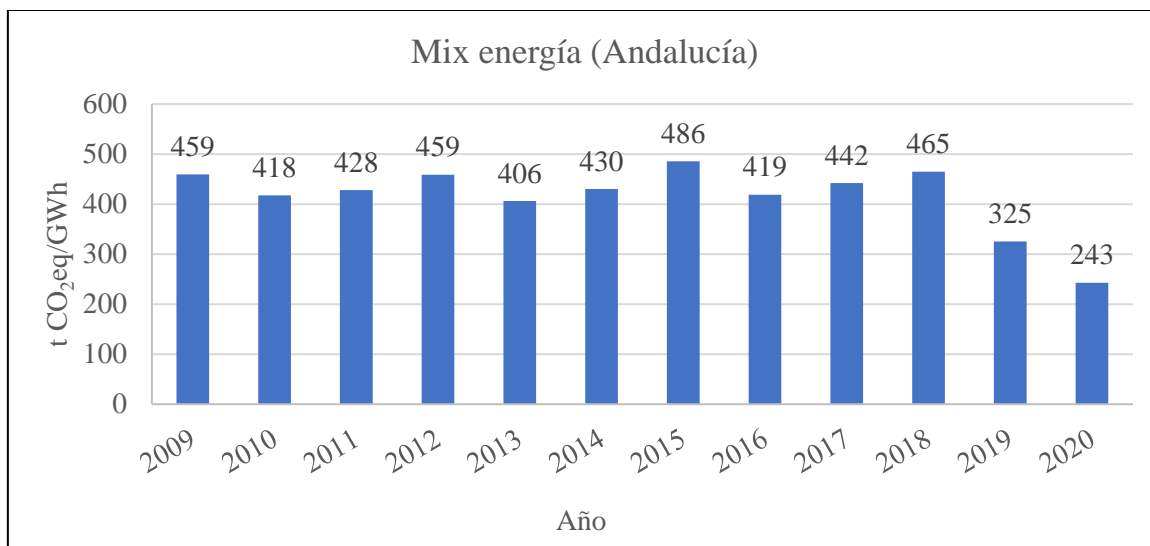


Figura 10. Evolución mix energía nivel autonómico. Fuente: elaboración propia a partir de los datos extraídos de la Junta de Andalucía.

A continuación, mostraremos los resultados a nivel regional en nuestro caso de estudio la Axarquía. Las emisiones se expresan en toneladas CO₂eq anuales en función de los dos sectores analizados, sistema agrícola y sistema urbano.

a. Sistema agrícola:

Generación de energía en el sistema de abastecimiento hídrico agrícola, información calculada para los diferentes años de los Planes Hidrológicos.

Energía producida:

- 1998: 3,95 GWh
- 2015: 7,01 GWh
- 2022: 7,92 GWh
- Horizonte 2030: 87,13 GWh

Emisiones de CO₂ por GWh:

Tenemos la información para unidad autonómica de la serie anual 2009 a 2020. La multiplicamos por los GWh producidos en la Axarquía y obtenemos las emisiones de CO₂ generadas a nivel regional, en la siguiente figura 11 podemos observar la evolución:

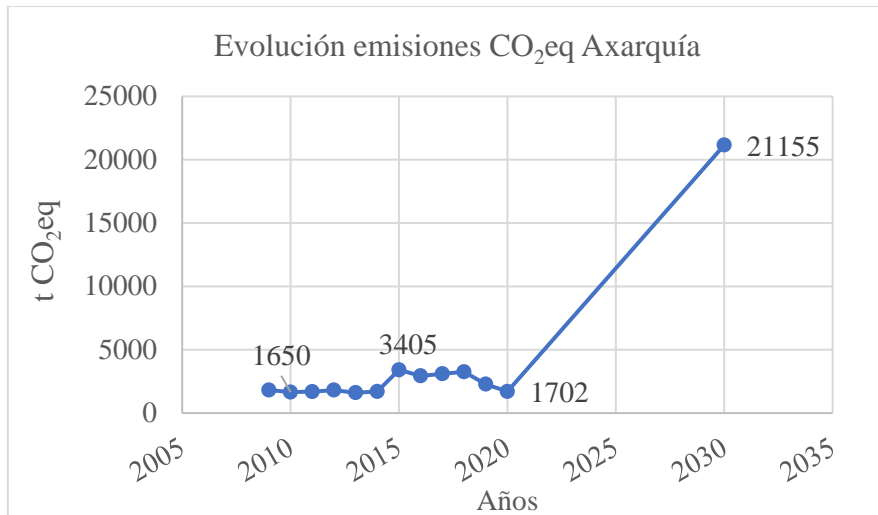


Figura 11. Evolución emisiones CO₂eq debido al consumo eléctrico sistema agrícola. Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran un aumento similar en el tiempo al que se ha comentado en la figura 7, los motivos de este aumento desorbitado se deben a la implementación de desaladoras y gestión de las aguas reutilizados.

b. Sistema urbano:

Generación de energía en el sistema de abastecimiento urbano (Agua potable + Tratamiento agua residual), información calculada para los diferentes años de los Planes Hidrológicos.

- 1998: 18,05 GWh
- 2015: 22,80 GWh
- 2022: 22,80 GWh
- Horizonte 2030: 21,85 GWh

A partir del mix para Andalucía de la serie anual 2009 a 2020 reflejado en la figura 10. Se calcula el producto de las t CO₂eq por los GWh producidos en la Axarquía y obtenemos las emisiones de CO₂ generadas a nivel regional, en la siguiente figura 12 podemos observar la evolución:

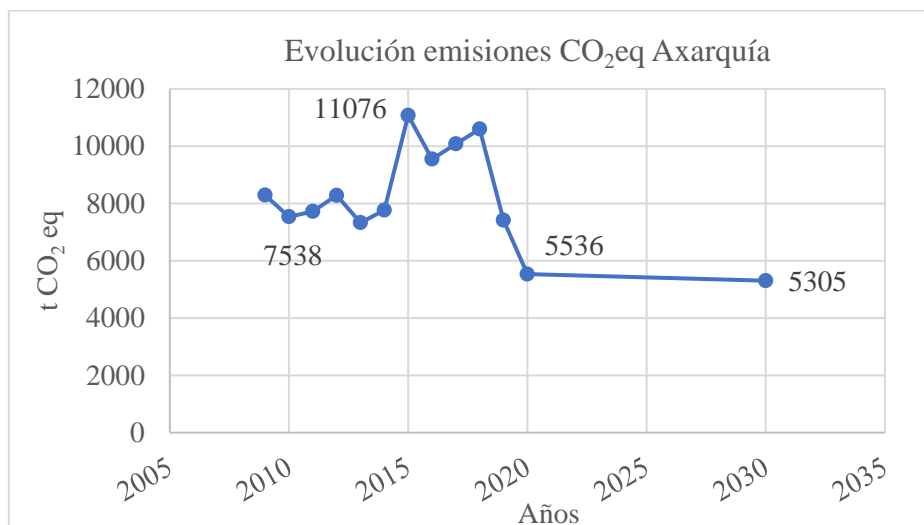


Figura 12. Evolución emisiones CO₂eq debido al consumo eléctrico sistema urbano. Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran una franja de emisiones que van de 5.000 toneladas de dióxido de carbono equivalente a 11.000 toneladas. Las fluctuaciones que se observan en la figura 12 se deben a la producción de energía que a su vez interviene la demanda urbana. El pronóstico futuro es positivo ya que las emisiones del sistema eléctrico urbano descendiendo ligeramente, contribuyendo positivamente contra la mitigación del cambio climático.

3.4 Balance de Carbono de los Cultivos Seleccionados

El CO₂ es un gas de efecto invernadero que se encuentra naturalmente en la atmósfera. Las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y otros procesos, aumentan significativamente su concentración en la atmósfera contribuyendo al calentamiento global del planeta.

La captura y almacenamiento de CO₂ podría limitar las emisiones atmosféricas de carbono derivadas de las actividades humanas, eliminando el carbono presente en la atmósfera mediante procesos naturales como el crecimiento vegetativo.

Mediante el Balance neto de carbono de la superficie agrícola de la Axarquía, se cuantifica el beneficio medio ambiental que supone en esta comarca los cultivos agrícolas presentes. Para dicho Balance y siguiendo norma ISO, se realiza el sumatorio de la captura o fijación de CO₂ de cada cultivo (valor negativo) y las emisiones de CO₂eq de cada cultivo (valor positivo).

Las emisiones de CO₂eq, la captura de CO₂ y el balance de carbono para los cultivos y escenarios seleccionados se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Balance CO₂ cultivos Axarquía

Cultivos	Superficie (ha)	Captura (t CO ₂ /ha/año)	Emisiones** (t CO ₂ eq/ha/año)	Balance (t CO ₂ eq/ha/año)
Aguacate	5.227	-12,00	8,46	-3,54
Mango	4.092	-9,00	8,46	-0,54
Limonero	220	-29,94	9,91	-20,03
Naranja	128	-20,72	9,91	-10,81
Uva	2.739	-19,00	8,46	-10,54
Olivar	15.179	-6,00	1,16	-4,84
Almendro	1.779	-22,00	8,46	-13,54
Otros leñosos	748	-17,00	8,46	-8,54
Avena*	201	-14,00	13,20	-0,80
Cebada*	201	-13,00	13,20	0,20
Trigo*	193	-14,00	13,20	-0,80
Tomate	725	-31,79	14,90	-16,89
Pimiento	316	-22,64	14,90	-7,74
Lechuga	154	-8,44	14,90	6,46
Alcachofa	200	-12,97	14,90	1,93
Otros herbáceos	1.674	-17,00	14,90	-2,10
Total	33.776			
Total t CO₂eq /año		-374.440	198.028	-176.412

Fuente: Elaboración propia.

**Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por cultivo (expresadas como aporte por etapas: fertilizantes, pesticidas, maquinaria, vivero, riego y operaciones de campo), expresadas como CO₂ equivalente (CO₂eq).

**Balance neutro, el beneficio es 0. El CO₂ capturado es igual al emitido.*

Los resultados del análisis muestran un valor negativo de -176.412 CO₂eq anuales dando lugar a una mejora del medio ambiente. El balance negativo muestra que las 33.776 ha de cultivos presentes en la Axarquía son eficientes sumideros de CO₂ atmosférico, destacando el papel de los leñosos frente a los herbáceos debido a su mayor beneficio medio ambiental. Finalmente, la tabla 9 muestra de manera sintetizada los resultados obtenidos en nuestro análisis para cada variable de estudio.

Tabla 9. Resumen global resultados variables Axarquía

VARIABLES ANALIZADAS (AXARQUÍA)	RESULTADOS (AÑO 2022)
Superficie total agrícola (ha)	33.776
Necesidades de riego estimadas (hm³)	120
Derechos concesionales (hm³)	78
Deficit hídrico (hm³)	42
Nexo agua-energía agrícola (GWh)	7,92
Nexo agua-energía urbano (GWh)	22,8
Emisiones (t CO₂eq/año) debido al consumo eléctrico (agrícola)	1.702
Emisiones (t CO₂eq/año) debido al consumo eléctrico (urbano)	5.536
Captura (t CO₂/año) sistema agrícola	-374.440
Emisiones (t CO₂eq/año) sistema agrícola completo*	198.028
Balance (t CO₂eq/ha/año)	-176.412

Fuente: Elaboración propia.

**Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por cultivo (expresadas como aporte por etapas: fertilizantes, pesticidas, maquinaria, vivero, riego y operaciones de campo), expresadas como CO₂ equivalente (CO₂eq).*

4. Conclusiones

El presente estudio trata de ayudar a mejorar la comprensión de la evolución reciente del cultivo de subtropicales en la comarca agraria de la Axarquía, teniendo en cuenta el nexo WE, incorporando una componente medioambiental a través de la huella de carbono.

Los resultados obtenidos en nuestro análisis muestran un déficit hídrico actual de 42 hm³ debido al desarrollo exponencial del cultivo de subtropicales en la comarca. Las necesidades hídricas del mango y del aguacate para alcanzar los máximos rendimientos son superiores a 7.500 m³/ha·año, un 30% por encima de las concesiones actuales de derecho de uso del agua (Moreno-Ortega et al., 2019). Podemos encontrar medidas para reducir el déficit hídrico desde el lado de la oferta y desde el de la demanda. Técnicas como la mejora en la eficiencia del riego, sistemas de cultivo alternativo, o el riego deficitario, se utilizan para disminuir la demanda de riego. Acudir a fuentes alternativas de agua como el agua desalada, agua depurada o acuíferos profundos son las más utilizadas para aumentar la oferta del recurso. Estas fuentes alternativas de agua sólo son posibles

mediante la aplicación de procesos demandantes de grandes cantidades de energía, y por lo tanto emisores de CO₂eq. Los resultados de este estudio muestran horizonte 2030 preocupante con un aumento exponencial de emisiones en el periodo 2022-2030.

El análisis del nexo WEFEE considera las interacciones Agua-Energía-Alimentos-Medioambiente. Nosotros solo hemos considerado las emisiones netas de carbono, pero sería necesario ampliar este análisis con otros elementos ambientales como protección del suelo, contaminación del agua, emisiones a la atmósfera de contaminantes, biodiversidad, paisaje...etc. En este sentido, este estudio refleja un balance positivo. Los 176.413 t de CO₂eq capturados por la masa vegetal cultivada, compensan las emisiones producidas en el sistema agrícola, contribuyendo así a la mejora del medioambiente y a la mitigación del cambio climático.

5. Referencias

- AEAS-AGA. (2020). *XVI Estudio nacional de suministro de agua potable y saneamiento en España 2020*. Retrieved from https://www.aeas.es/images/Doc_Es_Nacional/2020/2020-12-10_Nota_Estudio_Nacional_de_Suministro_de_Agua_Potable_y_Saneamiento_en_Espaa_2020_AEAS-AGA.pdf
- Berbel, J. (1993). Risk programming in agricultural systems: A multiple criteria analysis. *Agricultural Systems*, 41(3), 275-288.
- Climate-Data.Org. (2022). Velez-Málaga weather center. Data from 1991 to 2021. Retrieved from <https://es.climate-data.org/europe/espana/andalucia/velez-malaga-57251/>
- Consejería de Agricultura, g., pesca y medio ambiente. Junta de Andalucía,. (2022) *Respuesta consulta 13271*.
- DHCMA. (2015). *Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (2015-2021)*. Retrieved from https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/landing-page/-/asset_publisher/4V1kD5gLiJkq/content/plan-hidrol-c3-b3gico-de-las-cuencas-mediterr-c3-a1neas-2015-2021/20151
- DHCMA. (2021). *Plan Hidrológico de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (2021-2027)*. Retrieved from https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/documents/20151/1152494/DI_MEMORIA_CMA.pdf/fd981d2a-5d61-ea14-8788-c52a0d3f03ad?t=1582032688000
- DHCS. (1998). *Plan hidrológico de Cuenca del Sur 1998*. Retrieved from [https://www.boe.es/eli/es/o/1999/09/06/\(2\)](https://www.boe.es/eli/es/o/1999/09/06/(2))
- Espinosa-Tasón, J., Berbel, J., & Gutiérrez-Martín, C. (2020). Energized water: Evolution of water-energy nexus in the Spanish irrigated agriculture, 1950–2017. *Agricultural Water Management*, 233, 106073. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106073>
- EurEau. (2021). *Europe's Water in Figures: An Overview of the European Drinking Water and Waste Water Sectors*. Retrieved from <https://www.eureau.org/resources/publications/eureau-publications/5824-europe-s-water-in-figures-2021/file>
- Expósito, A., & Berbel, J. (2019). Drivers of Irrigation Water Productivity and Basin Closure Process: Analysis of the Guadalquivir River Basin (Spain). *Water Resources Management*, 33(4), 1439-1450. doi:10.1007/s11269-018-2170-7
- Fernández-Lobato, L., García-Ruiz, R., Jurado, F., & Vera, D. (2021). Life cycle assessment, C footprint and carbon balance of virgin olive oils production from traditional and intensive olive groves in southern Spain. *Journal of Environmental Management*, 293, 112951.

- Huckleberry, J. K., & Potts, M. D. (2019). Constraints to implementing the food-energy-water nexus concept: Governance in the Lower Colorado River Basin. *Environmental Science & Policy*, 92, 289-298. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.027>
- Jumilla, F. V., Costa, G., Castro, C., García, C., Romojaro, C., & Mesa del Castillo, N. (2010). Consejería de Agricultura y Agua.
- Junta de Andalucía. (2006). *Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía (POTA). Paisajes y patrimonio cultural en Andalucía. Tiempo, usos e imágenes . 04 Axarquía- Montes de Málaga*. Retrieved from https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/pota_completo.pdf
- Junta de Andalucía. (2022). *Estrategia energética de Andalucía 2030*. Retrieved from https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/Planificaci%C3%B3n/estrategia_energetica_andalucia_2030-8_junio_2022_def.pdf
- Kristensen, P. (2004). The DPSIR framework. *National Environmental Research Institute, Denmark*, 10.
- Mairech, H., Lopez-Bernal, A., Moriondo, M., Dibari, C., Regni, L., Proietti, P., & Testi, L. (2020). Is new olive farming sustainable? A spatial comparison of productive and environmental performances between traditional and new olive orchards with the model OliveCan. *Agricultural Systems*, 181, 102816.
- Martin-Gorrioz, B., Martínez-Alvarez, V., Maestre-Valero, J. F., & Gallego-Elvira, B. (2021). Influence of the water source on the carbon footprint of irrigated agriculture: A regional study in South-Eastern Spain. *Agronomy*, 11(2), 351.
- Martín-Ortega, J., Berbel, J., & Brouwer, R. (2009). Valoración económica de los beneficios ambientales de no mercado derivados de la mejora de la calidad del agua: una estimación en aplicación de la Directiva Marco del Agua al Guadalquivir. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 9(1380-2016-115306), 65-89.
- Ministerio de la Presidencia. (2021). *Circular 2/2021, de 10 de febrero, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología y condiciones del etiquetado de la electricidad para informar sobre el origen de la electricidad consumida y su impacto sobre el medio ambiente (BOE-A-2021-2570)*. Retrieved from <https://www.boe.es/eli/es/cir/2021/02/10/2>
- Moldero, D., López-Bernal, Á., Testi, L., Lorite, I. J., Fereres, E., & Orgaz, F. (2021). Long-term almond yield response to deficit irrigation. *Irrigation Science*, 39(4), 409-420. doi:<https://doi.org/10.1007/s00271-021-00720-8>
- Moreno-Ortega, G., Pliego, C., Sarmiento, D., Barceló, A., & Martínez-Ferri, E. (2019). Yield and fruit quality of avocado trees under different regimes of water supply in the subtropical coast of Spain. *Agricultural Water Management*, 221, 192-201. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.001>
- Protocol, G. (2005). *Protocolo de Gases de Efecto Invernadero*. Retrieved from https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/protocolo_spanish.pdf
- Rodríguez, J., Asián, R., Atienza, P., Campayo, C., & Casero, J. (2022). *Informe sobre la Situación Socioeconómica de Andalucía 2021*. Retrieved from https://www.juntadeandalucia.es/empleoformacionytrabajoautonomo/ces/adjuntos/publicaciones/1_2389_Informe2021.pdf
- Sofo, A., Nuzzo, V., Palese, A. M., Xiloyannis, C., Celano, G., Zukowskyj, P., & Dichio, B. (2005). Net CO₂ storage in Mediterranean olive and peach orchards. *Scientia horticulturae*, 107(1), 17-24.
- Zaman, K., Khan, M. M., Ahmad, M., & Rustam, R. (2012). The relationship between agricultural technology and energy demand in Pakistan. *Energy Policy*, 44, 268-279. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.050>
- Zhang, P., Zhang, L., Chang, Y., Xu, M., Hao, Y., Liang, S., . . . Wang, C. (2019). Food-energy-water (FEW) nexus for urban sustainability: A comprehensive review. *Resources, Conservation and Recycling*, 142, 215-224. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.018>

