

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**MASTER EN TÉCNICAS AVANZADAS DE
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
AGRARIO Y ALIMENTARIO (TAIDA)**



TRABAJO FIN DE MASTER



**LA AGRICULTURA ECOLÓGICA EN LIMONERO.
EFECTO DE APLICACIÓN DE PESTICIDAS EN LA
ABSORCIÓN DE NUTRIENTES Y FIJACIÓN DE CO₂**

Alumno: Rafael Olmos Ruiz (48851442V)

Directora: María del Carmen Martínez Ballesta

Codirectora: Micaela Carvajal Alcaraz



CURSO 2021/2022

Cartagena, junio de 2022

ÍNDICE

RESUMEN	1
Resumen.....	1
Abstract.....	2
PALABRAS CLAVE/KEYWORDS	4
Palabras clave	4
Keywords	4
PUBLICACIONES Y CONGRESOS	4
I. INTRODUCCIÓN	4
I.I La agricultura ecológica, concepto y modelo de fertilización	5
I.II La agricultura convencional, concepto, diferenciación frente a la ecológica y modelo de fertilización	5
I.III El papel de la agricultura como sumidero de carbono.....	7
I.V El cultivo del limón y su papel como sumidero de carbono.....	8
a) Situación actual del limón.....	8
b) El cultivo de cítricos como sumidero de carbono	8
c) La huella de carbono, concepto y cálculo	9
II. HIPÓTESIS	9
III. OBJETIVOS.....	10
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	11
IV.I Condiciones experimentales.....	11
IV.II Procesado, y análisis de las muestras.....	15
a) Biomasa total del árbol.....	16
b) Biomasa anual del árbol.....	17
c) Carbono del suelo.....	17
d) Total de Carbono fijado anualmente.....	18
e) Análisis mineral. Biol. Life Sci. Forum 2021, “Nutrient passage in different grafted lemon trees”	18
f) Análisis estadístico	18
g) Huella de Carbono	18
V. RESULTADOS	19
V.I Tasa de fijación de CO ₂ y efecto Ecológico vs Convencional	19
a) ESM VS CSM.....	19
b) ENG VS CNG.....	20

V.II Efecto del portainjerto sobre la nutrición mineral.....	21
V.III Efecto del portainjerto sobre la fijación de CO ₂ . ENM VS ESM.....	23
V.IV Huella de Carbono.....	24
VI. DISCUSIÓN	26
Tasa de fijación de CO ₂ y efecto Ecológico vs Convencional.....	26
Consecuencias del tipo de injerto	27
Huella de carbono y sumidero de CO ₂	28
VII. CONCLUSIONES.	29
VIII. BIBLIOGRAFÍA.	31
ANEXO CÁLCULOS	34

ANEXO ILUSTRACIONES

Ilustración 1	10
Ilustración 2	11
Ilustración 3	12
Ilustración 4	14
Ilustración 5	15
Ilustración 6	16
Ilustración 7	17

ANEXO FIGURAS

Figura 1	25
Figura 2	26

ANEXO TABLAS

Tabla 1.....	12
Tabla 2.....	14
Tabla 3.....	20
Tabla 4.....	21
Tabla 5.....	22
Tabla 6.....	23
Tabla 7.....	23
Tabla 8.....	24

TABLA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
RPEPE	Reglamento (CE) 834/2007 del Consejo, de 28 de junio de 2007, sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos.
RPEEPE	Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos.
CA	Portainjerto de naranjo amargo (<i>Citrus x aurantium</i>)

CS	Portainjerto de naranjo dulce (<i>Citrus x sinensis</i>)
ESM	Limonero (<i>Citrus x limón</i>) injertado en pie de naranjo amargo (<i>Citrus x aurantium</i>) (CA) (presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego a manta.
CSM	Limonero (<i>Citrus x limón</i>) injertado en pie de naranjo amargo (<i>Citrus x aurantium</i>) (CA) (presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego a manta.
ENM	Limonero (<i>Citrus x limón</i>) injertado en pie de naranjo dulce (<i>Citrus x sinensis</i>) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego a manta.
CNG	Limonero (<i>Citrus x limón</i>) injertado en pie de naranjo dulce (<i>Citrus x sinensis</i>) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego por goteo.
ENG	Limonero (<i>Citrus x limón</i>) injertado en pie naranjo de naranjo dulce (<i>Citrus x sinensis</i>) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego por goteo.
HNCNm	Hoja nueva de <i>Citrus x limon</i> injertado en <i>Citrus x sinensis</i> (CS)(no presenta Miriñaque) y modalidad convencional.
HVCNm	Hoja vieja de <i>Citrus x limon</i> injertado en <i>Citrus x sinensis</i> (CS)(no presenta Miriñaque) y modalidad convencional.

HNCSm	Hoja nueva de <i>Citrus x limon</i> injertado en <i>Citrus x aurantium</i> (CA)(presenta Miriñaque) y modalidad convencional.
HVCSm	Hoja vieja de <i>Citrus x limon</i> injertado en <i>Citrus x aurantium</i> (CA)(presenta Miriñaque) y modalidad convencional.
RCNm	Raiz de <i>Citrus x limon</i> injertado en <i>Citrus x sinensis</i> (CS)(no presenta Miriñaque) y modalidad convencional.
RCSm	Raiz de <i>Citrus x limon</i> injertado en <i>Citrus x aurantium</i> (CA)(presenta Miriñaque) y modalidad convencional.
CNm	<i>Citrus x limon</i> injertado en <i>Citrus x sinensis</i> (CS)(no presenta Miriñaque) y modalidad convencional.
CSm	<i>Citrus x limon</i> injertado en <i>Citrus x aurantium</i> (CA)(presenta Miriñaque) y modalidad convencional.
CM	Portainjerto <i>Citrus x macrophylla</i>

RESUMEN

Resumen

España es uno de los productores de limón más importantes del mundo (1.250.000 Toneladas en la temporada 2020/2021). Además, alrededor del 80% de la producción española de limones se encuentra en el árido sureste, donde la modalidad de cultivo y el patrón de injerto es muy importante para asegurar la máxima productividad. Toda la producción de limón se produce con árboles injertados. El injerto directo del limonero sobre portainjerto de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) como patrón constituye la base de las plantaciones tradicionales en las zonas productoras de limón en el sureste español. El portainjerto (CA) favorece la aparición del "Miriñaque" o protuberancia del tronco en la unión del injerto que impide a medio plazo la correcta circulación de la savia; sin embargo, no aparece en el patrón de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS).

El principal objetivo del presente trabajo científico, es la valoración de los distintos portainjertos de limonero (*Citrus x limón*) de la variedad "Fino", utilizados (patrón de naranja dulce ((*Citrus x sinensis*) (CS) y patrón de naranja amarga (*Citrus x aurantium*) (CA)), para poder determinar la tasa de fijación de CO₂ de los mismos, estando combinados en distintas modalidades de cultivo (ecológico y convencional) y de riego (a manta y por goteo).

El segundo objetivo, es el estudio de la compatibilidad de las especies de injerto y portainjerto sobre el transporte de nutrientes, mediante el análisis mineral de las muestras de dos grupos de limoneros (*Citrus x limón*) de la variedad "Verna": limonero CNm-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque) y modalidad convencional; y limonero CSm-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque) y modalidad convencional; todo ello contemplado en la publicación :“Nutrient passage in different grafted lemon trees” Congreso “Biology and Life Sciences Forum”. Por último, el tercer objetivo es el cálculo de la huella y sumidero de Carbono de los distintos grupos estudiados.

Los resultados del primer objetivo, la tasa de fijación de CO₂ referente a los grupos comparados entre sí, nos indican que no presentan diferencias significativas claras tras realizar los cálculos estadísticos. Los grupos son: limonero ESM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta

Miriñaque), modalidad convencional y riego a manta vs limonero CSM- limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego a manta. Limonero CNG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego por goteo vs limonero ENG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie naranjo de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego por goteo.

En referencia los resultados del segundo objetivo, la protuberancia (Miriñaque) que apareció en limonero (*Citrus x limón*) injertado sobre pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA), podría bloquear el paso de Fe y Mn desde la raíz a la parte aérea del tronco; el proceso de bloqueo que probablemente ocurrió en el área de injerto probablemente esté relacionado con el paso de agua de célula a célula (Aquaporinas) que afecta los nutrientes.

Finalmente, en lo que respecta a la huella de carbono de los distintos grupos estudiados, se observa que el grupo limonero ENG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie naranjo de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego por goteo, presenta los mejores datos tanto en comparación con la modalidad convencional como con la ecológica (con y sin Miriñaque y riego a manta).

Abstract

Spain is one of the most important lemon producers in the world (1,250,000 tonnes in the 2020/2021 season). In addition, about 80% of the Spanish lemon production is located in the arid southeast, where the cultivation method and the grafting of the rootstock are essential to ensure maximum productivity. Direct grafting of the lemon tree into bitter orange (*Citrus x aurantium*) (CA) as rootstock is the basis of traditional fields in the lemon-producing areas of the southeast of Spain. Bitter orange rootstock (CA) favours the appearance of “Miriñaque” (protuberance of the trunk at the union of the graft), which prevents the correct circulation of the sap in the medium-term. However, it does not appear in the sweet orange rootstock (*Citrus x sinensis*) (CS).

The main objective of this scientific study is the valuation of the different lemon tree crops (*Citrus x limon*) of the variety “Fino” grafted in different ways (sweet orange

rootstock (*Citrus x sinensis*) (CS) and bitter orange rootstock (*Citrus x aurantium*) (CA), to be able to determine the CO₂ fixation rate of the same, being combined in different modalities of cultivation (organic and conventional) and irrigation (blanket and drip).

The second objective is the study of the compatibility of graft and rootstock species on the transport of nutrients, through the mineral analysis of samples from two groups of lemon trees (*Citrus x limon*) of the variety "Verna": CNm-limonero (*Citrus x limon*) grafted onto sweet orange rootstock (*Citrus x sinensis*) (CS) (without Miriñaque) with conventional method; and the lemon tree CSm-limonero (*Citrus x limon*) grafted onto bitter orange rootstock (*Citrus x aurantium*) (CA) (with Miriñaque) with conventional method; All this contemplated in the publication: "Nutrient passage in different grafted lemon trees" Congress "Biology and Life Sciences Forum". Finally, the third objective is the calculation of the carbon footprint and sink of the different groups studied.

The groups compared in the analysis of the CO₂ fixation rate, indicate that do not present clear significant differences after the statistical calculations. The groups are: ESM-limonero (*Citrus x limon*) grafted onto bitter orange rootstock (*Citrus x aurantium*) (CA) (with Miriñaque) with conventional method and surface irrigation vs CSM-limonero (*Citrus x limon*) grafted onto bitter orange rootstock (*Citrus x aurantium*) (CA) (with Miriñaque) with ecological method and surface irrigation; and CNG-limonero lemon tree (*Citrus x limon*) grafted onto sweet orange rootstock (*Citrus x sinensis*) (CS) (without Miriñaque) with ecological method and drip irrigation vs. ENG-limonero (*Citrus x limon*) grafted onto sweet orange rootstock (*Citrus x sinensis*) (CS) (without Miriñaque) with conventional method and drip irrigation.

In reference to the results of the second objective, the protuberance (Miriñaque) that appeared in the lemon tree (*Citrus x limon*) grafted onto bitter orange rootstock (*Citrus x aurantium*) (CA) could block the passage of Fe and Mn from the root to the aerial part of the trunk. The blocking process that probably occurred in the grafted area is likely related to the passage of water from cell to cell (Aquaporins) which affects the nutrients.

Finally, regarding the carbon footprint of the different groups studied, the ENG-limonero lemon group (*Citrus x limon*) grafted onto sweet orange rootstock (*Citrus x sinensis*) (CS) (without Miriñaque) with ecological method and drip irrigation had the highest results in comparison with both conventional and organic method (with and without Miriñaque and surface irrigation).

PALABRAS CLAVE/KEYWORDS

Palabras clave

Agricultura ecológica, CO₂, *Citrus x aurantium*, *Citrus x limón*, *Citrus x sinensis*, emisiones, Huella de carbono, injerto, limonero, Miriñaque.

Keywords

Carbon footprint, CO₂, *Citrus x aurantium*, *Citrus x limón*, *Citrus x sinensis*, emissions, grafting, Miriñaque, lemon tree, organic farming.

PUBLICACIONES Y CONGRESOS

Los resultados parciales de este Trabajo Fin de Master han sido presentados al Congreso:

“Biology and Life Sciences Forum”

Y se han publicado en: Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). 2022.

I. INTRODUCCIÓN

I.I La agricultura ecológica, concepto y modelo de fertilización

Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del Gobierno de España, la producción ecológica se puede definir como “un sistema de gestión y producción agroalimentaria que combina las mejores prácticas ambientales junto con un elevado nivel de biodiversidad y de preservación de los recursos naturales, así como la aplicación de normas exigentes sobre bienestar animal, con la finalidad de obtener una producción conforme a las preferencias de determinados consumidores por los productos obtenidos a partir de sustancias y procesos naturales.” (Ministerio de Agricultura, 2022)

En la agricultura ecológica se pueden emplear “una serie de fertilizantes y acondicionadores del suelo, plaguicidas y productos fitosanitarios autorizados; estos están recogidos en los anexos I y II del Reglamento (CE) 889/2008 de la Comisión, de 5 de septiembre de 2008”, por el cual se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) 834/2007 del Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y su control (Europea, 2022).

El objetivo del modelo de fertilización ecológico es “el aporte al suelo los nutrientes necesarios para favorecer su fertilidad mediante la sustitución parcial de fertilizantes minerales por fertilizantes orgánicos basados en residuos recientemente disponibles” (Avadí et al., 2021).

El aporte de fertilizantes orgánicos , como el compost derivado del estiércol, aumenta la protección física de la materia orgánica al mejorar la formación de macro-agregados (Jiang et al., 2013), actuando de forma indirecta y lenta, no generando “un desequilibrio perjudicial para el suelo”. No obstante, aun así, supone una mejora en la textura y la estructura del suelo, lo que incrementa la capacidad de retención de nutrientes (Avadí et al., 2021).

I.II La agricultura convencional, concepto, diferenciación frente a la ecológica y modelo de fertilización

La agricultura convencional es “un sistema productivo basado en el consumo intensivo de determinados insumos externos que tienen unas características como el uso de la energías fósiles y la aplicación herbicidas-pesticidas y abonos sintéticos” (Agroptima,

2022). Por lo tanto, según el modelo actual y la visión medioambiental de los países desarrollados, se está reconociendo que el modelo agrícola convencional, originario de la revolución verde y basado en la especialización de cultivos y en el uso masivo de insumos externos y energía fósil, enfrenta una profunda crisis. Además, “se considera insostenible desde el punto de vista social y ambiental e incapaz de resolver los grandes desafíos de la sostenibilidad, como la disminución de los recursos naturales y la biodiversidad, el cambio climático, la seguridad alimentaria y la dependencia de la energía fósil”.(Rosati et al., 2021)

En lo que respecta a las diferencias frente a la agricultura ecológica, destaca que:

- La agricultura ecológica basa su sistema de abonado en la protección de la fertilidad de los terrenos, utilizando abonos naturales; sin embargo, la agricultura convencional utiliza generalmente productos de síntesis química con una mayor aportación de nitrógeno que del resto de los nutrientes esenciales. (Hoagland and Arnon, 1950)
- En la agricultura convencional, los pesticidas están permitidos. Cuando los estos se aplican, no todos logran llegar a sus objetivos, y una parte considerable de ellos quedan como residuos en los suelos y son absorbidos por las plantas.(Parween et al., 2016). (El uso de pesticidas en la agricultura convencional conlleva una serie de problemas para el medio ambiente, tales como: la contaminación del suelo, agua y atmósfera por contaminantes orgánicos persistentes; los procesos bióticos y abióticos de degradación determinarán dicha duración o persistencia; así pues, los pesticidas pueden translocarse en todo el ecosistema, causando el empobrecimiento del suelo de cultivo debido a la alteración de las propiedades del suelo y del ecosistema que conforma. Esto puede provocar que las especies que viven en él acaben desapareciendo (reducción de la biodiversidad);(Lykogianni et al., 2021) los pesticidas tienen impactos sobre la salud humana. Los investigadores han observado asociaciones con el cáncer, las enfermedades neurológicas, los impactos respiratorios y otras condiciones adversas en las poblaciones humanas.(Tago et al., 2014).
- Mientras que el modelo de cultivo ecológico fomenta “la biodiversidad de microorganismos, la agricultura convencional se basa en su eliminación”, mediante la mecanización del cultivo (Agroptima, 2022); así pues, la agricultura

convencional fomenta el desbrozamiento y eliminación de cualquier tipo de planta que no sea el propio cultivo, plantas que son un refugio y fuente microorganismos, los cuales también se encuentran en el suelo que es roturado con asiduidad a diferencias del modelo ecológico.

- En la agricultura ecológica, la variedad de plantaciones es generalmente la originaria, las de carácter local, así pues, a lo largo del tiempo han ido generando una mayor resistencia a las enfermedades y a las plagas que les afecten; en el caso de la agricultura convencional, las variedades locales se han ido perdiendo, evolucionando hacia derivados híbridos (Agroptima, 2022).
- En la agricultura convencional suele predominar el monocultivo, potenciando este hecho la aparición de plagas. Sin embargo, en la agricultura ecológica, los cultivos van rotando propiciando una mayor diversidad (Agroptima, 2022).

En lo que respecta a la fertilización en el modelo convencional, podemos destacar que involucra el uso excesivo de fertilizantes sintéticos y plaguicidas (Huang, 2002). Su elevado uso produce unas “altas concentraciones de nitratos en los tejidos de las plantas, además contamina el suelo y por ende las aguas subterráneas” (FAO, 2022).

I.III El papel de la agricultura como sumidero de carbono

La agricultura juega un papel clave como sumidero de carbono, así pues, los árboles, las plantaciones y la vegetación en general, por su capacidad fotosintética retiran CO₂ de la atmósfera, almacenándolo y actuando, así como sumideros del mismo. Muchas especies de interés agrícola se caracterizan por “poseer una alta velocidad de crecimiento, incluso superior a la de numerosas especies de vegetación de tipo natural, lo que significa una mayor tasa de fijación de CO₂”. (Inteligencia, 2010) Estos resultados fueron publicados por la Universidad Politécnica de Cartagena, la Universidad de Murcia y el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura CEBAS-CSIC en el marco de la Iniciativa *Agricultura murciana como sumidero de CO₂*. En este estudio se compararon las velocidades netas de fijación de CO₂ de una especie de vegetación natural como es el Pino (*Pinus halepensis*) y varios árboles frutales.

Los resultados mostraron que una hectárea ocupada por una conífera, como es el pino, de 14 años de edad “fijaba diez veces menos de CO₂ que otra en iguales condiciones de riego destinada a árboles frutales. Gran parte del CO₂ que fija la planta queda almacenado en

el suelo gracias a sus raíces, comportándose como un sumidero a largo plazo, mientras que el CO₂ necesario para el carbono contenido en la cosecha se comporta como un sumidero temporal” (Inteligencia, 2010).

I.V El cultivo del limón y su papel como sumidero de carbono

a) Situación actual del limón

En España, la principal zona de producción de limón se localiza en la Región de Murcia donde, según datos de Ailimpo (Asociación Interprofesional de Limón y Pomelo), “la campaña 2021/2022 se cerró con una producción en España de 1.035.000 toneladas, lo que supone un descenso del 23% en comparación con la campaña 2020/2021 cerró con una producción record de 1.340.000 toneladas” (Agroinformación.com, 2020).

Los limones de nuestro país han tenido como principal destino los mercados europeos, sin embargo, en los últimos años la competencia del mercado turco ha crecido debido a la bajada de precios respecto al mercado español. No obstante, se prevé una buena campaña para los limones españoles (Crowder and Reganold, 2015).

b) El cultivo de cítricos como sumidero de carbono

Los cítricos son cultivos leñosos, los cuales “almacenan carbono en su biomasa y poseen características que podrían contribuir a mitigar el cambio climático” principalmente a través del secuestro de carbono. Los cítricos en modalidad de cultivo ecológico “están asociados a emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) menores que en modalidad convencional, tanto por hectárea (ha) (47%-90% de reducción) como por kg de producto (44%-69% de reducción)” (Aguilera, E. et al 2019).

Por otra parte, el secuestro de carbono en modalidad de cultivo ecológico se podría potenciar más con la aplicación de cubiertas vegetales, el uso de enmiendas orgánicas y la incorporación al suelo de los restos de poda. Esto significa que estas prácticas “no dependen de fuentes externas que pueden estar limitadas a nivel local”, así que podrían extenderse por todo el territorio nacional. En síntesis, las reducciones de la huella de carbono “están en algo más del 60% en varios estudios sin tener en cuenta el secuestro de C, lo que puede suponer que este porcentaje sea aún mayor. Además, el secuestro de C puede compensar cerca del 50% de las emisiones” (Aguilera et al., 2019). El cultivo ecológico fija más carbono debido a la menor utilización de mecanización para las labores agrícolas, el uso de pesticidas naturales en vez de sintéticos y al bajo contenido de compuestos nitrogenados en los abonos utilizados para su fertilización.

c) La huella de carbono, concepto y cálculo

La huella de carbono surge como una medida de “cuantificar y generar un indicador del impacto que una actividad o proceso tiene sobre el cambio climático”, más allá de los grandes emisores. Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, la huella de Carbono se define como “el conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero producidas, directa o indirectamente, por personas, organizaciones, productos, eventos o regiones geográficas, en términos de CO₂ equivalentes, y sirve como una útil herramienta de gestión para conocer las conductas o acciones que están contribuyendo a aumentar nuestras emisiones, cómo podemos mejorarlas y realizar un uso más eficiente de los recursos” (Ecológica, 2022).

Hay tres tipos de alcance (emisiones) para calcular la huella de carbono, “las emisiones de alcance 1 son emisiones directas producidas por quema de combustibles por parte del emisor”; Las emisiones de alcance 2 son emisiones indirectas generadas por “la electricidad consumida y comprada por el emisor”, mientras que las de alcance 3 son emisiones indirectas que se producen por “la actividad del emisor pero que son propiedad y están bajo el control de un agente ajeno al emisor”. (Sostenibilidad, 2022) Para calcular la huella de carbono de una explotación agrícola (alcance 1+2), el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico del Gobierno de España ha puesto a disposición de la ciudadanía una calculadora online que “permite estimar las emisiones de gases de efecto invernadero de alcance 1+2 producidas por una explotación agrícola”. Es por ello que se ha adaptado la calculadora de huella de carbono incluyendo las especificidades propias de la actividad agrícola. En concreto, de manera adicional a la calculadora de organización, recoge “las emisiones derivadas del uso de fertilizantes, sintéticos u orgánicos, de la utilización de enmiendas calizas y de la gestión de los residuos de los cultivos”. Además, calcula de manera diferenciada las emisiones de “la maquinaria utilizada para realizar las labores propias de los cultivos”. (Sostenibilidad, 2022) Por último, se ha incluido un apartado en el que de manera aproximada se puede “conocer el impacto de las distintas prácticas de gestión del suelo sobre el carbono almacenado en el mismo”.

II. HIPÓTESIS

Dado que se ha demostrado que la agricultura ecológica es más beneficiosa para el medio ambiente, también reporta menores rendimientos, lo que supondría una menor tasa de fijación de CO₂. Sin embargo, el hecho de que la fertilización y gestión del modelo

ecológico emita menos gases de efecto invernadero nos ha hecho plantear este trabajo científico en el que el propósito es estudiar si la práctica de la modalidad de agricultura ecológica en el cultivo del limón es más eficiente fijando CO₂ frente a la práctica de modalidad de agricultura convencional. Para ello, se calcularán todas las emisiones y las fijaciones en biomasa (calculando el balance) teniendo en cuenta diferentes sistemas de riego y diferentes especies de injerto y portainjerto, ya que estas variables podrían ser fundamentales para una efectiva producción del cultivo del limón y por tanto para aumentar las fijaciones totales de CO₂.

III. OBJETIVOS

El principal objetivo del presente trabajo científico, es la valoración de los distintos portainjertos de limonero (*Citrus x limón*) de la variedad “Fino”, utilizados (patrón de naranja dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) y patrón de naranja amarga (*Citrus x aurantium*) (CA)), para poder determinar la tasa de fijación de CO₂ de los mismos, estando combinados en distintas modalidades de cultivo (ecológico y convencional) y de riego (a manta y por goteo).

En otro segundo objetivo, se estudia la compatibilidad de las especies de injerto y portainjerto sobre el transporte de nutrientes, mediante el análisis mineral de las muestras de dos grupos de limoneros (*Citrus x limón*) de la variedad “Verna”: limonero CNm y limonero CSm; todo ello contemplado en la publicación: “Nutrient passage in different grafted lemon trees” Congreso “Biology and Life Sciences Forum”. El tercer objetivo es el cálculo de la huella y sumidero de Carbono de los distintos grupos estudiados.



Ilustración 1. Injerto de limonero (*Citrus x limón*) variedad “Fino” sobre pie de naranja amargo (*Citrus x aurantium*) (con Miriñaque) (CA) (**ilustración izquierda**). Injerto de limonero Fino en pie de naranja dulce (*Citrus x sinensis*) (sin Miriñaque) (CS) (**ilustración derecha**).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.I Condiciones experimentales

La finca experimental se localiza en el municipio de Librilla (Región de Murcia), en el sureste de la Península Ibérica (37.90728 N, -1.34315 E). Es una zona semiárida de donde predomina el clima mediterráneo con precipitaciones anuales que oscilan entre los 300-400 mm y temperaturas medias anuales entre 40-16 °C (Montaner et al, 2002).

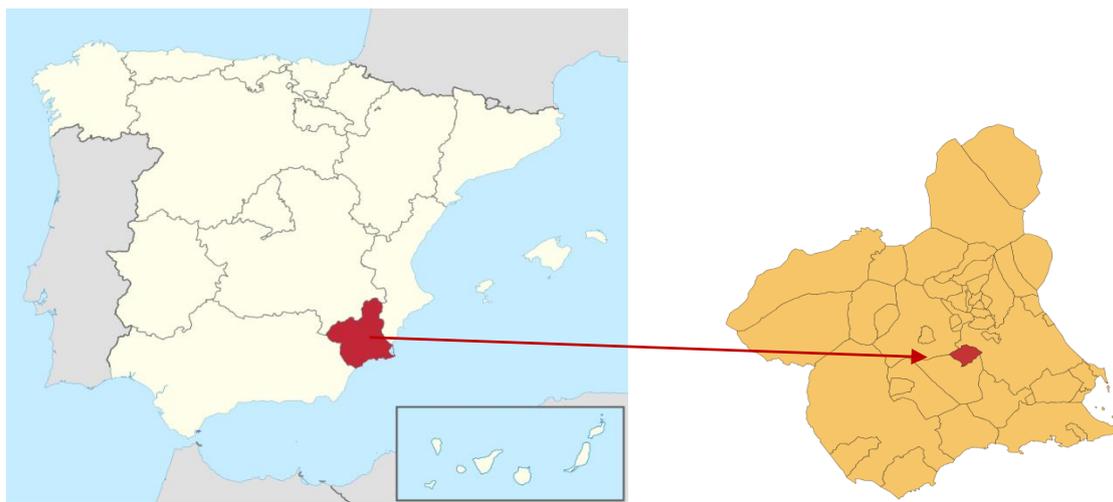


Ilustración 2. Mapa de España, Región de Murcia y la situación de la zona de Librilla donde se realizó el estudio.

En lo que respecta a los materiales y métodos del estudio de la compatibilidad de las especies de injerto y portainjerto sobre el transporte de nutrientes, mediante el análisis mineral de las muestras de dos grupos de limoneros (*Citrus x limón*) de la variedad “Verna”, recogido en la publicación “Nutrient passage in different grafted lemon trees” para el Congreso “Biology and Life Sciences Forum”; cabe destacar que el trabajo científico se realizó con árboles de la variedad “Verna”, modalidad de cultivo convencional y riego a manta y 40 años de edad. En ellos se diferenció la variable del tipo de portainjerto: (naranja amargo *Citrus x aurantium* (CA) y naranja dulce *Citrus x sinensis* (CS)). Las combinaciones de las variables o grupos se estudiaron de la siguiente forma:

CSm-Limonero (*Citrus x limón*) injertado en *Citrus x aurantium* (CA) (presenta Miriñaque) y modalidad convencional.

CNm-Limonero (*Citrus x limón*) injertado en *Citrus x sinensis* (CS) (no presenta Miriñaque) y modalidad convencional.

Tabla 1. Características de las variables del estudio y abreviaturas correspondientes: arboles de limonero CSm-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque); modalidad convencional y riego a manta. CSNm-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x senensis*) (CS) (no presenta Miriñaque); modalidad convencional y riego a manta.

Color/ Abreviatura	Árbol	Variedad	Patrón	Presenta Miriñaque	Modalidad de cultivo	Modalidad de riego	Área ha
CSm	<i>Citrus x limon</i>	Verna	<i>Citrus x aurantium</i>	Sí	Convencional	Manta	0,30
CNm	<i>Citrus x limon</i>	Verna	<i>Citrus x sinensis</i>	No	Convencional	Manta	0,25



Ilustración 3. Distribución del área de muestreo y estudio. Cada color representa el perímetro de cada uno de los grupos estudiados: El color naranja representa el limonero CSm-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque); modalidad convencional y riego a manta. El color azul cielo representa el limonero CSNm-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x senensis*) (CS) (no presenta Miriñaque); modalidad convencional y riego a manta.

En referencia a la valoración de los distintos portainjertos de limonero (*Citrus x limón*), utilizados (patrón de naranja dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) y patrón de naranja amarga (*Citrus x aurantium*) (CA)), para poder determinar la tasa de fijación de CO₂ de los mismos, estando combinados en distintas modalidades de cultivo (ecológico y convencional) y de riego (a manta y por goteo); destaca que el estudio se realizó con árboles de la variedad “Fino”, con 40 años de edad. En ellos se diferenciaron 3 tipos de variables: el tipo de portainjerto (naranja amargo *Citrus x aurantium* (CA) y naranja dulce *Citrus x sinensis* (CS)), modalidad de cultivo (ecológico y convencional) y modalidad de riego (a manta y por goteo). Las combinaciones de las variables o grupos se estudiaron de la siguiente forma:

CSM-Limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranja amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego a manta.

ESM-Limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie naranja amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego a manta.

ENM-Limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie naranja amargo (*Citrus x sinensis*) CS (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego a manta.

ENG-Limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie naranja naranja dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego por goteo.

CNG-Limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie naranja naranja dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego por goteo.

Tabla 2. Características de las variables del estudio y abreviaturas correspondientes: arboles de limonero ESM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranja amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque); modalidad ecológica y riego a manta. CSM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranja amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque); modalidad convencional y riego a manta. ENM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranja dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego a manta. CNG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranja dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego por goteo. ENG- limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranja dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego por goteo.

Color/ Abreviatura	Árbol	Variedad	Patrón	Presenta Miriñaque	Modalidad de cultivo	Modalidad de riego	Área ha
CSM	<i>Citrus x limon</i>	Fino	<i>Citrus x aurantium</i>	Sí	Convencional	Manta	0,40
ESM	<i>Citrus x limon</i>	Fino	<i>Citrus x aurantium</i>	Sí	Ecológico	Manta	0,15
ENM	<i>Citrus x limon</i>	Fino	<i>Citrus x sinensis</i>	No	Ecológica	Manta	0,40
ENG	<i>Citrus x limon</i>	Fino	<i>Citrus x sinensis</i>	No	Ecológico	Goteo	0,35
CNG	<i>Citrus x limon</i>	Fino	<i>Citrus x sinensis</i>	No	Convencional	Goteo	0,13

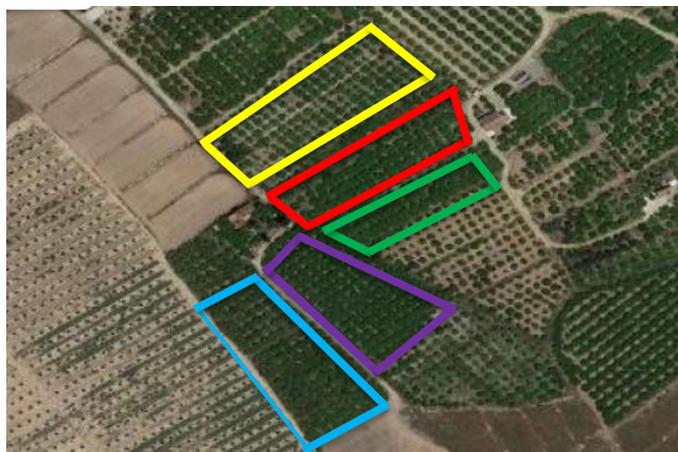


Ilustración 4. Distribución del área de muestreo y estudio. Cada color representa el perímetro de cada uno de los grupos estudiados: color rojo, arboles de limonero ESM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque); modalidad ecológica y riego a manta. Color amarillo, CSM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque); modalidad convencional y riego a manta. Color azul, ENM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego a manta. Color verde, CNG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego por goteo. Color violeta,

ENG- limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego por goteo.

IV.II Procesado, y análisis de las muestras.

La recogida de muestras tuvo lugar en febrero de 2022 en la ubicación descrita en el apartado anterior. De cada uno de los 7 grupos de limoneros (5 del primer objetivo y 2 del segundo), hubo 5 réplicas (árboles) de los cuales se recolectaron las muestras (35 árboles en total). De cada árbol, se recolectaron 500 g de hojas viejas, hojas nuevas y raíces, las muestras fueron clasificadas individualmente en bolsas previamente etiquetadas. Una vez recolectadas, las muestras se trasladaron al laboratorio de suelos del Grupo de Investigación en Aquaporinas del CEBAS-CSIC (Campus Universitario de Espinardo, Murcia, Región de Murcia) para su procesado.

En primer lugar, se lavaron y seguidamente se pesaron en una balanza de precisión para determinar su peso fresco. Después se secaron en una estufa de aire a 60 ° C durante 4 días. Una vez secas, se volvieron a pesar para determinar su peso seco.

Con la ayuda de un molinillo de laboratorio IKA modelo A10 se trituraron y posteriormente los minerales se analizaron mediante análisis de plasma acoplado inductivamente (ICP) (Optima 3000, PerkinElmer). (Carvajal et al al, 2012)



Ilustración 5. Pesado y secado de las muestras de hojas de *Citrus x limón*.

En este apartado se va a proceder a explicar los distintos protocolos utilizados durante el estudio para poder obtener los datos planteados

a) Biomasa total del árbol

La biomasa total (Kg árbol) se estimó a partir de muestras pequeñas según lo informado por Carvajal et al, 2012; para ello se dividió cada árbol de estudio en cuatro secciones, escogiendo una de ellas al azar para realizar los cálculos correspondientes. Primeramente, se estimó el peso del tronco mediante el cálculo del volumen del mismo ($V = \pi h r^2$), seguidamente se estimó el peso de las ramas; para ello se cortó una rama principal (sin tallos ni hojas) y se pesó, seguidamente ese peso se multiplicó por el número de ramas de dicha sección y este a su vez por 4 (correspondiente a las 4 secciones del árbol). En lo que respecta a los tallos, se siguió el mismo procedimiento, contando y pesando el número de tallos que hay en una rama y multiplicándolo por el número de ramas de la sección y esta su vez por 4. Mientras que, para las hojas, se contaron el número de las mismas en cada tallo, siendo los siguientes pasos los mismos descritos anteriormente (Carvajal et al, 2012). Los frutos y la poda no se estiman en la biomasa total del árbol, mientras que, para poder obtener el peso de la raíz, esta se encuentra en una relación del 70/30 respectivamente de la biomasa total del árbol (Morgan et al., 2006).

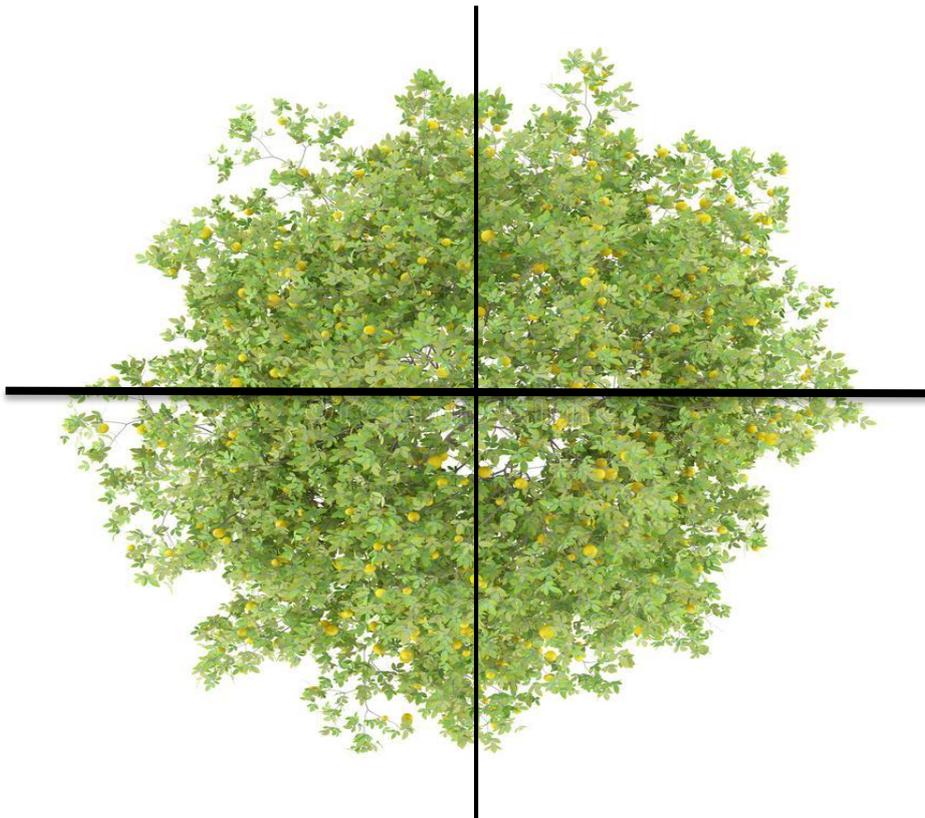


Ilustración 6. Plano aéreo limonero dividido en cuatro secciones

b) Biomasa anual del árbol

Una vez obtenidos los datos de la biomasa total del árbol, según lo informado por Carvajal et al, 2012, para poder calcular la biomasa anual del árbol (kg) hay que incluir el peso de la poda (calculada a partir de la suma de la biomasa total de las ramas, tallos y hojas dividido entre 3) y el peso de la cosecha (calculada en base a los kg totales de limón dividido entre el número de árboles totales). Para calcular la biomasa anual de las hojas se ha tenido en cuenta que la biomasa foliar de un limonero se renueva cada 3 años, por lo tanto, se ha dividido la biomasa total foliar entre 3, mientras que el tallo y la raíz la división ha sido por 1 año y finalmente el tronco se ha dividido por número de años total de cada árbol (Carvajal et al, 2012).



Ilustración 7. Restos de la poda de un limonero

c) Carbono del suelo

El protocolo utilizado para poder obtener el carbono de cada uno de los suelos de los distintos grupos de limoneros fue el siguiente:

En primer lugar, se cogió la muestra de suelo *in-situ* con una pala y se etiquetó en su correspondiente bolsa. Una vez en el laboratorio de suelos del Grupo de Investigación en Aquaporinas del CEBAS-CSIC, se pasó la muestra a través de un tamiz de 6 mm de poro,

Una vez tamizada la muestra se depositó sobre un papel limpio y se dejó secar la estufa a 60 °C, una vez seco el material se desmenuzó, deshaciendo los terrones con ayuda del mortero o mazo de goma hasta que se obtuvo un material de aspecto homogéneo con tamaño de partícula que permita pasar a través de un tamiz de 2 mm. Finalmente se determinó el contenido de Carbono y Nitrógeno.

d) Total de Carbono fijado anualmente

El total de Carbono fijado anualmente se determinó para cada árbol y en función del área de superficie cultivada, expresado en: $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$, $Kg\ ha$ y $g\ m^2\ año$; además se expresó también con respecto al total de CO_2

e) Análisis mineral. Biol. Life Sci. Forum 2021, “Nutrient passage in different grafted lemon trees”

Se seleccionaron cinco árboles diferentes dentro de cada tipo de patrón de injerto (*Citrus x sinensis* y *Citrus x aurantium*), (árboles de 40 años) cultivados en prácticas agrícolas convencionales. De cada árbol, se recolectaron 500 g de hojas viejas, hojas nuevas y raíces. Una vez recolectadas, las muestras se trasladaron al laboratorio para su procesamiento. Se pesaron, se secaron en un horno a $60\ ^\circ\ C$ durante 4 días y, después de triturarlas, se analizaron mediante un análisis de plasma acoplado inductivamente (ICP) (Optima 3000, PerkinElmer). El cálculo de la totalidad biomasa arbórea se estimó acorde a la metodología descrita en Carvajal et al, 2012.

f) Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante el programa IBM SPSS Statistics para los siguientes datos: biomasa anual, biomasa total, total C $g\ m^2\ año$, total C $kg\ ha^{-1}$, g C árbol⁻¹, g CO_2 árbol⁻¹, total C $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ y total $CO_2\ t\ ha^{-1}\ año^{-1}$.

g) Huella de Carbono

El cálculo de la huella de carbono se ha llevado a cabo mediante la calculadora del Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico; en la que se han introducido los datos de: producción de limones ($Kg/año$), densidad de plantación, emisiones de CO_2 de las labores de poda, fumigación, recolección y trayectos; y el tipo-cantidad (Kg/ha) de fertilizantes utilizados para cada uno de los distintos grupos estudiados. En el anexo de cálculos (final del documento) se pueden encontrar detalladamente los cálculos realizados.

La web donde se puede encontrar la calculadora citada para el alcance 1+2 es:

<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.aspx>

V. RESULTADOS

Los resultados se han dividido en cuatro apartados: El primero de ellos se va a comparar el tipo de cultivo (convencional vs ecológico) estudiando los siguientes grupos de limoneros: ESM vs CSM. En el segundo grupo se comparó el limonero ENG vs CNG, para comprobar si hay diferencias entre el cultivo convencional y el ecológico en determinados aspectos (biomasa anual, biomasa total, total C g m² año, total C kg ha⁻¹, g C árbol⁻¹, g CO₂ árbol⁻¹, total C t ha⁻¹ año⁻¹ y total CO₂ t ha⁻¹ año⁻¹).

En el segundo, se estudió los efectos del “Miriñaque” en el transporte de nutrientes en los limoneros dependiendo del tipo de injerto utilizado.

En el tercer apartado, se compararon los siguientes grupos de limoneros: ENM vs ESM; para comprobar si hay diferencias significativas, en relación al tipo de portainjerto utilizado, en determinados aspectos entre ellos (biomasa anual, biomasa total, total C g m² año, total C kg ha⁻¹, g C árbol⁻¹, g CO₂ árbol⁻¹, total C t ha⁻¹ año⁻¹ y total CO₂ t ha⁻¹ año⁻¹).

En el último apartado se presentan los datos obtenidos del cálculo de la huella de carbono según el programa del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico del Gobierno de España para los 5 grupos de limoneros estudiados en el presente estudio.

V.I Tasa de fijación de CO₂ y efecto Ecológico vs Convencional

a) ESM VS CSM

En lo que respecta al primer apartado de los resultados, la comparación del efecto de la modalidad de cultivo (ecológico vs convencional) entre dos grupos de estudio: ESM vs CSM, se puede observar (Tabla 3) que los resultados obtenidos en ESM, en todas las determinaciones y cálculos, son algo mayores que los obtenidos en CSM, sin embargo, no presentan diferencias significativas.

Tabla 3. Resultados de biomasa total, anual y total de C y CO₂ fijado en arboles de limonero CSM-Limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego a manta y ESM-Limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego a manta. Datos son medias ± SE. Datos seguidos de la misma letra o sin letra, no son diferentes significativamente. La estadística se realizó de manera individual para cada parámetro.

	Biomasa Total (Kg árbol ⁻¹)	Biomasa Anual (Kg árbol ⁻¹)	Total Carbono C (g m ² año ⁻¹)	Total Carbono C (Kg ha ⁻¹)
ESM	238,66 ± 55,48 a	319,97 ± 43,55 a	1668,58 ± 344,48 a	16685,85 ± 3444,50 a
CSM	213,70 ± 43,48 a	222,95 ± 56,12 a	1403,34 ± 250,75 a	14033,43 ± 2050,92 a

	g Carbono C (árbol ⁻¹)	g CO ₂ (árbol ⁻¹)	Total Carbono C (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Total CO ₂ (t ha ⁻¹ año ⁻¹)
ESM	50563,18 ± 10437,89 a	185398,33 ± 38272,26 a	16,68 ± 3,44 a	61,17 ± 12,62 a
CSM	45269,13 ± 6615,86 a	165986,83 ± 24258,17 a	14,03 ± 2,04 a	51,44 ± 7,51 a

b) ENG VS CNG

Si comparamos los resultados del limonero ENG y del limonero CNG; podemos observar que los resultados de ENG fueron ligeramente superiores a CNG excepto en la biomasa anual (Kg/árbol). A destacar que en análisis estadístico tampoco resaltó diferencias significativas entre ambos grupos.

Tabla 4. Resultados de biomasa total, anual y total de C y CO₂ fijado en arboles de limonero ENG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego por goteo y CNG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego por goteo. Datos son medias ± SE. Datos seguidos de la misma letra o sin letra, no son diferentes significativamente. La estadística se realizó de manera individual para cada parámetro.

	Biomasa Total (Kg árbol ⁻¹)	Biomasa Anual (Kg árbol ⁻¹)	Total Carbono C (g m ² año ⁻¹)	Total Carbono C (Kg ha ⁻¹)
ENG	334,31 ± 24,71 a	346,27 ± 20,06 a	2587,53 ± 283,67 a	25875,36 ± 1974,15 a
CNG	269,30 ± 62,94 a	402,40 ± 49,46 a	2386,04 ± 470,32 a	23860,98 ± 4390,21 a

	g Carbono C (árbol ⁻¹)	g CO ₂ (árbol ⁻¹)	Total Carbono C (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Total CO ₂ (t ha ⁻¹ año ⁻¹)
ENG	69933,4 ± 5335,54 a	256422,5 ± 19563,64 a	25,87 ± 1,97 a	94,87 ± 7,23 a
CNG	68174,24 ± 12543,45 a	249972,21 ± 45992,66 a	23,86 ± 4,39 a	87,48 ± 16,09 a

Por lo tanto, en ambos apartados estudiados (a y b) se obtienen mayores datos en los grupos de modalidad de cultivo ecológico que en los de modalidad convencional.

V.II Efecto del portainjerto sobre la nutrición mineral.

En este apartado se va a proceder a exponer los resultados de la publicación “Nutrient passage in different grafted lemon trees” para el Congreso “Biology and Life Sciences Forum”. Las hojas nuevas y viejas de limón Verna en limonero CNm (Tabla 5) mostraron mayores concentraciones de Fe, Mn y Zn que las hojas nuevas y viejas de limón Verna en limonero CSm. También se puede observar que el Ca es más alto en las hojas viejas que en las nuevas. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre limonero CSm y limonero CNm.

El Fe y el Mo también fueron más altos en las hojas viejas que en las hojas nuevas, pero el Fe se encontró muy reducido en los árboles de limonero CSm tanto en las hojas nuevas como en las viejas, mientras que el Mo no sufrió cambios. La concentración de K fue opuestamente más alta en hojas nuevas que en hojas viejas, pero sin diferencias entre limonero CSm y limonero CNm. El Mn se redujo en las hojas viejas de limonero CNm en comparación con las hojas viejas de limonero CSm, pero no hubo diferencias significativas entre ambas hojas viejas. El Zn no se alteró entre todos los árboles. En general, se encontró Fe como el microelemento con mayor concentración, seguido de Mn y Zn en hoja nueva, hoja vieja.

Los resultados obtenidos sobre la concentración de nutrientes minerales en raíz (Tabla 6) mostraron que las muestras de raíz del limonero CSm, contenían una mayor cantidad de los elementos: Fe, Mn y Zn que las muestras del limonero CNm.

El resto de nutrientes no mostró diferencias significativas. Por otro lado, el análisis mineral de raíz mostró que los valores fueron mayores para Ca, Fe, K, Mg, Mn y Zn en limonero CSm, que para el limonero CNm. Por el contrario, el elemento Mo mostró una mayor concentración en limonero CNm, que en limonero CSm.

Tabla 5. Resultados del análisis mineral de las hojas de árboles de limonero nuevas y viejas de limonero CNm-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque) y modalidad convencional, y limonero CSm-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque) y modalidad convencional. Los datos son un promedio de las medias \pm SE de 5 árboles. Datos seguidos de la misma letra o sin letra, no son diferentes significativamente. La estadística se realizó de manera individual para cada parámetro.

	Ca(g/100g) \pm SE	Fe(mg/Kg) \pm SE	K(g/100g) \pm SE	Mg(g/100g) \pm SE	Mn(mg/Kg) \pm SE	Mo(mg/Kg) \pm SE	Zn(mg/Kg) \pm SE
HNCNm	2.693 \pm 0.231	118.140 \pm 18.821	1.510 \pm 0.017	0.288 \pm 0.017	32.393 \pm 2.256	0.253 \pm 0.009	17.590 \pm 1.754
HVCNm	4.430 \pm 0.462	211.760 \pm 29.545	0.933 \pm 0.029	0.307 \pm 0.029	38.887 \pm 2.866	0.130 \pm 0.026	17.267 \pm 1.072
HNCsm	2.490 \pm 0.186	70.227 \pm 6.019	1.463 \pm 0.110	0.264 \pm 0.006	25.517 \pm 0.148	0.273 \pm 0.048	17.183 \pm 1.599
HVCsm	4.753 \pm 0.761	149.111 \pm 25.541	0.969 \pm 0.213	0.370 \pm 0.050	38.720 \pm 4.028	0.191 \pm 0.099	19.460 \pm 3.428

Tabla 6. Resultados del análisis mineral de las raíces de árboles de limonero CSm-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque) y modalidad ecológica, y limoneroCNm-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque) y modalidad convencional. Los datos son un promedio de las medias \pm SE de 5 árboles. Datos seguidos de la misma letra o sin letra, no son diferentes significativamente. La estadística se realizó de manera individual para cada parámetro.

	Ca(g/100g) \pm SE	Fe(mg/Kg) \pm SE	K(g/100g) \pm SE	Mg(g/100g) \pm SE	Mn(mg/Kg) \pm SE	Mo(mg/Kg) \pm SE	Zn(mg/Kg) \pm SE
RCSm	1.15 \pm 0.12	619.72 \pm 53	0.17 \pm 0.04	0.113 \pm 0.23	21.09 \pm 3.5	0.51 \pm 0.08	5.32 \pm 0.98
RCNm	2.74 \pm 0.10	1299.45	0.28 \pm 0.06	0.174 \pm 0.01	43.24 \pm 6.8	0.33 \pm 0.04	18.01 \pm 2.72

Tabla 7. Resultados de biomasa total y anual de limonero CSm-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque) y modalidad convencional; y limonero CNm-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque) y modalidad convencional. Los datos son un promedio de las medias \pm SE de 5 árboles. Datos seguidos de la misma letra o sin letra, no son diferentes significativamente. La estadística se realizó de manera individual para cada parámetro.

	Biomasa Total (Kg/árbol) \pm SE	Biomasa Anual (Kg/árbol) \pm SE	Limones anuales (Kg/árbol) \pm SE
CSm	215.79 \pm 35	224.96 \pm 45	85 \pm 10
CNm	269.30 \pm 51	402.40 \pm 45	200 \pm 10

Con respecto a la tabla número 7, podemos observar que tanto la biomasa total como la biomasa anual, ambas expresadas en kg por árbol, fueron mayores en el limonero injertado sobre portainjerto de CS que en el limonero injertado sobre portainjerto de CA. Otro dato a destacar es que la producción de limón fue mayor en *Citrus x sinensis* con 200 Kg por árbol frente a 85 Kg por árbol en CA.

V.III Efecto del portainjerto sobre la fijación de CO₂. ENM VS ESM

En este tercer apartado, se realiza un estudio comparativo entre los diferentes tipos de portainjerto en el limonero ENM vs limonero ESM, en relación a la fijación de CO₂. Como podemos comprobar en la tabla 8, todos los datos calculados son mayores en el grupo ESM frente al grupo ENM, con especial diferencia en relevancia en las medidas de C y CO₂, donde los datos de ENM duplican a los de ESM en ambos.

Tabla 8. Resultados de biomasa total, anual y total de C y CO₂ fijado en arboles de limonero ENM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y ESM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego a manta. Datos son medias ± SE. Datos seguidos de la misma letra o sin letra, son diferentes significativamente. La estadística se realizó de manera individual para cada parámetro.

	Biomasa Total (Kg árbol ⁻¹)	Biomasa Anual (Kg árbol ⁻¹)	Total Carbono C (g m ² año ⁻¹)	Total Carbono C (Kg ha ⁻¹)
ENM	149,52 ± 7,18 a	165,76 ± 5,74 a	992,74 ± 544,04 a	9927,47 ± 2728,68 a
ESM	238,66 ± 55,48 b	319,07 ± 43,55 b	1668,58 ± 344,44 b	16685,85 ± 3444,50 b

	g Carbono C (árbol ⁻¹)	g CO ₂ (árbol ⁻¹)	Total Carbono C (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Total CO ₂ (t ha ⁻¹ año ⁻¹)
ENM	32024,12 ± 2082,62 a	117421,79 ± 7636,45 a	9,92 ± 0,64 a	36,39 ± 2,36 a
ESM	50563,18 ± 10437,89 b	185398,33 ± 38272,26 b	16,68 ± 3,44 b	61,17 ± 12,62 b

Como se puede observar en la Tabla 8, los g C árbol⁻¹, g CO₂ árbol⁻¹, T C ha⁻¹ año⁻¹ T CO₂ ha⁻¹ año⁻¹ fueron significativamente mayores en el limonero ESM que en el limonero ENM.

V.IV Huella de Carbono

En cuanto al cálculo de la huella de carbono, los datos obtenidos (figura 1) son los datos obtenidos son los siguientes según la calculadora del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico del Gobierno de España.

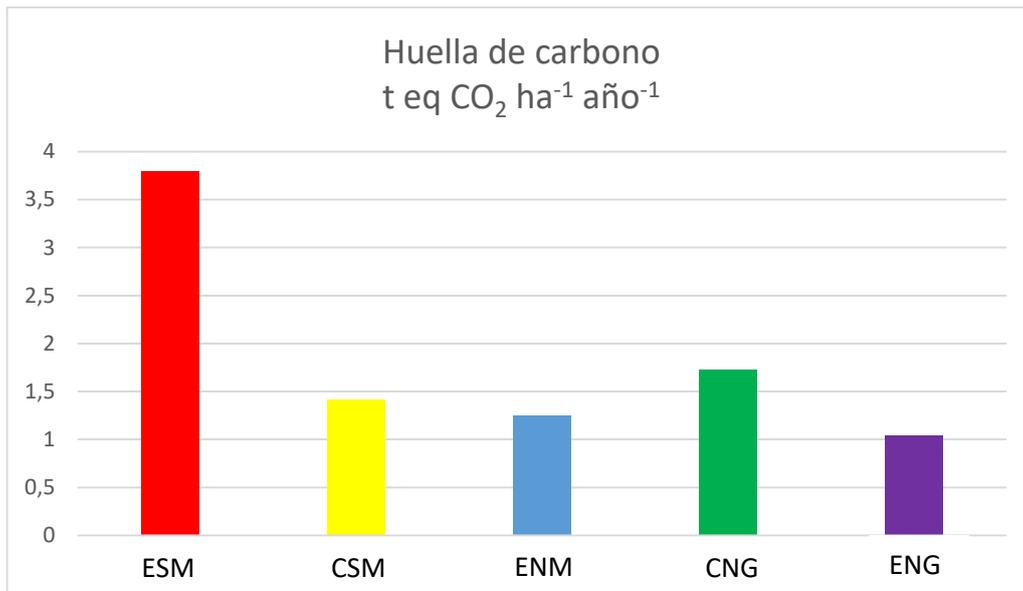


Figura 1. Resultados de la Huella de C en arboles de limonero ESM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque); modalidad ecológica y riego a manta, CSM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque); modalidad convencional y riego a manta, ENM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego a manta; CNG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego por goteo; ENG- limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego por goteo.

En la figura 1, podemos observar que la mayor huella de carbono es la del grupo ESM, mientras que la menor es la del grupo ENG; si atendemos solamente a la comparación de los grupos de modalidad de cultivo ecológico, en el grupo ESM (con Miriñaque) se obtuvo una mayor huella de carbono que en el grupo ENM (sin Miriñaque), ambos con la modalidad de regadío a manta. Si atendemos a comprar los grupos de regadío a goteo, el grupo ENG (modalidad de cultivo ecológico) obtuvo una menor huella de carbono frente al grupo CNG (modalidad de cultivo convencional).

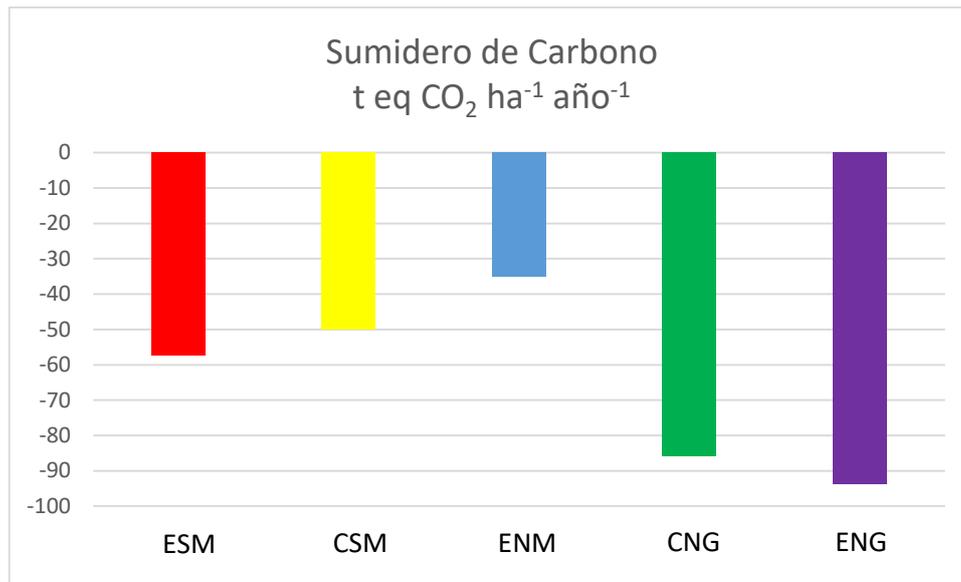


Figura 2. Resultados del sumidero de C (t CO₂ eq año) en arboles de limonero ESM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque); modalidad ecológica y riego a manta, CSM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque); modalidad convencional y riego a manta, ENM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego a manta; CNG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego por goteo; ENG- limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego por goteo.

En la figura 2 (sumidero de C t eq CO₂ ha⁻¹ año⁻¹, calculado mediante la diferencia de los datos de fijación de CO₂ t ha⁻¹ año⁻¹ y la huella de C de la experimentación propia), podemos observar que el grupo de limoneros que fija más CO₂ es ENG seguido de la del grupo CNG, mientras que la menos fija es la del grupo ENM. En esta medida se ha tenido en cuenta las emisiones directas e indirectas en el proceso de producción.

VI. DISCUSIÓN

Tasa de fijación de CO₂ y efecto Ecológico vs Convencional

Si atendemos a la comparación del efecto ecológico vs convencional, concretamente la comparación entre dos grupos que tienen dos factores en común, presentan “Miriñaque” y la modalidad de riego a manta: limonero CSM y ESM, podemos destacar que el grupo ESM presenta unos datos similares en todos los campos de estudio calculados frente al grupo CSM; Los grupos de limoneros *Citrus x limón* cultivados en modalidad ecológica presentan una tasa de fijación de C y CO₂ similar que los grupos de modalidad de cultivo convencional.

Por otra parte, en lo que respecta a la comparativa de dos que tienen dos factores en común totalmente opuestos a los primeramente expuestos, no presentan “Miriñaque” y la modalidad de regadío es por goteo: limonero ENG y CNG, podemos observar que el grupo ENG es superior en todos los campos al grupo CNG menos en la biomasa anual (Kg/árbol); destacando que en análisis estadístico tampoco resaltó diferencias significativas entre ambos grupos. Es por ello que podemos afirmar que el cultivo de limón “Fino” en la modalidad ecológica presenta mejores resultados en prácticamente todos los campos estudiados (especialmente en datos de fijación de CO₂) independientemente de que presente o no “Miriñaque”.

Consecuencias del tipo de injerto

En lo que respecta al efecto del Miriñaque, podemos afirmar que en la parte del estudio de Olmos-Ruiz et al., 2021; reveló que esta protuberancia en el tronco (Miriñaque) que apareció en CSm como consecuencia del tipo de injerto realizado, podría bloquear el paso de Fe y Mn desde la raíz a la parte aérea del tronco.

Las hojas nuevas y viejas de limón Verna en limonero CNm (Tabla 4), mostraron mayores concentraciones de Fe, Mn y Zn que las hojas nuevas y viejas de limón Verna en limonero CSm-limonero (*Citrus x limon*) injertado en (CA) (presenta Miriñaque) y modalidad convencional. Mientras que los resultados obtenidos sobre la concentración de nutrientes minerales en raíz (Tabla 5) mostraron que las muestras de raíz del limonero CSm, contenían una mayor cantidad de los elementos: Fe, Mn y Zn que las muestras del limonero CNm.

Los resultados anteriormente expuestos pueden guardar un patrón de coincidencia según estudio de Chang-Ping et al., 2020; en el que se comparó la concentración de elementos minerales (Cd) en diferentes tipos de portainjertos de cítricos, el portainjerto (CA) fue el que presentó mayor tasa de absorción. Compararon la concentración de Cd en raíces y brotes y revelaron que (CA) proporcionó una mayor concentración en la raíz en comparación con los demás (Chang-Ping et al., 2020). Este hecho sugirió que nuestro portainjerto en limón (*Citrus x limon*) presentaba baja tasa de afinidad, reduciendo así el transporte de elementos desde la raíz hasta las hojas (Chang-Ping et al., 2020).

El tipo de injerto también podría influir en la cantidad de biomasa y producción del árbol; en el limonero CNm, estos dos factores son mayores que en el limonero CSm, tal y como

afirma el estudio de Pérez-Pérez et al 2005; que compara el limonero injertado en CA con el limonero injertado en CM.

Si comparamos la concentración de las muestras de raíz del limonero CSM con las muestras de limonero CNM, observamos mayor concentración en las primeras. Sin embargo, no todos mostraron mayor concentración en hojas de limonero CNM. Por tanto, podría indicar que la fertilización debe ser mayor para obtener valores similares en la parte aérea. Sin embargo, esto debería confirmarse en experimentos futuros. El proceso de bloqueo que probablemente ocurrió en el área de injerto probablemente esté relacionado con el paso de agua de célula a célula (Aquaporinas) que afecta los nutrientes.

Por otra parte, en referencia a los resultados de la comparativa entre limonero CSM y ESM; podemos destacar que todos los apartados calculados son mayores los datos en ESM frente a ENM, siendo el único grupo enfrentado que presenta diferencias significativas claras tras realizar los cálculos estadísticos. Que los datos del grupo ESM (con Miriñaque), sean mayores que el grupo ENM (sin Miriñaque) en limón Fino podría deberse a que, en dicha variedad, los períodos de actividad vegetativa, son más cortos y regulares que en las variedades como la “Verna”; por lo tanto, a menor actividad vegetativa menor secuestro de carbono por parte del árbol. (Rico, 1982)

Cuando el riego es deficitario (épocas de sequía o poca disponibilidad de agua para regar de pozos o del Trasvase Tajo-Segura), la respuesta del portainjerto está fuertemente influenciada por su vigor. En este sentido, los árboles el portainjerto de vigor moderado, CA, inducen una mayor tolerancia al déficit hídrico, manteniendo el rendimiento en niveles similares a los de los árboles bien regados. Por ello, en el diseño de nuevas plantaciones de limón 'Verna' en regiones semiáridas, la correcta elección del portainjertos es uno de los factores más importantes. Así pues, es eficiente usar un portainjerto vigoroso como CM. Sin embargo, donde la disponibilidad de agua no está asegurada, se recomienda un patrón menos vigoroso, como CA, debido a su mayor tolerancia al estrés hídrico (Robles et al., 2017).

Huella de carbono y sumidero de CO₂

En este último apartado de la discusión, la huella de carbono, cabe destacar que la modalidad de limonero ENG (1,04 t eq CO₂ ha⁻¹ año⁻¹) tiene una huella de carbono menor que la misma modalidad de injerto y riego, pero distinta de cultivo, el limonero CNG (1,73 t eq CO₂ ha⁻¹ año⁻¹); ambos grupos comparten además otro factor en común a tener

en cuenta, no presentan Miriñaque. Mientras que si enfrentamos dos grupos que compartan las modalidades de cultivo anteriores (ecológico vs convencional) pero se presenten una modalidad de riego a manta y presenten Miriñaque, observamos que el grupo de la modalidad limonero CSM (1,41 t eq CO₂ ha⁻¹ año⁻¹) presenta una menor huella de carbono que el grupo de la modalidad de limonero ESM (3,8 t eq CO₂ ha⁻¹ año⁻¹) a diferencia de la primera comparación. Este hecho se podría deberse a la presencia de Miriñaque, no obstante, para corroborar los datos sería necesario realizar nuevas mediciones.

Si atendemos a la comparativa en el modelo de regadío (a manta vs por goteo), según Bórnez, 2016; se ha observado que la huella de carbono “está relacionada con la cantidad de energía consumida por la aplicación de agua de riego”. En este sentido, los cultivos regados por goteo tienen una huella de carbono menor que un regadío convencional a manta debido a que tienen una menor evaporación y por tanto un mayor uso eficiente del agua. (Bórnez, 2016) Este hecho se corrobora en el presente estudio en el que el limonero ESM, presenta una huella de carbono mayor que el limonero ENG.

Finalmente, en lo que respecta a los datos de sumidero de carbono determinados en este trabajo podemos observar que son negativos por lo que este cultivo fija más de lo que emite pudiéndose considerar sumidero de CO₂. Además, teniendo en cuenta los datos de emisión de CO₂ directos e indirectos en el proceso de producción, el grupo de limoneros que fija más CO₂ es ENG seguido de la del grupo CNG, mientras que la menos fija es la del grupo ENM.

VII. CONCLUSIONES.

Finalmente, para concluir el presente TFM, se va a proceder a detallar las conclusiones del trabajo científico en base a los objetivos planteados: determinar la tasa de fijación de CO₂ en varios cultivos de limoneros, caracterizar la influencia del tipo de fertilización (convencional y ecológica), el tipo de riego (a manta o por goteo), el tipo de patrón de injerto (*Citrus x aurantium* y *Citrus x sinensis*) sobre los mismos y la huella de carbono.

1- Los grupos de limoneros *Citrus x limón* cultivados en modalidad ecológica presentan una tasa de fijación de C y CO₂ similar que los grupos de modalidad de cultivo convencional, concretamente en el grupo ESM vs CSM; y en el grupo ENG vs CNG.

2- El estudio “Nutrient passage in different grafted lemon trees” para el Congreso “Biology and Life Sciences Forum”, reveló que la protuberancia que aparece en el tronco (Miriñaque) en CSm como consecuencia del tipo de injerto realizado, bloquea el paso de algunos nutrientes desde la raíz a la parte aérea del tronco concretamente del Fe y Mn.

3-El grupo estudiado que presenta la mayor huella de Carbono según la calculadora del Ministerio es el limonero ESM; modalidad ecológica y riego a manta. Mientras que el grupo que presenta el menor dato de huella de Carbono es el limonero ENG.

Finalmente, en lo que respecta a los datos de huella de carbono en nuestra experimentación nos lleva a considerar a este cultivo un sumidero de CO₂. Además, el grupo de limoneros que fija más CO₂ es ENG seguido de la del grupo CNG, mientras que la que menos fija es la del grupo ENM.

VIII. BIBLIOGRAFÍA.

Agroinformación.com. 2020. El primer preaforo de limón para la próxima campaña 2020/2021 análisis una producción en España de 1.250.000 toneladas. Disponible en: <https://agroinformacion.com/el-primer-preaforo-de-limon-para-la-proxima-campana-2020-2021-preve-una-produccion-en-espana-de-1-250-000-toneladas/>

Rico Ávila José. 1982. Núm. 21182-X HD. “El Miriñaque del limonero y sus portainjertos”. Hojas divulgativas. Consejería de Agricultura de la Región de Murcia [El limonero y sus portainjertos. Fichas informativas. Departamento de Agricultura de la Región de Murcia] ISBN 84-341-0300-1.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Gobierno de España. 2022. La Producción Ecológica. Disponible en:

<https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/produccion-eco/>

Diario Oficial de la Comisión Europea. Reglamento (CE) 889/2008 de la Comisión, de 5 de septiembre de 2008, por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) 834/2007 del Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y su control. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2008/250/L00001-00084.pdf>

Avadí, A., Galland, V., Parnaudeau, V., Colomb, V., Paillat, J.M., 2021. Agricultural eco-design scenarios based on AGRIBALYSE® residual organic fertiliser inventories. J. Clean. Prod. 318, 128506. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128506>

Jiang, Y., Sun, B., Jin, C., Wang, F., 2013. Soil aggregate stratification of nematodes and microbial communities affects the metabolic quotient in an acid soil. Soil Biol. Biochem. 60, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.01.006>

Agroptima. 2022. “La agricultura convencional”. Disponible en:

<https://www.agroptima.com/es/blog/agricultura-convencional/>

Rosati, A., Borek, R., Canali, S., 2021. Agroforestry and organic agriculture. Agrofor. Syst. 95, 805–821. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00559-6>

Hoagland, D.R., Arnon, D.I., 1950. Preparing the nutrient solution. Water-Culture Method Grow. Plants without Soil 347, 29–31.

Parween, T., Jan, S., Mahmooduzzafar, S., Fatma, T., Siddiqui, Z.H., 2016. Selective Effect of Pesticides on Plant—A Review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 56, 160–179. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.787969>

Huang, J., Pray, C., & Rozelle, S. 2002. “Enhancing the crops to feed the por”. *Nature*, 418, 678-684. <https://doi.org/10.1038/nature01015>.

Lykogianni, M., Bempelou, E., Karamaouna, F., Aliferis, K.A., 2021. Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Sci. Total Environ.* 795, 148625. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148625>

Tago, D., Andersson, H., Treich, N., 2014. Pesticides and health: A review of evidence on health effects, valuation of risks, and benefit-cost analysis. *Adv. Health Econ. Health Serv. Res.* 24, 203–295. <https://doi.org/10.1108/S0731-219920140000024006>

Eco Inteligencia. La agricultura como sumidero de CO₂. 2010. Disponible **en:** <https://www.ecointeligencia.com/2010/10/la-agricultura-como-sumidero-de-co2/>

Crowder, D.W., Reganold, J.P., 2015. Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 112, 7611–7616. <https://doi.org/10.1073/pnas.1423674112>

Aguilera, E., Díaz-Gaona, C., Reyes Palomo, C., García Laureano, R., Sánchez Rodríguez, M., Rodríguez Estévez, V., 2019. Informe técnico: Producción ecológica mediterránea y Cambio Climático.

Mitigación: Políticas y medidas. Cálculo de la Huella de Carbono. 2022. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.aspx>

Aprendesostenibilidad; emisiones de alcance 1, 2 y 3. Sostenibilidad para todos. Disponible en: https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/aprendesostenibilidad-emisiones-de-alcance-1-2-y-3/?_adin=01833301559

Montaner E., Montaner C. y Tudela M^o Luz. 2002. “Murcia, una Región al borde del Mediterráneo”, Univ. de Murcia, 1^aedc., Nov. Pago 12-23.

Mota, C., Alcaraz-Lopez, C., Iglesias, M., Martinez-Ballesta, MC y Carvajal, M. (2012) Investigación sobre la absorción de CO₂ por los Cultivos más Representantes de la Región de Murcia. Dpto. de Nutrición Vegetal, Consejo. Sorber. Invertir. Cientificas., Murcia, España, 43 p.

Morgan, K.T., Scholberg, J.M.S., Obreza, T.A., Wheaton, T.A., 2006. Size, biomass, and nitrogen relationships with sweet orange tree growth. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 131, 149–156. <https://doi.org/10.21273/jashs.131.1.149>

Olmos-Ruiz, Rafael, and Micaela Carvajal. 2022. "Nutrient Passage in Differentially Grafted Lemon Trees" *Biology and Life Sciences Forum* 11, no. 1: 67. <https://doi.org/10.3390/IECPS2021-11944>

Chun, C.P., Zhou, W., Ling, L.L., Cao, L., Fu, X.Z., Peng, L.Z., Li, Z.G., 2020. Uptake of cadmium (Cd) by selected citrus rootstock cultivars. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 263, 109061. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109061>

J.G. Perez-Perez, I. Porras Castillo, A. Garcia-Lidon, P. Botia, F. Garcia-Snchez, 2005, Fino lemon clones compared with the lemon varieties Eureka and Lisbon on two rootstocks in Murcia (Spain), *Scientia Horticulturae*, Volume 106, Issue 4, Pages 530-538, ISSN 0304-4238.

Robles, J.M., Botía, P., Pérez-Pérez, J.G., 2017. Sour orange rootstock increases water productivity in deficit irrigated ‘Verna’ lemon trees compared with *Citrus macrophylla*. *Agric. Water Manag.* 186, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.002>

Bórnez F. 2016. “El riego por goteo en los cultivos hortícolas”. Departamento de Marketing de Regaber.

ANEXO CÁLCULOS

Media medidas limonero ESM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego a manta.

Media	Biomasa Total	Biomasa Anual	Total Carbono C	Peso seco Anual	Total Carbono C	(g) gramos Carbono C	(g) gramos CO2	Total Carbono C	Total CO2 t ha-1 año-1
ESM	Kg árbol	Kg árbol	g m2 año	Kg árbol	Kg ha	árbol-1	árbol-1	t ha-1 año-1	
1	151,72	255,09	1137,9	79,04	11379,03	34481,91	126433,7	11,37	41,72
2	341,84	402,25	2314,34	157,91	23143,47	70131,75	257149,76	23,14	84,85
3	222,42	299,87	1553,5	160,02	15535,03	47075,87	172611,53	15,53	56,96
Media	238,66	319,07	1668,58501	114,450355	16685,8501	50563,1822	185398,335	16,6858501	61,17666
Error S.E	55,48034727	43,5526364	344,4489915	26,6486287	3444,50241	10437,8918	38272,2649	3,44601702	12,62780

Media medidas limonero CSM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego a manta.

Media	Biomasa Total	Biomasa Anual	Total Carbono C	Peso seco Anual	Total Carbono C	(g) gramos Carbono C	(g) gramos CO2	Total Carbono C	Total CO2 t ha-1 año-1
CSM	Kg árbol	Kg árbol	g m2 año	Kg árbol	Kg ha	árbol-1	árbol-1	t ha-1 año-1	t ha-1 año-1
1	302,47	327,62	2473,68	132,97	17909,17	57771,51	211828,89	17,9	65,66
2	160,92	212,95	1670,14	31,79	10932,46	35266,02	129308,75	10,93	40,08
3	183,98	134,31	1786,21	97,72	13258,65	42769,86	156822,84	13,35	48,61
Media	213,70	222,95	1403,34321	104,026507	14033,4321	45269,1357	165986,831	14,0334321	51,45
Error S.E	43,84825234	56,1259569	250,7504046	29,6523559	2050,92091	6615,8656	24258,1764	2,043143	7,5196032

Tabla media limonero ENM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego a manta.

Media	Biomasa Total	Biomasa Anual	Total Carbono C	Peso seco Anual	Total Carbono C	(g) gramos Carbono C	(g) gramos CO2	Total Carbono C	Total CO2 t ha-1 año-1
ENM	Kg árbol	Kg árbol	g m2 año	Kg árbol	Kg ha	árbol-1	árbol-1	t ha-1 año-1	t ha-1 año-1
1	163,51	177,25	1527,35	81,59	1119,13	36101,02	132370,41	11,19	41,03
2	145,41	160,46	3027,56	69,52	9524,77	30725,08	112658,63	9,52	34,92
3	139,65	159,59	1289,54	65,8	9066,34	29246,27	107236,33	9,06	33,24
Media	149,5233333	165,766667	992,747867	72,3105992	9927,47867	32024,1247	117421,791	9,92747867	36,3966667
Error S.E	7,18828986	5,74715678	544,0535697	4,76589388	2728,68597	2082,66933	7636,45346	0,64710466	2,3668849

Tabla media medidas limonero CNG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego por goteo.

Media CNG	Biomasa Total Kg árbol	Biomasa Anual Kg árbol	Total Carbono C g m2 año	Peso seco Anual Kg árbol	Total Carbono C Kg ha	(g) gramos Carbono C árbol-1	(g) gramos CO2 árbol-1	Total Carbono C t ha-1 año-1	Total CO2 t ha-1 año-1
1	148,7	308,81	2035,1	99,95	15450,71	44144,9	161864,66	15,45	56,65
2	359,28	474,24	3445,2	192,95	30250,69	86430,54	316912	30,25	110,91
3	303,02	430,24	3446,94	165,82	25881,54	73947,26	271139,98	25,88	94,89
Media	269,30	402,40	2386,09847	152,91185	23860,9847	68174,242	249972,221	23,8609847	87,483333
Error S.E	62,94785602	49,4684691	470,3236016	27,6122897	4390,21066	12543,454	45992,6631	4,39015186	16,095350

Tabla media medidas limonero ENG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie naranjo de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego por goteo.

Media ENG	Biomasa Total Kg árbol	Biomasa Anual Kg árbol	Total Carbono C g m2 año	Peso seco Anual Kg árbol	Total Carbono C Kg ha	(g) gramos Carbono C árbol-1	(g) gramos CO2 árbol-1	Total Carbono C t ha-1 año-1	Total CO2 t ha-1 año-1
1	348,82	354,55	3936,66	171,32	26402,6	71358,39	261647,46	26,4	96,8
2	286,14	308,13	3229,59	142,92	22223,03	60062,25	220228,28	22,22	81,48
3	367,97	376,15	4174,14	185,97	29000,44	78379,57	287391,76	29	106,33
Media	334,31	346,276667	2587,53616	166,741627	25875,3616	69933,4098	256422,503	25,8753616	94,87
Error S.E	24,7112815	20,0666899	283,6781664	12,6369938	1974,15051	5335,541	19563,6433	1,97485302	7,2381926

Tabla comparación grupos de limoneros: ESM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque); modalidad ecológica y riego a manta, CSM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque); modalidad convencional y riego a manta, ENM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego a manta; CNG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego por goteo; ENG- limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego por goteo.

Tabla Comparación	Biomasa Total Kg árbol	Biomasa Anual Kg árbol	Total Carbono C g m2 año	Peso seco Anual Kg árbol	Total Carbono C Kg ha	(g) gramos Carbono C árbol-1	(g)gramos CO2 árbol-1	Total Carbono C t ha-1 año-1	Total CO2 t ha-1 año-1
ESM	238,66	319,07	1668,58	114,45	16685,85	50563,18	185398,33	16,68	61,16
CSM	213,70	222,95	1403,34	104,02	14033,43	45269,13	165986,83	14,03	51,4433333
ENM	149,52	165,76	992,74	72,31	9927,47	32024,12	117421,79	9,92	36,3733333
CNG	269,30	402,40	2386,04	152,91	23860,98	68174,24	249972,21	23,86	87,4866667
ENG	334,31	346,27	2587,53	166,74	25875,36	69933,4	256422,5	25,87	94,8566667

Tabla resumen cálculo huella de carbono limonero ENG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie naranjo de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego por goteo.

Año de cálculo		2020
ALCANCE 1		0,68 t CO ₂ eq
ALCANCE 2		0,00 t CO ₂ eq
ALCANCE 1+2		0,68 t CO ₂ eq
Resultados en kgCO₂ desglosados según actividades		
ALCANCE 1	Instalaciones fijas	0,00 kg CO ₂ eq
	Vehículos y maquinaria*	671,50 kg CO ₂ eq
	Refrigeración/climatización	0,00 kg CO ₂ eq
	Cultivos	11,71 kg CO ₂ eq
TOTAL ALCANCE 1		683,21 kg CO ₂ eq
* Se excluye el transporte a través de vehículos propulsados por electricidad que se incluye en alcance 2		
ALCANCE 2	Intalaciones	0,00 kg CO ₂ eq
	Vehículos y maquinaria	0,00 kg CO ₂ eq
TOTAL ALCANCE 2		0,00 kg CO ₂ eq
Sumidero (Prácticas conservación suelo)**		-559.100,94 kg CO ₂ eq

Tabla resumen cálculo huella de carbono CNG-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego por goteo.

Año de cálculo		2020
ALCANCE 1		0,73 t CO ₂ eq
ALCANCE 2		0,00 t CO ₂ eq
ALCANCE 1+2		0,73 t CO ₂ eq
Resultados en kgCO₂ desglosados según actividades		
ALCANCE 1	Instalaciones fijas	0,00 kg CO ₂ eq
	Vehículos y maquinaria*	613,48 kg CO ₂ eq
	Refrigeración/climatización	0,00 kg CO ₂ eq
	Cultivos	118,07 kg CO ₂ eq
TOTAL ALCANCE 1		731,55 kg CO ₂ eq
* Se excluye el transporte a través de vehículos propulsados por electricidad que se incluye en alcance 2		
ALCANCE 2	Intalaciones	0,00 kg CO ₂ eq
	Vehículos y maquinaria	0,00 kg CO ₂ eq
TOTAL ALCANCE 2		0,00 kg CO ₂ eq
Sumidero (Prácticas conservación suelo)**		-559.100,94 kg CO ₂ eq

Tabla resumen cálculo huella de carbono CSM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque), modalidad ecológica y riego a manta.

Año de cálculo	2020	
ALCANCE 1	0,78 t CO₂eq	
ALCANCE 2	0,00 t CO₂eq	
ALCANCE 1+2	0,78 t CO₂eq	
Resultados en kgCO₂ desglosados según actividades		
ALCANCE 1	Instalaciones fijas	0,00 kg CO ₂ eq
	Vehículos y maquinaria*	576,27 kg CO ₂ eq
	Refrigeración/climatización	0,00 kg CO ₂ eq
	Cultivos	207,05 kg CO ₂ eq
TOTAL ALCANCE 1		783,32 kg CO₂eq
* Se excluye el transporte a través de vehículos propulsados por electricidad que se incluye en alcance 2		
ALCANCE 2	Intalaciones	0,00 kg CO ₂ eq
	Vehículos y maquinaria	0,00 kg CO ₂ eq
TOTAL ALCANCE 2		0,00 kg CO₂eq
Sumidero (Prácticas conservación suelo)**		-559.100,94 kg CO₂eq

Tabla resumen cálculo huella de carbono ENM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo dulce (*Citrus x sinensis*) (CS) (no presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego a manta.

Año de cálculo	2020	
ALCANCE 1	0,60 t CO₂eq	
ALCANCE 2	0,00 t CO₂eq	
ALCANCE 1+2	0,60 t CO₂eq	
Resultados en kgCO₂ desglosados según actividades		
ALCANCE 1	Instalaciones fijas	0,00 kg CO ₂ eq
	Vehículos y maquinaria*	590,92 kg CO ₂ eq
	Refrigeración/climatización	0,00 kg CO ₂ eq
	Cultivos	4,79 kg CO ₂ eq
TOTAL ALCANCE 1		595,71 kg CO₂eq
* Se excluye el transporte a través de vehículos propulsados por electricidad que se incluye en alcance 2		
ALCANCE 2	Intalaciones	0,00 kg CO ₂ eq
	Vehículos y maquinaria	0,00 kg CO ₂ eq
TOTAL ALCANCE 2		0,00 kg CO₂eq
Sumidero (Prácticas conservación suelo)**		-559.100,94 kg CO₂eq

Tabla resumen cálculo huella de carbono ESM-limonero (*Citrus x limón*) injertado en pie de naranjo amargo (*Citrus x aurantium*) (CA) (presenta Miriñaque), modalidad convencional y riego a manta.

Año de cálculo	2020
ALCANCE 1	0,57 t CO₂eq
ALCANCE 2	0,00 t CO₂eq
ALCANCE 1+2	0,57 t CO₂eq

Resultados en kgCO₂ desglosados según actividades

ALCANCE 1	Instalaciones fijas	0,00 kg CO ₂ eq
	Vehículos y maquinaria*	389,47 kg CO ₂ eq
	Refrigeración/climatización	0,00 kg CO ₂ eq
	Cultivos	177,40 kg CO ₂ eq
TOTAL ALCANCE 1		566,87 kg CO₂eq

* Se excluye el transporte a través de vehículos propulsados por electricidad que se incluye en alcance 2

ALCANCE 2	Intalaciones	0,00 kg CO ₂ eq
	Vehículos y maquinaria	0,00 kg CO ₂ eq
TOTAL ALCANCE 2		0,00 kg CO₂eq

AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar unas palabras a todas las personas que me han acompañado durante todo el proceso de elaboración de este presente Trabajo de Fin de Master. En primer lugar, quiero agradecer tanto a mi directora, María del Carmen Martínez Ballesta, como a mi codirectora, Micaela Carvajal Alcaraz, su entrega y paciencia infinita, gracias a la cual he podido realizar de la mejor forma posible este trabajo científico. En segundo lugar, a mi padre, el cual me ha transmitido desde que tengo uso de razón el amor hacia esta tierra huertana en la que vivimos, haciéndome ver y comprender la agricultura desde todas las perspectivas posibles. Quiero hacer extensivo mi agradecimiento al proyecto: CERONO3 MARMENOR. “AGRICULTURA SOSTENIBLE CON VERTIDO CERO DE NITRATO EN MAR MENOR”. Ref. 2I20SAE00081.

