Universidad Politécnica de Cartagena

TRASVASE Y SOSTENIBILIDAD

José Manuel Claver Valderas

Balance de carbono de las Zonas Regables del trasvase Tajo-Segura

Autores:

Dr. Ing. Bernardo Martín Górriz

Dr. Ing. Victoriano Martínez Álvarez

Dr. Ing. Jose Francisco Maestre Valero

Dra. Ing. Belén Gallego Elvira

Sobre este informe

Este informe ha sido promovido por el Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS) a través de la Cátedra Universidad-Empresa "Trasvase y Sostenibilidad – José Manuel Claver Valderas" de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), con el objetivo de estimar de forma analítica y objetiva el papel de las Zonas Regables del Acueducto Tajo-Segura como sumidero de CO_2, estimando las emisiones de gases de efecto invernadero de la actividad agrícola desarrollada en las mismas, la remoción de CO_2 asociada a los cultivos implantados y, como diferencia entre ambas, el balance o huella de carbono.

Para ello, la Comisión Mixta de Seguimiento y Desarrollo de la Cátedra, reunida el 27 de febrero de 2019, encargó al Dr. Bernardo Martín Górriz la dirección del trabajo "*Balance de carbono de las Zonas Regables del trasvase Tajo-Segura*". Este trabajo se planificó en dos fases: (1) determinación de las emisiones y remociones de CO_2 de los cultivos más habituales en las zonas regables asociadas el trasvase Tajo-Segura; y (2) extrapolación de los valores obtenidos a los regadíos asociados al Trasvase Tajo-Segura mediante sistemas de información geográfica y bajo distintos escenarios de origen del agua de riego (trasvase-desalación).

Sobre el grupo de trabajo

Los Drs. Bernardo Martín Górriz, Victoriano Martínez Álvarez, Jose Francisco Maestre Valero y Belén Gallego Elvira forman parte del personal investigador del Grupo de Investigación "Diseño y Gestión en Agricultura de Regadío" de la UPCT.

D. Bernardo Martín Górriz, investigador responsable de este trabajo, es Ingeniero Agrónomo y Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universidad Politécnica de Valencia. Actualmente es Catedrático de Universidad en el Área de Ingeniería Agroforestal en la Universidad Politécnica de Cartagena, donde imparte docencia desde el año 1999. Ha desarrollado su actividad investigadora en diversas temáticas entre las que se incluye la gestión del agua en la agricultura, y en concreto en el análisis de la interrelación entre agua, energía y emisiones de gases de efecto invernadero en los sistemas agrícolas. Con tres sexenios de investigación, ha participado en treinta proyectos de investigación competitivos, cinco de ellos europeos (FP6, FP7, H2020 y LIFE) y 31 proyectos de investigación y contratos de I+D+i con empresas e instituciones. Es coautor de 47 publicaciones en revistas listadas en el ISI-JCR, 14 capítulos de libros, más de 125 contribuciones a congresos y numerosos artículos de divulgación.

Informe realizado en julio de 2020

Índice

Página

Resumen Ejecutivo 1

1. Introducción y objetivos 5

2. Metodología y alcance del estudio 7

2.1. Justificación de los escenarios considerados 7
2.2. Justificación de los cultivos seleccionados 9
2.3. Emisiones de gases de efecto invernadero de los cultivos 13
2.3.1. Objetivos y alcance del análisis de Ciclo de Vida 14
2.3.2. Análisis de inventario 14
2.4. Remoción de carbono por los cultivos 19
2.5. Balance de carbono de los cultivos 20
2.6. Extrapolación de resultados a las Zonas Regables del TTS 20

3. Resultados 26

3.1. Balance de carbono de los cultivos seleccionados por escenario 26
3.2. Resultados del Escenario Concesional 32
3.3. Resultados del Escenario Actual 37
3.4. Resultados del Escenario de Sustitución de TTS por desalación 42

4. Síntesis y Conclusiones 47

Referencias 52

Resumen Ejecutivo

La agricultura es necesaria para la producción de alimentos, y debe ser sostenible medioambientalmente para que pueda perdurar en el tiempo. Desde la perspectiva de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), los cultivos agrícolas se caracterizan por presentar una doble vertiente. Por un lado, emiten GEI como consecuencia de las labores e insumos que se aportan y, por otra parte, representan un sumidero que captura y almacena el CO_2 atmosférico como parte de la fotosíntesis. En consecuencia, para analizar la "huella de carbono" en los cultivos agrícolas es necesario realizar un "balance de carbono" entre las emisiones de GEI y la remoción de CO_2. Dependiendo de las técnicas de producción e insumos utilizados se puede obtener un balance positivo, lo que implica que la actividad capta más CO_2 del que emite, y consecuentemente la misma se puede considerar sostenible desde esta perspectiva. Por otra parte, un balance negativo implicaría la necesidad de un replanteamiento de las técnicas e insumos productivos para alcanzar la sostenibilidad.

Con el fin de mejorar el conocimiento sobre la sostenibilidad de la agricultura que se desarrolla en las Zonas Regables del Trasvase Tajo-Segura, en este informe se estima de forma analítica y objetiva la huella de carbono de estos regadíos, cuantificando su balance de carbono como diferencia entre las emisiones de GEI de las actividades agrícolas desarrolladas, y la remoción de CO_2 asociada a los cultivos implantados. La huella de carbono se ha calculado bajo tres escenarios de suministro hídrico en los que se produce una sustitución progresiva del agua procedente del Trasvase Tajo-Segura (TTS) por suministro de agua marina desalinizada (AMD); dado que es la principal estrategia recogida en la planificación hídrica española con el fin de hacer frente al persistente déficit hídrico que afecta al regadío del sureste español. La principal ventaja del suministro de AMD es su condición de recurso hídrico inagotable y no sujeto a variaciones climáticas; pero el principal inconveniente es el elevado consumo energético asociado a su producción, lo que genera un coste del agua producto muy elevado y un nivel de emisiones de GEI que dificulta el desarrollo de las políticas demandadas para el control del cambio climático.

Este trabajo se ha desarrollado en dos fases: (1) determinación de las emisiones y remociones de $CO_{2\ eq}$ de los nueve cultivos mayoritarios en las zonas regables asociadas el TTS (alcachofa, brócoli, lechuga, melón, limonero, naranjo, mandarino,

albaricoquero y melocotonero), y (2) extrapolación de los valores obtenidos en la fase anterior a los regadíos asociados al TTS. Para determinar las emisiones de GEI de los cultivos se ha aplicado la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), siguiendo los protocolos estandarizados por las normas ISO 14040/14044, como procedimiento de cálculo con mayor reconocimiento y difusión a nivel nacional e internacional. Estas emisiones se han estimado utilizado fuentes de datos oficiales (Ministerios, Confederaciones, Administración Autonómica, etc.) y, en ausencia de los mismos, recurriendo a la información recogida en los trabajos de otros autores que consideramos de reconocido prestigio. Los datos de remoción de CO_2 de los cultivos analizados se han obtenido del "*Estudio sobre la absorción de CO_2 por los cultivos más representativos de la Región de* Murcia" (Victoria, 2010). Este estudio fue realizado por los centros oficiales de investigación y las universidades públicas de la Región (CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario, Universidad de Murcia y Universidad Politécnica de Cartagena) y analiza el potencial de remoción de CO_2 de las principales especies agrícolas y forestales de la Región de Murcia. Para la extrapolación de los valores obtenidos en la primera fase a los regadíos asociados al TTS se han utilizado Sistemas de Información Geográfica (SIG), adoptando como unidad territorial de cálculo las Unidades de Demanda Agraria (UDAs) definidas en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura para el periodo 2015-2021 (CHS, 2015). Ambas fases del trabajo se han desarrollado bajo tres escenarios de origen del agua de riego: (a) **Escenario Concesional** según el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 para las Zonas Regables del Trasvase Tajo-Segura; (b) **Escenario Actual**, ajustando el suministro del trasvase para riego a su valor medio para el periodo 1979-2011 y el suministro de AMD a las concesiones actuales; y (c) **Escenario de Sustitución de TTS por desalación**, que resulta directamente comparable con el Escenario Concesional, ya que implica el mismo volumen total de suministro.

Los resultados del balance de carbono por cultivos muestran que, en el Escenario Concesional, donde el riego es el responsable del 36% de las emisiones de GEI, todos los cultivos son sumideros de CO_2, siendo en conjunto los cultivos leñosos (limonero, mandarino, naranjo, albaricoque y melocotonero) nueve veces más eficientes como sumidero de CO_2 que los cultivos hortícolas (alcachofa, brócoli, lechuga y melón). Sin embargo, en el Escenario Actual, donde el riego es el responsable del 43% de las emisiones de GEI, el balance de carbono disminuye el rol de todos los cultivos como sumidero de CO_2, llegando el cultivo de alcachofa incluso a convertirse en fuente de

CO_2, es decir, a emitir más CO_2 a la atmosfera del que captura el cultivo. Finalmente, el hipotético Escenario de Sustitución de TTS por desalación, donde el riego sería el responsable del 57% de las emisiones de GEI, todos los cultivos hortícolas y el mandarino se convertirían en fuentes de CO_2; y solo el limonero, naranjo, albaricoquero y melocotonero se mantendrían como fijadores netos de carbono.

Los resultados del balance de carbono siguiendo la clasificación por grupo de cultivos, siguiendo la propuesta del Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21, ponen de manifiesto nuevamente que los cultivos "cítricos" y los cultivos "frutales no cítricos" presentan un balance de carbono por hectárea mucho más favorable que los cultivos "hortícolas al aire libre". Respecto a los escenarios, conforme se intensifica la energía específica (kWh/m^3) del suministro de agua de riego (Escenario Concesional → Escenario Actual → Escenario de Sustitución del TTS por desalación) las emisiones de GEI se incrementan, haciendo menos favorable el balance de carbono de cada grupo de cultivos, ya que la remoción de CO_2 es independiente del origen del agua de riego. Cabe destacar que en el caso del grupo de cultivos más desfavorable ("hortícolas al aire libre") el balance para el Escenario de Sustitución del TTS por desalación llega a producir valores positivos (4,52 t CO_2/ha-año), lo que implica un flujo global de carbono hacia la atmósfera. Esta circunstancia no se produce para los "cítricos" (-12,69 t CO_2/ha-año) y los "frutales no cítricos" (-12,72 t CO_2/ha-año).

Los resultados globales de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para la superficie neta de regadío asociada al trasvase Tajo-Segura en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 (98.923,6 ha) indican que los regadíos del trasvase Tajo-Segura representan un importante sumidero de carbono en cualquiera de los escenarios, disminuyendo su capacidad como sumidero de carbono conforme se intensifica la energía específica del suministro de agua de riego, variando de -1.208.084 t CO_2/año en el Escenario Concesional hasta -707.276 t CO_2/año en Escenario de Sustitución del TTS por desalación, pasando por -1.081.080 t CO_2/año en el Escenario Actual. La remoción de CO_2 no varía entre escenarios, siendo su valor de -2.199.828 t CO_2/año.

Sin embargo, el rol como sumidero de los regadíos de trasvase Tajo-Segura podría ser superior si se suministrase el 100% de las concesiones a las Zonas Regables del TTS, lo que permitiría regar su superficie nominal según concesiones (133.356 ha, Soto-García et al., 2014). Bajo esta premisa, la capacidad como sumidero de carbono de los

regadíos de trasvase Tajo-Segura alcanzaría los -1.628.582 t CO_2/año para el Escenario Concesional, disminuyendo en 675.152 t CO_2/año en el caso de que se sustituyese el suministro de 400 hm^3/año del agua del TTS por AMD (Escenario de Sustitución del TTS por desalación). Para este caso hipotético, la remoción de CO_2 alcanzaría -2.965.523 t CO_2/año para ambos escenarios.

Finalmente, los resultados de los valores medios por hectárea de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para los regadíos asociada al trasvase Tajo-Segura para cada escenario vuelven a mostrar que la tasa de emisiones de GEI aumenta conforme aumenta la energía específica del suministro hídrico (Escenario Concesional → Escenario Actual → Escenario de Sustitución del TTS por desalación), mientras que la tasa de remoción de CO_2 se mantiene constante en -22,24 t CO_2/ha-año. Como resultado, el balance se va haciendo menos favorable, siendo de -12,21 t CO_2/ha-año en el Escenario Concesional, -10,93 t CO_2/ha-año en el Escenario Actual, y -7,14 t CO_2/ha-año en el Escenario de Sustitución del TTS por desalación. Cabe destacar que el análisis de esta misma información por UDAs pone de manifiesto como aquellas en las que hay un mayor predominio de los cultivos hortícolas al aire libre (UDA 61, UDA70 y UDA 71) llegan incluso a perder su condición de sumidero de carbono en el Escenario de Sustitución del TTS por desalación.

1. Introducción y objetivos

Una agricultura, basada en la sostenibilidad medioambiental, es necesaria para la producción de alimentos (CEC, 1999; UN-DSD 2000). La sostenibilidad de un sistema de producción agrícola debe sustentarse en indicadores adecuados. El Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación en su *Informe Anual de Indicadores* (MAPA, 2018) considera las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como un indicador adecuado para dar una visión integradora de la sostenibilidad del sector agrario.

Desde la perspectiva de las emisiones de GEI, los sistemas agrarios se caracterizan por presentar una doble vertiente. Por un lado, emiten GEI como consecuencia de las labores e insumos que se aportan (fertilizantes, agroquímicos, agua de riego, combustibles, etc.), y por otro lado ejercen de sumideros que capturan y almacenan el CO_2 atmosférico como parte de la fotosíntesis. En consecuencia, para analizar la "huella de carbono" en la agricultura es necesario realizar un "balance de carbono" entre las emisiones de GEI y la remoción de CO_2 por los cultivos. Dependiendo de las técnicas de producción e insumos utilizados se puede obtener un balance positivo, lo que implica que la actividad capta más CO_2 del que emite, y en consecuencia la misma se puede considerar sostenible desde esta perspectiva. Por otra parte, un balance negativo implicaría la necesidad de un replanteamiento de las técnicas e insumos productivos para alcanzar la sostenibilidad.

La demarcación hidrográfica del Segura se caracteriza por presentar un importante déficit estructural de agua, que afecta fundamentalmente al regadío, ya que se trata del uso con mayor demanda y se considera de menor prioridad que el suministro a poblaciones (CHS, 2015). A pesar de que en los últimos ciclos de planificación se han desarrollado distintas políticas orientadas a disminuir este déficit hídrico, su magnitud apenas ha variado como consecuencia del impacto del cambio climático en los recursos hídricos convencionales disponibles. La reutilización de aguas regeneradas y la incorporación de Agua Marina Desalinizada (AMD) son las principales estrategias recogidas en la planificación hídrica española con el fin de hacer frente al persistente déficit hídrico que afecta al regadío del sureste español. La principal ventaja del suministro de AMD es su condición de recurso hídrico inagotable y no sujeto a variaciones climáticas; pero el principal inconveniente es el elevado consumo energético asociado a su producción, lo que genera un coste del agua producto muy

elevado y un nivel de emisiones de GEI que dificulta el desarrollo de las políticas demandadas para el control del cambio climático.

Con el fin de mejorar el conocimiento sobre la sostenibilidad de la agricultura que se desarrolla en las Zonas Regables del trasvase Tajo-Segura, el Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS) planteó a la Cátedra Universidad-Empresa "Trasvase y Sostenibilidad – José Manuel Claver Valderas" de la Universidad Politécnica de Cartagena, la necesidad de estimar de forma analítica y objetiva el papel de estos regadíos en el balance de carbono, cuantificando su huella de carbono bajo distintos escenarios de suministro hídrico.

Este estudio responde a esta necesidad y tiene como objetivo general proporcionar a la sociedad estimaciones robustas y objetivas sobre las emisiones de GEI y la remoción de CO_2 asociada a los regadíos del trasvase Tajo-Segura y, consecuentemente, sobre su huella de carbono. Para conseguirlo se ha aplicado la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), siguiendo los protocolos estandarizados por la *International Standards Organisation* en las normas ISO 14040 e ISO 14044 (2006), como procedimiento de cálculo con mayor reconocimiento y difusión a nivel nacional e internacional. Además, se ha procurado utilizar fuentes de datos oficiales (Ministerios, Confederaciones, Administración Autonómica, etc.) y, en ausencia de los mismos, se ha recurrido a la información recogida en los trabajos de otros autores que consideramos de reconocido prestigio y objetividad.

En el estudio se han considerado distintos escenarios de suministro de agua, dada la especial sensibilidad de los resultados a esta variable, y que su conocimiento es de especial interés en la planificación y gestión de los recursos hídricos. Para cada uno de los escenarios se presentan los resultados obtenidos para los dos objetivos específicos abordados:

1. Evaluar las emisiones de GEI, la remoción de CO_2 y, como diferencia entre ambas, el balance o huella de carbono asociados a los principales cultivos implantados en las Zonas Regables del TTS.
2. Extrapolar, mediante técnicas de Sistema de Información Geográfica (SIG), los valores obtenidos para los cultivos a cada Unidad de Demanda Agraria (UDA) de las Zonas Regables del TTS, proporcionando valores globales para su conjunto.

2. Metodología y alcance del estudio

A continuación, se exponen las distintas cuestiones metodológicas consideradas en la elaboración del estudio. En primer lugar, se justifican los tres escenarios de suministro hídrico considerados, así como los nueve cultivos analizados. Posteriormente, se presenta la metodología de ACV empleada para la estimación de emisiones de GEI, así como los datos empleados para cada cultivo. Esta información, junto a los valores de remoción de carbono, obtenidos de publicaciones de otros autores desarrolladas en la zona de estudio, permite estimar el balance de carbono para cada cultivo y para cada escenario de suministro hídrico.

A continuación, se expone la metodología seguida para extrapolar los valores obtenidos para cada cultivo a las Zonas Regables del TTS, extrapolación que se ha hecho mediante técnicas de análisis con SIG, considerando como unidad de cálculo las UDAs definidas en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura para el periodo 2015-2021 (CHS, 2015). La agregación final de los resultados obtenidos permite obtener estimaciones globales de emisiones de GEI, remoción de carbono y huella de carbono para el conjunto de las Zonas Regables del TTS.

A lo largo de todo el estudio se ha considerado el siguiente criterio de signos: positivo para las trasferencias de carbono de la actividad agraria a la atmósfera, y negativo cuando se produce en sentido contrario (de la atmósfera al cultivo). Por tanto, las emisiones de GEI tienen signo positivo, la remoción de carbono del carbono signo negativo, y los balances el resultante de la suma de los flujos anteriores.

2.1. Justificación de los escenarios considerados

La actividad del riego es la principal consumidora de energía en la producción de cultivos de regadío bajo las condiciones agroclimáticas de la cuenca del Segura, siendo el origen del agua de riego un factor clave en la energía específica (kWh/m^3) asociada a esta actividad (Soto-García et al., 2013). Dado que el factor de emisión de la energía eléctrica en España es significativo (0,354 kg $CO_{2\ eq}$/kWh, según la base de datos ECOINVENT, en Agosto de 2018) y que hay una gran diferencia de energía específica en el suministro desde el TTS (1,21 kWh/m^3, Melgarejo y Montaño 2009) y desde las plantas desaladoras de agua marina (4,32 kWh/m^3, Martínez-Álvarez et al.,

2019), se ha considerado que el origen del agua suministrada es un factor especialmente relevante a la hora de definir distintos escenarios en este estudio. Los tres escenarios considerados se definen a continuación:

Escenario Concesional

Se corresponde con los derechos de riego reconocidos en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 para las Zonas Regables del TTS, sin considerar las concesiones recientes de desalación (13 hm^3/año):

- Recursos superficiales: 107,53 hm^3/año (15,89%).
- Recursos subterráneos: 127,80 hm^3/año (18,89%).
- Aguas regeneradas: 41,33 hm^3/año (6,11%).
- Suministro del TTS: 400 hm^3/año (59,11%).
- Suministro desde plantas desadoras de AMD: 0 hm^3/año (0%).

Este escenario se calcula para una superficie total de 98.923,6 ha, que es la superficie neta de regadío considerada en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 para las UDAs vinculadas al TTS (CHS, 2015). Posteriormente, se generaliza la cifra a 133.356 ha, que es la superficie nominal según concesiones de las Zonas Regables del TTS (Soto-García et al., 2014) y, por tanto, la que podría llegar a regarse si llegase el 100% de la dotación del trasvase. El consumo específico asociado al suministro de agua en este escenario es de 0,94 kWh/m^3. Este valor ha sido calculado en función del porcentaje de agua que aporta cada fuente para este escenario y de su respectivo consumo específico asociado.

Escenario Actual

Es el correspondiente a los derechos de riego reconocidos en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 en las Zonas Regables del TTS, ajustando el suministro del TTS para riego a su valor medio para el periodo 1979 hasta 2011 (196 hm^3/año en origen y 176 hm^3/año en destino; CHS, 2019) y el AMD a las concesiones actuales (13 hm^3/año recogidos en el Plan Hidrológico y 80 hm^3/año asignados de la IDAM de Torrevieja según BOE de 3 de octubre de 2019):

- Recursos superficiales: 107,53 hm^3/año (19,71%).
- Recursos subterráneos: 127,80 hm^3/año (23,42%).
- Aguas regeneradas: 41,33 hm^3/año (7,57%).

- Suministro del TTS: 176 hm^3/año (32,26%).
- Suministro desde plantas desadoras de AMD: 93 hm^3/año (17,04%).

Este escenario se calcula para una superficie total de 98.923,6 ha, que es la superficie neta de regadío considerada en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 para las UDAs vinculadas al TTS (CHS, 2015). El consumo específico asociado al suministro de agua en este escenario es de 1,41 kWh/m^3. Este valor ha sido calculado en función del porcentaje de agua que aporta cada fuente para este escenario y de su respectivo consumo específico asociado.

Escenario de Sustitución del TTS por desalación

Es el correspondiente a los derechos de riego reconocidos en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 en las Zonas Regables del TTS, sustituyendo el 100% del TTS por AMD. Se trata de un escenario hipotético y que resulta directamente comparable con el Escenario Concesional, ya que implica el mismo volumen de suministro:

- Recursos superficiales: 107,53 hm^3/año (15,89%).
- Recursos subterráneos: 127,8 hm^3/año (18,89%).
- Aguas regeneradas: 41,33 hm^3/año (6,11%).
- Suministro del TTS: 0 hm^3/año (0%).
- Suministro desde plantas desadoras de AMD: 400 hm^3/año (59,11%).

Este escenario se calcula para una superficie total de 98.923,6 ha, que es la superficie neta de regadío considerada en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 para las UDAs vinculadas al trasvase (CHS, 2015). Posteriormente, se generaliza la cifra a 133.356 ha, que es la superficie nominal según concesiones de las Zonas Regables del trasvase (Soto-García et al., 2014). El consumo específico asociado al suministro de agua en este escenario es de 2,78 kWh/m^3. Este valor ha sido calculado en función del porcentaje de agua que aporta cada fuente para este escenario y de su respectivo consumo específico asociado.

2.2. Justificación de los cultivos considerados

La estimación de las emisiones de GEI para un cultivo es una actividad que requiere conocer toda la información sobre las labores de cultivo e insumos aportados, así

como de las infraestructuras necesarias en parcela. La estimación de la remoción de CO_2 requiere de la toma de muestras de individuos vegetales completos para determinar el contenido de carbono de todos sus órganos. Por tanto, no es fácil disponer de toda esta información para la multitud de cultivos que se desarrollan en las Zonas Regables del TTS, pero sí suele está accesible para los más relevantes. Por este motivo, se han seleccionado los 9 cultivos que más superficie ocupan en la Región de Murcia en 2017 (CREM, 2019), como marco geográfico más próximo a la cuenca del Segura, de la que no se dispone de información específica por cultivos.

Los cultivos se han organizados en tres grupos: hortícolas al aire libre, cítricos y frutales no cítricos. Esta organización tiene como finalidad ajustarse a la clasificación de cultivos que el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 sigue para la descripción de las UDAs.

Hortícolas al aire libre

Dentro de este grupo se han considerado los cultivos de alcachofa, brócoli, lechuga y melón. En la Tabla 1 se muestra el porcentaje que estos cultivos representan respecto al total de cultivos hortícolas al aire libre en la Región de Murcia en 2017, considerando la información sobre la evolución de la superficie y producción según tipo de cultivo proporcionada por el Portal Estadístico de la Región de Murcia (CREM, 2019). En su conjunto, los 4 cultivos hortícolas al aire libre seleccionados representan el 84,42% de la superficie de este tipo de cultivos en la Región de Murcia.

Cítricos

Dentro de este grupo se han considerado los cultivos de limonero, mandarino y naranjo. En la Tabla 2 se muestra el porcentaje que estos cultivos representan respecto al total de cítricos en la Región de Murcia en 2017 (CREM, 2019). En su conjunto, los tres cítricos seleccionados representan el 97,78% de la superficie de este tipo de cultivos en la Región de Murcia.

Tabla 1. Cultivos hortícolas al aire libre en la Región de Murcia en 2017 (CREM, 2019). Se resaltan los cultivos seleccionados.

Cultivo	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Acelga	140	0,28
Ajo	94	0,19
Alcachofa	7.540	15,18
Apio	988	1,99
Berenjena	48	0,10
Berza	4	0,01
Cardo	6	0,01
Cebolla	885	1,78
Cebolleta	20	0,04
Col y repollo	505	1,02
Brócoli	13.026	26,22
Escarola	428	0,86
Espárrago	6	0,01
Espinaca	890	1,79
Guisante verde	21	0,04
Haba verde	579	1,17
Judía verde	50	0,10
Lechuga	15.632	31,47
Melón	5.738	11,55
Nabo	15	0,03
Puerro	21	0,04
Rábano	6	0,01
Remolacha de mesa	2	0,00
Sandía	2.758	5,55
Zanahoria	36	0,07
Otras hortalizas	240	0,48

Tabla 2. Cultivos cítricos en la Región de Murcia en 2017 (CREM, 2019). Se resaltan los cítricos seleccionados.

Cultivo	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Limonero	24.492	63,48
Mandarino	5.651	14,65
Naranjo	7.584	19,66
Pomelo	801	2,08
Limero y otros cítricos	54	0,14

Frutales no cítricos (fruto carnoso)

Dentro de este grupo se han considerado los cultivos de albaricoquero y melocotonero. En la Tabla 3 se muestra el porcentaje que estos cultivos representan respecto al total de frutales no cítricos en la Región de Murcia en 2017 (CREM, 2019). En su conjunto, los 2 cultivos seleccionados representan el 88,02% de la superficie de este tipo de cultivos en la Región de Murcia.

Tabla 3. Cultivos frutales no cítricos en la Región de Murcia en 2017 (CREM, 2019). Se resaltan los cultivos seleccionados.

Cultivo	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Aguacate	14	0,05
Albaricoquero	9.049	33,94
Cerezo y guindo	338	1,27
Chirimoyo	1	0,00
Chumbera	31	0,12
Ciruelo	844	3,17
Granado	387	1,45
Higuera	91	0,34
Kaki y frambueso	135	0,51
Manzano	71	0,27
Melocotonero	14.421	54,08
Membrillero	9	0,03
Níspero	6	0,02
Peral	1.267	4,75

La Tabla 4 muestra la superficie neta por grupos de cultivo del conjunto de las UDAs asociadas al TTS. En la misma se puede observar como la superficie de hortícolas al

aire libre representa el 27,81% del total, la superficie de cítricos el 45,83% del total, y la superficie de frutales no cítricos (fruto carnoso) 12,30% del total.

Por tanto, los grupos de cultivos seleccionados representan el 85,94% de los cultivos implantados en el conjunto de las UDAs asociadas al TTS, y para cada uno de estos grupos se han seleccionado cultivos que representan el 84,42%, 97,78% y 88,02% de la superficie de hortícolas al aire libre, cítricos y frutales no cítricos, respectivamente. Estas cifras ponen de manifiesto la representatividad de los resultados de este estudio.

Tabla 4. Superficie neta por grupos de cultivo del conjunto de las UDAs asociadas al trasvase Tajo-Segura. Datos obtenidos a partir de CHS (2015).

Cultivo	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Cereales invierno	2.161,8	2,2
Cereales Primavera (maíz)	51,1	0,1
Tubérculos (patata)	241,2	0,2
Algodón	29,3	0,1
Alfalfa	44,1	0,0
Hortícolas protegido	2.198,1	2,2
Hortícolas aire libre	27.509,9	27,81
Cítricos	45.339,5	45,83
Frutales no cítricos (fruto carnosos)	12.165,3	12,30
Almendro	2.975,8	3,0
Viñedo vino	864,8	0,03
Viñedo mesa	1.704,5	1,7
Olivar	3.638,3	3,7
Total	**98.923,6**	

2.3. Emisiones de gases de efecto invernadero de los cultivos

Para determinar las emisiones de GEI se ha utilizado la metodología de ACV, que tiene en cuenta los procesos de forma global y permite estudiar las cargas ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o de una actividad.

El ACV es un proceso objetivo que permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto o cultivo agrícola, identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno, con el fin de determinar el impacto que ese uso de

recursos y esos vertidos producen al medio ambiente. Además, permite evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental, así como brindar soporte para la toma de decisiones más rentables, sostenibles y eficientes. La complejidad del ACV requiere un protocolo al cual deberá ajustarse todo estudio de ACV. Dicho protocolo se encuentra establecido en la normativa elaborada por *International Standards Organisation*, ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006), que conlleva cuatro fases: objetivos y alcance del estudio, análisis del inventario, análisis del impacto e interpretación. Las dos primeras fases forman parte de la metodología, y se exponen a continuación, en los apartados 2.3.1 y 2.3.2; y el análisis del impacto e interpretación forman parte de los resultados, y se tratan en el apartado 3.

2.3.1. Objetivos y alcance del análisis de Ciclo de Vida

Mediante el ACV se han cuantificado las emisiones directas e indirectas de GEI producidos por los siguientes cultivos hortícolas (alcachofa, brócoli, lechuga y melón) y leñosos (naranjo, mandarino, limonero, albaricoquero y melocotonero) producidos en Zonas Regables del TTS bajo diferentes escenarios de suministro de agua (ver apartado 2.1). La unidad funcional utilizada ha sido la hectárea de superficie cultivada y el análisis se ha realizado entre la cuna y la puerta de la parcela (*from "cradle to gate"*), por lo que se han estudiado las fases de extracción de materias primas, transporte a la explotación, utilización en el cultivo y transporte de residuos (plásticos, etc.) al gestor correspondiente.

Las emisiones de GEI se han estimado siguiendo la metodología de Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC, 2006), v 1.03 (para un horizonte cronológico de 100 años) que cuantifica las emisiones de GEI referidas a dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\ eq}$).

2.3.2. Análisis de inventario

Los datos utilizados para elaborar el inventario de ciclo de vida de los diferentes cultivos (Tabla 5) se han tomado de las siguientes fuentes:

- Los datos de producción, fertilizantes y agroquímicos (dosis, número de aplicaciones, etc.) se han obtenido de los Estudios de Costes y Rentas de las Explotaciones Agrarias (MAGRAMA, 2014, 2015).

- Las necesidades de agua de los cultivos se han obtenido del Servicio de Información Agro-meteorológica de la Región de Murcia (SIAM, 2019).
- El uso de la maquinaria se ha calculado siguiendo la metodología propuesta por Audsley et al. (1997), adaptándola a las condiciones de uso y vida media de la maquinaria estimada para España (Márquez, 2004).
- Los componentes del sistema de riego en las explotaciones agrarias se han determinado para una explotación tipo de tamaño medio (13 ha, CARM, 2018) con un embalse de 25.000 m^3 de capacidad (Martinez-Álvarez et al., 2008). Se consideró una vida media de 10 años para las tuberías de PE, 20 años para las tuberías de PVC, y 40 años para el embalse y cabezal de riego. El uso de las infraestructuras de riego se ha prorrateado en función de la longitud del ciclo de cultivo de cada especie hortícola (2 años para alcachofa, 6 meses para brócoli y 4 meses para lechuga y melón) y leñosa (15 años para frutales de hueso y cítricos).

Otros datos necesarios para el cálculo de las emisiones se han obtenido de la base de datos Ecoinvent (2018), incluyendo los materiales empleados en la instalación del equipo de riego, la fabricación de fertilizantes y agroquímicos, maquinaria agrícola, producción de electricidad, transporte de materiales y residuos a planta de procesado, etc.

Tabla 5. Inventario de ciclo de vida de (a) cultivos hortícolas y (b) cultivos leñosos.

(a) Inputs/Outputs	Unidades	Cultivos hortícolas				Fuente de datos
		Alcachofa	Brócoli	Lechuga	Melón	
Duración del ciclo	meses	12	6	4	4	a
Densidad de plantación	Ud/ha-ciclo	7.400	38.074	65.576	10.554	a
Diesel	L/ha-ciclo	380	310	310	335	a
Maquinaria	h/ha-ciclo	76	62	62	67	a
Fertilizantes:						a
• N	kg/ha-ciclo	249	190	211	165	a
• P_2O_5	kg/ha-ciclo	99	64	47	58	a
• K_2O	kg/ha-ciclo	171	117	152	172	a
Compost*	t/ha-ciclo	7,5	7,5	7,5	7,5	a
Agroquímicos:						
• Fungicidas e insecticidas	kg/ha-ciclo	13	8	8	9	b
• Herbicidas	kg/ha-ciclo	4	3	7	5	b
Plástico para acolchado	kg/ha-ciclo	-	-	-	120	a
Sistema de riego (en parcela):						
• Cabezal	kg/ha-ciclo	3,75	1,88	1,25	1,25	c
• Tuberías y emisores de PE	kg/ha-ciclo	192	96	64	64	c
• Tubería de PVC	kg/ha-ciclo	85	43	28	28	c
• Membrana embalse (HPDE)	kg/ha-ciclo	36	18	12	12	c
• Diesel movimiento de tierras	L/ha-ciclo	63	31	21	21	c
Suministro de agua	m^3/ha-ciclo	11.965	6.967	4.926	4.500	d
Energía especifica	kWh/m^3	SE	SE	SE	SE	e
Producción	kg/ha-ciclo	12.505	14.268	26.474	42.972	a
Productividad del agua	kg/m^3	1,05	2,05	5,37	9,55	c
Uso del agua	m^3/kg	0,96	0,49	0,19	0,10	c

* Composición media del compost por tonelada: 6 kg de N, 2 kg de P_2O_5, y 8 kg de K_2O (MARM, 2010), riqueza en nutrientes de 1,5% N, 0,5% P_2O_5 y 2% K_2O considerando un 40% de materia seca). (a) MAGRAMA (2014); (b) Segura et al. (2006); (c) Calculado; (d) SIAM (2019); (e) Según Escenario: 0,94 kWh/m^3 en el Escenario Concesional, 1,41 kWh/m^3 en el Escenario Actual y 2,78 kWh/m^3 en el Escenario de Sustitución de TTS por desalación.

Tabla 5. Inventario de ciclo de vida de (a) cultivos hortícolas y (b) cultivos leñosos.

(b) Inputs/Outputs	Unidades	Cítricos			Frutales de hueso		Fuente de datos
		Limonero	Mandarino	Naranjo	Albaricoque	Melocotón	
Duración del ciclo	años/ha	1	1	1	1	1	a
Densidad de plantación	arboles/ha	278	667	333	204	571	a
Marco de plantación	m x m	6 x 6	6 x 2,5	6 x 5	7 x 7	5 x 3,5	a
Diesel	L/ha-año	535	520	535	430	430	a
Maquinaria	h/ha-año	107	104	107	86	86	a
Fertilizantes:							a
• N	kg/ha-año	182	214	197	106	129	a
• P_2O_5	kg/ha-año	36	43	40	33	55	a
• K_2O	kg/ha-año	132	95	125	124	161	a
Agroquímicos:							
• Fungicidas e insecticidas	kg/ha-año	9	13	7	13	20	b
• Herbicidas	kg/ha-año	4	6	5	6	9	b
Sistema de riego (en parcela):							
• Cabezal	kg/ha-año	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	c
• Tubería y emisores de PE	kg/ha-año	227	227	227	85	85	c
• Tubería de PVC	kg/ha-año	68	68	68	68	68	c
• Membrana embalse (HPDE)	kg/ha-año	36	36	36	36	36	c
• Diésel movimiento de tierras	L/ha-año	59	59	59	59	59	c
Suministros de agua	m^3/ha-año	5.930	6.608	4.993	5.643	5.776	d
Energía especifica	kWh/m^3	SE	SE	SE	SE	SE	e
Producción	kg/ha-año	29.498	22.498	20.890	18.690	24.098	a
Productividad del agua	kg/m^3	4,97	3,40	4,18	3,31	4,17	c
Water use	m^3/kg	0,20	0,29	0,24	0,30	0,24	c

(a) MAGRAMA (2014); (b) Segura et al. (2006); (c) Calculado; (d) SIAM (2019); (e) Según Escenario: 0,94 kWh/m^3 en el Escenario Concesional, 1,41 kWh/m^3 en el Escenario Actual y 2,78 kWh/m^3 en el Escenario de Sustitución de TTS por desalación.

Para poder realizar una evaluación ambiental detallada, el proceso de producción se ha dividido en seis fases, que se detallan a continuación:

1. *Producción de fertilizantes:* incluye la extracción de materias primas, producción, envasado, transporte y distribución hasta la parcela de los fertilizantes (N, P_2O_5 y K_2O), así como el transporte y gestión de los envases hasta la planta gestora.
2. *Producción de agroquímicos*: incluye la síntesis de materias activas, envasado, transporte y distribución hasta la parcela de los agroquímicos, así como el transporte y gestión de los envases hasta la planta gestora.

3. *Producción y manejo de la maquinaria:* incluye la manufactura, transporte, mantenimiento, reparación y reciclado de la maquinaria utilizada en la parcela para realizar las labores de campo de los cultivos.
4. *Producción de plántulas y plantones en vivero:* incluye la producción de plantas de vivero (plántulas de hortícolas y plantones arbóreos) y el transporte hasta la parcela.
5. *Sistema de riego:* incluye la fabricación de la infraestructura de riego de la parcela (cabezal de riego, filtros, tanques de abonos, programador y tuberías de PE y PVC), la construcción del embalse, el agua y la energía eléctrica necesaria para el riego; así como el transporte y gestión de los residuos hasta la planta gestora, al final de la vida útil.
6. *Operaciones de campo:*
   - para cultivos hortícolas comprenden: laboreo, siembra, trasplante, aplicación de agroquímicos, recolección y transporte hasta central hortofrutícola. Para el melón incluye también el plástico utilizado para el acolchado.
   - para cultivos leñosos comprenden: plantación, laboreo, poda y manejo de restos de poda, aplicación de agroquímicos, recolección y transporte hasta central hortofrutícola. La labor de plantación se ha prorrateada considerando una vida media del cultivo de 15 años.

   En esta fase se han considerado las emisiones de GEI producidas por la combustión del carburante utilizado para realizar las labores; así como las emisiones de N_2O y CH_4 producidas por la aplicación de fertilizantes nitrogenados minerales y orgánicos en la parcela. Para los cultivos hortícolas se ha considerado que un 30% de la fertilización se aporta en forma de materia orgánica.

Por último, hay que señalar que se han asumido las siguientes consideraciones:

- Los transportes de insumos hasta la parcela y de cosecha desde la parcela a la central hortofrutícola, se han realizado con vehículos que cumplen con la normativa de emisiones EURO 5 (Ecoinvent, 2018) para una distancia de 50 km; excepto para los esquejes de alcachofa que se considera una distancia de 700 km desde el norte de España.
- La energía específica de cada escenario de riego se ha obtenido a partir de la energía específica de cada una la fuente de agua y del porcentaje que supone en el mix de cada escenario considerado descrito en el apartado 2.1 (0,94

kWh/m^3 en el Escenario Concesional, 1,41 kWh/m^3 en el Escenario Actual y 2,78 kWh/m^3 en el Escenario de Sustitución de TTS por desalación).

- Las emisiones indirectas derivadas de las infraestructuras de riego externas a las explotaciones agrícolas, como canales, embalses colectivos, redes, plantas desalinizadoras, etc.) no se han considerado en este estudio, siguiendo las recomendaciones de Hospido et al. (2013).
- La remoción de carbono biogénico por los cultivos agrícolas se ha considerado, siguiendo la recomendación de la norma ISO 14067 (2013), como emisiones retardadas resultantes del almacenamiento temporal de carbono en la cuantificación de la huella de carbono, y se documentan de forma separada en el informe.

El potencial de remoción de CO_2 por el suelo no se ha considerado en este estudio. Se ha tenido en cuenta que durante el periodo de estudio no se han producido variaciones en el manejo del suelo, por lo que las reservas de carbono del suelo se han mantenido constantes.

2.4. Remoción de carbono por los cultivos

Los datos de remoción de CO_2 de los cultivos analizados se ha obtenido del "*Estudio sobre la absorción de CO_2 por los cultivos más representativos de la Región de* Murcia" (Victoria, 2010). Este estudio se realizó por los centros oficiales de investigación y las universidades públicas de la Región (CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario, Universidad de Murcia y Universidad Politécnica de Cartagena) y analiza el potencial de remoción de CO_2 de las principales especies agrícolas y forestales de la Región de Murcia.

En la Tabla 6 se muestran los valores de remoción de carbono (t $CO_{2\ eq}$/ha) de los cultivos objeto de estudio (Victoria, 2010).

Tabla 6. Fijación de CO_2 por los cultivos seleccionados en la Región de Murcia (Victoria (2010) pág. 76 y sigs.).

Grupo de cultivos	Cultivo	Fijación de carbono (kg CO_2/planta)	Densidad de plantación (Ud/ha)	Fijación de carbono (t CO_2/ha)
Cultivos hortícolas	Alcachofa	-1,854	7.000	-12,98
	Brócoli	-0,239	35.000	-8,37
	Lechuga	-0,130	65.000	-8,45
	Melón	-0,802	10.000	-8,02
Cítricos	Limonero	-106,93	280	-29,94
	Mandarino	-31,11	420	-13,06
	Naranjo	-49,35	420	-20,73
Frutales de hueso	Albaricoquero	-84,49	204	-17,24
	Melocotonero	-49,77	570	-28,37

2.5. Balance de carbono de los cultivos

El balance de carbono de los cultivos se ha determinado como la diferencia entre las emisiones de GEI y la remoción de CO_2 por los cultivos. Las unidades de medida utilizadas han sido: toneladas de dióxido de carbono equivalente por hectárea de cultivo (t $CO_{2\ eq}$/ha) para las emisiones de GEI y toneladas de dióxido de carbono por hectárea de cultivo para la remoción de carbono (t CO_2/ha).

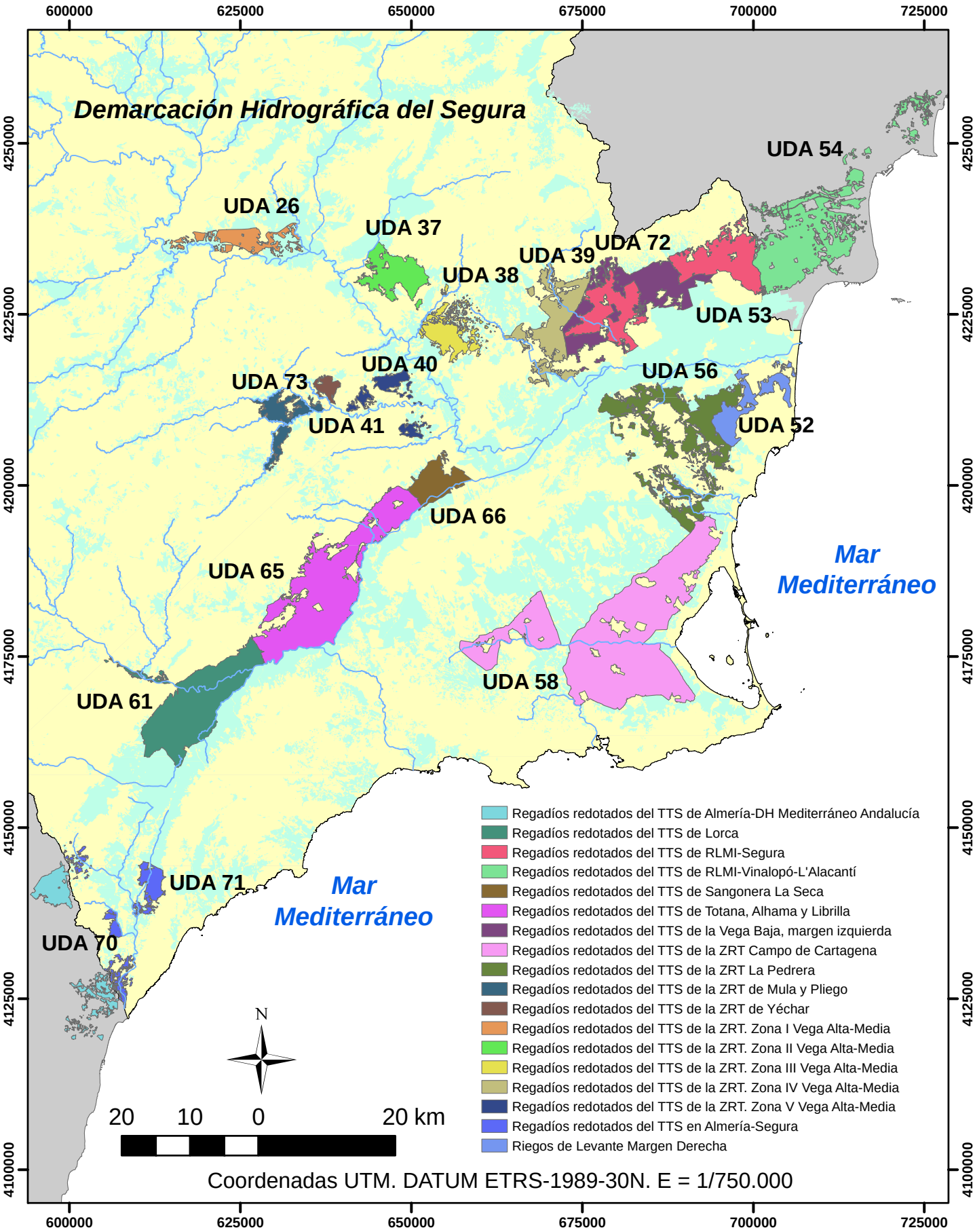
Como ya se ha indicado, el criterio de signos considerado para el balance positivo ha sido: positivo (+) para las trasferencias de carbono de la actividad agraria a la atmósfera, y negativo (-) cuando se ha producido en sentido contrario (de la atmósfera al cultivo).

2.6. Extrapolación de resultados a las Zonas Regables del TTS

La extrapolación de los valores de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada uno de los cultivos seleccionados a las Zonas Regables asociadas al TTS se ha realizado adoptando como unidad territorial de cálculo las UDAs definidas en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura para el periodo 2015-2021 (CHS, 2015). La Tabla 7 recoge la denominación y la superficie neta de cada una de las UDAs con suministro de agua de riego del TTS, y el Mapa 1 su localización.

Tabla 7. UDAs con suministro de agua de riego del TTS.

UDA	Denominación	Superficie neta (ha)
UDA26	Regadíos redotados del TTS de la ZRT I Vega Alta-Media	2.764
UDA37	Regadíos redotados del TTS de la ZRT II Vega Alta-Media	3.488
UDA38	Regadíos redotados del TTS de la ZRT III Vega Alta-Media	2.419
UDA39	Regadíos redotados del TTS de la ZRT IV Vega Alta-Media	5.248
UDA40	Regadíos redotados del TTS de la ZRT V Vega Alta-Media	1.827
UDA41	Regadíos redotados del TTS de la ZRT Yéchar	763
UDA52	Riegos de Levante Margen Derecha	2.968
UDA53	Riegos redotados del TTS de RLMI-Segura	9.500
UDA54	Riegos redotados del TTS de RLMI-Vinalopó-L'Alacantí	8.638
UDA56	Regadíos redotados del TTS de la ZRT La Pedrera	9.750
UDA58	Regadíos redotados del TTS de la ZRT Campo de Cartagena	19.259
UDA61	Regadíos redotados del TTS de Lorca	7.319
UDA65	Regadíos redotados del TTS de Totana, Alhama y Librilla	10.382
UDA66	Regadíos redotados del TTS de Sangonera La Seca	1.089
UDA70	Regadíos redotados del TTS de Almería-DH Med. de Andalucía	2.237
UDA71	Regadíos redotados del TTS en Almería-Segura	2.173
UDA72	Regadíos redotados del TTS de la Vega Baja, margen izquierda	7.102
UDA73	Regadíos redotados del TTS de la ZRT Mula y Pliego	1.998
		Total = 98.926,6



Mapa 1. UDAs asociadas a las Zonas Regables del Trasvase Tajo-Segura

El procedimiento seguido se puede sintetizar en las siguientes fases:

1. *Determinación del peso de cada grupo de cultivos en cada UDA.* En primer lugar, considerando los porcentajes que cada grupo de cultivos representa en cada UDA (CHS, 2015), se ha calculado la superficie neta correspondiente a los grupos "hortícolas al aire libre", "cítricos" y "frutales no cítricos", aumentándose la misma de forma proporcional a su magnitud hasta alcanzar la superficie neta total de cada UDA.
2. *Determinación de los valores anuales de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada grupo de cultivo y escenario considerado*. Para "cítricos" y "frutales no cítricos" se ha calculado el valor mediante la media ponderada por el área de cada cultivo del grupo seleccionado en la Región de Murcia (Tablas 2 y 3).

   En el caso de hortícolas al aire libre, dado que durante un año se suelen realizar varios ciclos de cultivo, se ha considerado como valor anual el valor medio obtenido de las siguientes cinco combinaciones de cultivos, por considerarlas las más frecuentes y representativas de la zona de estudio:

   - Lechuga-Lechuga.
   - Lechuga-Brócoli.
   - Lechuga-Melón.
   - Brócoli-Melón.
   - Alcachofa.

   Los valores obtenidos para cada grupo de cultivo y escenario se recogen en la Tablas 8, 9 y 10 para los escenarios Concesional, Actual y de Sustitución del TTS por desalación, respectivamente.

Tabla 8. Valores anuales de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada grupo de cultivo en el Escenario Concesional.

Grupo de cultivos	Emisiones GEI (t $CO_{2\ eq}$/ha-año)	Remoción CO_2 (t CO_2/ha-año)	Balance carbono (t $CO_{2\ eq}$/ha-año)
Hortícolas aire libre	13,02	-15,91	-2,89
Cítricos	8,91	-25,56	-16,65
Frutales no cítricos	7,47	-24,08	-16,60

Tabla 9. Valores anuales de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada grupo de cultivo en el Escenario Actual.

Grupo de cultivos	Emisiones GEI (t $CO_{2\ eq}$/ha-año)	Remoción CO_2 (t CO_2/ha-año)	Balance carbono (t $CO_{2\ eq}$/ha-año)
Hortícolas aire libre	14,90	-15,91	-1,01
Cítricos	9,91	-25,56	-15,65
Frutales no cítricos	8,46	-24,08	-15,62

Tabla 10. Valores anuales de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada grupo de cultivo en el Escenario de Sustitución del TTS por desalación.

Grupo de cultivos	Emisiones GEI (t $CO_{2\ eq}$/ha-año)	Remoción CO_2 (t CO_2/ha-año)	Balance carbono (t $CO_{2\ eq}$/ha-año)
Hortícolas aire libre	20,43	-15,91	4,52
Cítricos	12,87	-25,56	-12,69
Frutales no cítricos	10,96	-24,08	-12,72

3. *Determinación de las emisiones anuales de GEI por UDA para cada escenario considerado*. A partir de los valores de emisiones de GEI calculados para cada grupo de cultivos, se ha obtenido el valor correspondiente a cada UDA multiplicando la media del valor de cada cultivo grupo de cultivo ponderada por el peso del cultivo en cada UDA por la superficie neta de la UDA. Este proceso se ha repetido para cada uno de los tres escenarios considerados.

4. *Determinación de la remoción anual de CO_2 por UDA para cada escenario considerado*. A partir de los valores de remoción calculados para cada grupo de cultivos, se ha obtenido el valor correspondiente a cada UDA multiplicando la media del valor de cada cultivo grupo de cultivo ponderado por el peso del cultivo en cada UDA por la superficie neta de la UDA. Este proceso se ha repetido para cada uno de los tres escenarios considerados.

5. *Determinación del balance anual de carbono por UDA para cada escenario considerado*. A partir de los valores de balance de carbono calculados para cada grupo de cultivos, se ha obtenido el valor correspondiente a cada UDA multiplicando la media del valor de cada cultivo grupo de cultivo ponderada por el peso del cultivo en cada UDA por la superficie neta de la UDA. Este proceso se ha repetido para cada uno de los tres escenarios considerados.

6. *Agregación y representación gráfica de los resultados para cada escenario*. La estimación de los valores globales de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono el conjunto de las Zonas Regables asociadas al TTS y cada escenario se ha hecho mediante la suma de los valores obtenidos en cada UDA para cada escenario. Finalmente, estos balances o tasas de emisión se han representado espacialmente para mostrar sus tendencias espaciales.

3. Resultados

3.1. Balance de Carbono de los cultivos seleccionados por escenario

3.1.1. Escenario Concesional

En la Tabla 11 se recogen los valores de emisiones de GEI por cultivos (t $CO_{2\ eq}$/ha) y el porcentaje (%) sobre el total que representa cada una de las seis fases consideradas, para el Escenario Concesional.

Tabla 11. Emisiones de GEI por cultivos (t $CO_{2\ eq}$/ha) en el Escenario Concesional, (a) cultivos hortícolas y (b) cítricos y frutales no cítricos.

(a) Emisiones GEI / Fases	**Cultivos hortícolas**			
	Alcachofa	**Brócoli**	**Lechuga**	**Melón**
Emisiones GEI (t $CO_{2\ eq}$/ha)	12,01	7,12	6,67	6,05
Fases (%):				
- Producción de fertilizantes	19,9	23,7	28,3	23,8
- Producción de fitosanitarios	1,6	1,7	2,5	2,6
- Producción de maquinaria	3,2	4,4	4,7	5,1
- Producción de plántulas	12,2	1,5	2,8	0,5
- Sistema de riego	41,3	40,1	30,2	30,8
- Labores de campo	21,9	28,6	31,6	37,2

Tabla 11. Emisiones de GEI por cultivos (t $CO_{2\ eq}$/ha) en el Escenario Concesional, (a) cultivos hortícolas y (b) cítricos y frutales no cítricos.

(b) Emisiones	**Cítricos**			**Frutales no cítricos**	
GEI / Fases	**Limonero**	**Mandarino**	**Naranjo**	**Albaricoquero**	**Melocotonero**
Emisiones GEI (t CO_{2eq}/ha)	8,82	9,60	8,65	7,12	7,68
Fases (%):					
- Producción de fertilizantes	28,4	29,4	31,0	22,3	25,9
- Producción de fitosanitarios	1,6	2,2	1,6	3,0	4,2
- Producción de maquinaria	6,0	5,4	6,1	6,0	5,6
- Producción de plantones	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- Sistema de riego	34,0	33,6	30,9	40,7	38,3
- Labores de campo	29,9	29,4	30,5	28,1	26,0

El valor promedio de emisiones de GEI de los cultivos hortícolas es de 6,61 t $CO_{2\ eq}$/ha, excepto la alcachofa que prácticamente duplica este valor. Sin embargo, en los cultivos leñosos el valor promedio de emisiones de GEI es superior (8,37 t $CO_{2\ eq}$/ha), mostrando poca variación entre ellos.

El riego, las labores de campo y la producción de fertilizantes son las fases con mayores emisiones de GEI. En el Escenario Concesional estas tres fases suponen el 36, 29 y 26% respectivamente, y conjuntamente representan el 91% de las emisiones de GEI de los cultivos analizados. Esto es debido fundamentalmente a la combustión de energías fósiles utilizadas para producir la energía eléctrica para el riego, el combustible empleado en la maquinaria agrícola y en el proceso de producción de fertilizantes.

Las emisiones de GEI de los cultivos hortícolas presentan una gran variabilidad, entre 6,05 t $CO_{2\ eq}$/ha del melón y 12,01 t $CO_{2\ eq}$/ha de la alcachofa. Sin embargo, en los cultivos leñosos los valores son más semejantes, con un valor medio de 8,37 t $CO_{2\ eq}$/ha.

En lo que respecta a la remoción de CO_2, los cultivos leñosos presentan valores mayores que los hortícolas, debido a su mayor índice de área foliar y mayor duración del cultivo. Esto también explica porque la alcachofa tiene un valor de remoción de CO_2 un 50% mayor que el resto de los hortícolas (-12,98 t CO_2/ha vs -8,12 t CO_2/ha). En general, una capacidad de remoción de CO_2 por los cultivos leñosos es 2,3 veces mayor que la de los cultivos hortícolas (incluyendo la alcachofa).

Finalmente, el balance de carbono, que es el resultado de la diferencia entre emisiones de GEI y remoción de CO_2, resulta 9 veces más favorable para los cultivos leñosos que para los cultivos hortícolas (-13,49 vs -1,49 t CO_2/ha). Estos resultados generales de emisiones de GEI (Tabla 11), remoción de CO_2 (Tabla 6) y balance de carbono por cultivo para el Escenario Concesional se muestran en la Fig. 1. Es importante señalar que, en el Escenario Concesional, todos los cultivos analizados actúan como sumideros de CO_2.

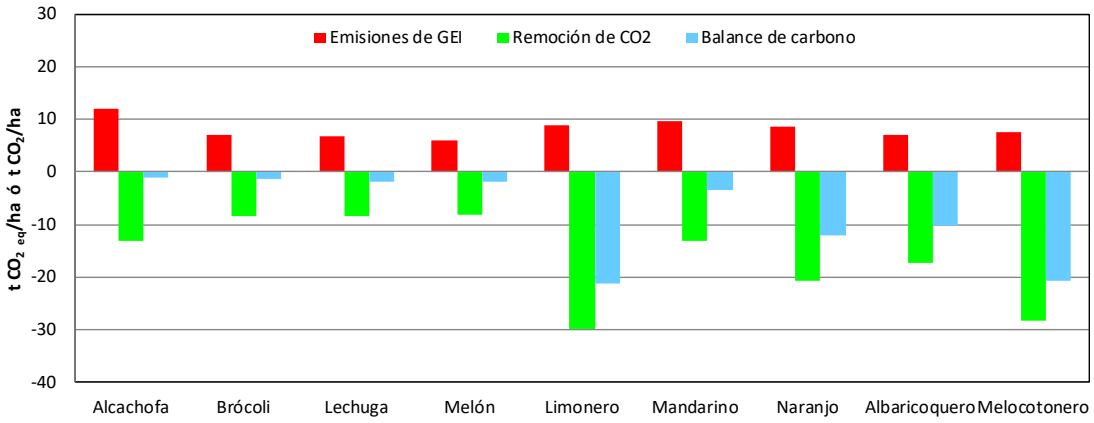


Figura 1. Emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono por cultivo en el Escenario Concesional.

3.1.2. Escenario Actual

En la Tabla 12 se recogen los valores de emisiones de GEI por cultivos (t $CO_{2\ eq}$/ha) y el porcentaje (%) sobre el total que representa cada una de las seis fases consideradas, para el Escenario Actual.

Tabla 12. Emisiones de GEI por cultivos (t $CO_{2\,eq}$/ha) en el Escenario Actual, (a) cultivos hortícolas y (b) cítricos y frutales no cítricos.

(a) Emisiones GEI / Fases	**Cultivos hortícolas**			
	Alcachofa	**Brócoli**	**Lechuga**	**Melón**
Emisiones GEI (t CO2 eq/ha)	14,07	8,31	7,52	6,83
Fases (%):				
- Producción de fertilizantes	17,0	20,3	25,1	21,1
- Producción de fitosanitarios	1,4	1,5	2,2	2,3
- Producción de maquinaria	2,7	3,7	4,1	4,6
- Producción de plántulas	10,4	1,3	2,4	0,4
- Sistema de riego	49,8	48,7	38,0	38,6
- Labores de campo	18,7	24,5	28,1	33,0

Tabla 12. Emisiones de GEI por cultivos (t $CO_{2\,eq}$/ha) en el Escenario Actual, (a) cultivos hortícolas y (b) cítricos y frutales no cítricos.

(b) Emisiones GEI	**Cítricos**			**Frutales no cítricos**	
Fases	**Limonero**	**Mandarino**	**Naranjo**	**Albaricoquero**	**Melocotonero**
Emisiones GEI (t CO_{2eq}/ha)	9,83	10,74	9,51	8,09	8,67
Fases (%):					
- Producción de fertilizantes	25,5	26,3	28,2	19,6	22,9
- Producción de fitosanitarios	1,5	2,0	1,4	2,6	3,7
- Producción de maquinaria	5,4	4,8	5,6	5,3	4,9
- Producción de plantones	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- Sistema de riego	40,8	40,7	37,1	47,8	45,4
- Labores de campo	26,8	26,3	27,7	24,7	23,0

En este escenario, como consecuencia del aumento del consumo de energía específica hasta 1,41 kWh/m^3 han aumentado las emisiones de GEI correspondientes al riego; lo que supone que, de promedio para todos los cultivos, el riego es el responsable del 43% de las emisiones de GEI. En este escenario las emisiones de GEI han aumentado un 13% respecto al Escenario Concesional. En lo que respecta a la remoción de CO_2, los valores con respecto al Escenario Concesional no han cambiado, y por consiguiente, el balance de carbono resultante se ve perjudicado en todos los cultivos. Estos resultados generales de emisiones de GEI (Tabla 12), remoción de CO_2 (Tabla 6) y balance de carbono por cultivo para el Escenario Actual se muestran en la Fig. 2. Destacar que la alcachofa en este escenario ya actúa como fuente de CO_2 hacia la atmosfera (1,09 t CO_2/ha), y el brócoli presenta un balance casi neutro (0,05 t CO_2/ha).

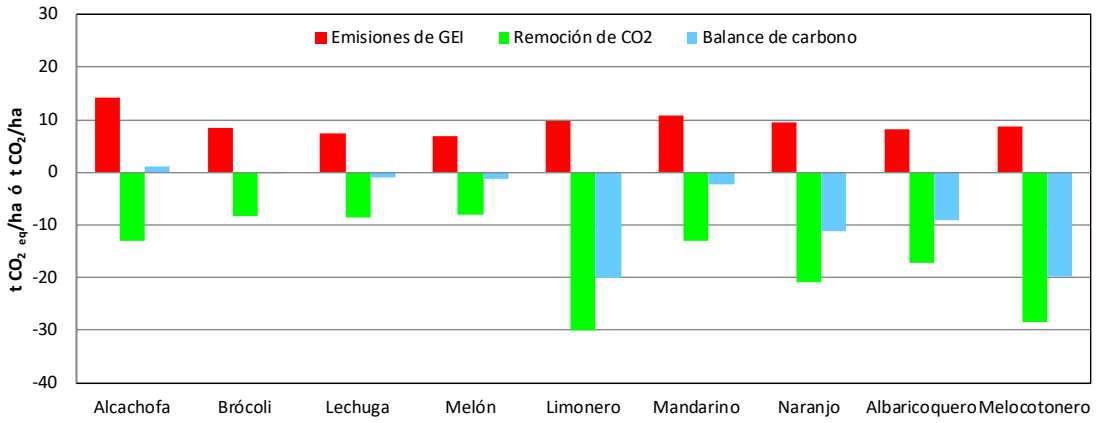


Figura 2. Emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono por cultivo en el Escenario Actual.

3.1.3 Escenario de Sustitución de TTS por desalación

En la Tabla 13 se recogen los valores de emisiones de GEI por cultivos (t $CO_{2\ eq}$/ha) y el porcentaje (%) sobre el total que representa cada una de las seis fases consideradas, para el Escenario de Sustitución de TTS por desalación. En este escenario, como consecuencia de un mayor aumento del consumo de energía específica hasta 2,78 kWh/m^3 han aumentado las emisiones de GEI correspondientes al riego; lo que supone que, de promedio para todos los cultivos, el riego es el responsable del 57% de las emisiones de GEI.

Tabla 13. Emisiones de GEI por cultivos (t $CO_{2\ eq}$/ha) en el escenario de Sustitución de TTS por desalación, (a) cultivos hortícolas y (b) cítricos y frutales no cítricos.

(a) Emisiones GEI / Fases	**Cultivos hortícolas**			
	Alcachofa	**Brócoli**	**Lechuga**	**Melón**
Emisiones GEI (t $CO_{2\ eq}$/ha)	20,12	11,84	10,01	9,10
Fases (%)				
- Producción de fertilizantes	11,9	14,3	18,8	15,8
- Producción de fitosanitarios	0,9	1,0	1,7	1,7
- Producción de maquinaria	1,9	2,6	3,1	3,4
- Producción de plántulas	7,3	0,9	1,8	0,3
- Sistema de riego	64,9	64,0	53,4	54,0
- Labores de campo	13,0	17,2	21,1	24,7

Tabla 13. Emisiones de GEI por cultivos (t $CO_{2\ eq}$/ha) en el escenario de Sustitución de TTS por desalación, (a) cultivos hortícolas y (b) cítricos y frutales no cítricos.

(b)Emisiones GEI / Fases	**Cítricos**		**Frutales no cítricos**		
	Limonero	**Mandarino**	**Naranjo**	**Albaricoquero**	**Melocotonero**
Emisiones GEI (t $CO_{2\ eq}$/ha)	12,83	14,08	12,04	10,94	11,59
Fases (%)					
- Producción de fertilizantes	19,5	20,0	22,3	14,5	17,2
- Producción de fitosanitarios	1,1	1,5	1,1	1,9	2,8
- Producción de maquinaria	4,1	3,7	4,4	3,9	3,7
- Producción de plantones	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- Sistema de riego	54,6	54,7	50,3	61,4	59,1
- Labores de campo	20,6	20,1	21,9	18,3	17,2

En la Fig. 3 se muestran las emisiones de GEI (Tabla 13), remoción de CO_2 (Tabla 6) y balance de carbono por cultivo para el Escenario de Sustitución de TTS por desalación. En este escenario las emisiones de GEI han aumentado un 53% respecto al Escenario Concesional. En lo que respecta a la remoción de CO_2, como los valores no han cambiado respecto al Escenario Concesional; el balance de carbono resultante se ve mucho más perjudicado para todos los cultivos que en el Escenario Actual. Estos resultados generales de emisiones de GEI (Tabla 13), remoción de CO_2 (Tabla 6) y balance de carbono por cultivo para el Escenario de Sustitución de TTS por desalación se muestran en la Fig. 3. En este escenario todos los cultivos hortícolas y el mandarino serán fuente de CO_2 hacia la atmosfera; y solo el limonero, naranjo, albaricoquero y melocotoneros son fijadores netos de carbono (-12,22 t CO_2/ha de valor promedio).

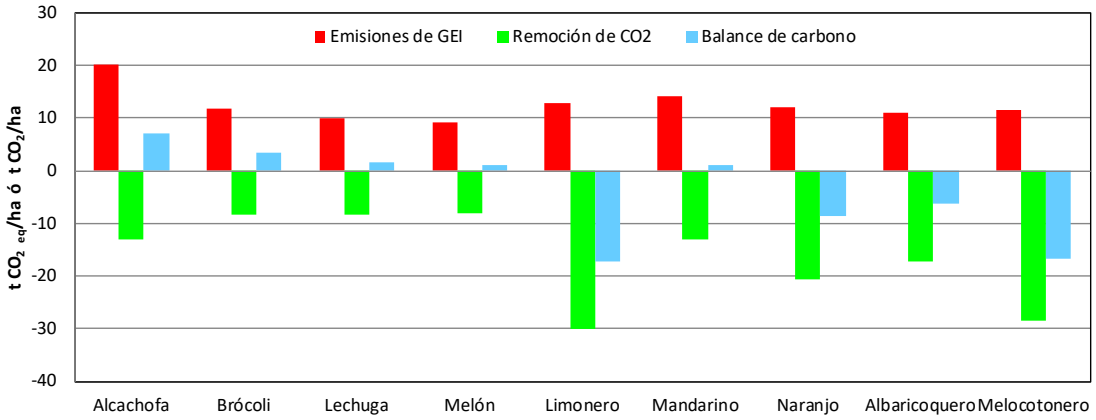


Figura 3. Emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono por cultivo en el Escenario de Sustitución de TTS por desalación.

3.2. Resultados del Escenario Concesional

La Tabla 14 recoge los valores de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada una de las UDAs en el Escenario Concesional, que también se representan gráficamente en el Mapa 2. Los resultados globales para el conjunto de las Zonas Regables asociadas al TTS, asumiendo una superficie de 98.923,6 ha, que es la superficie neta de regadío considerada en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 para las UDAs vinculadas al trasvase (CHS, 2015), son los siguientes:

- Emisiones de GEI: 991.744 t $CO_{2\ eq}$/año.

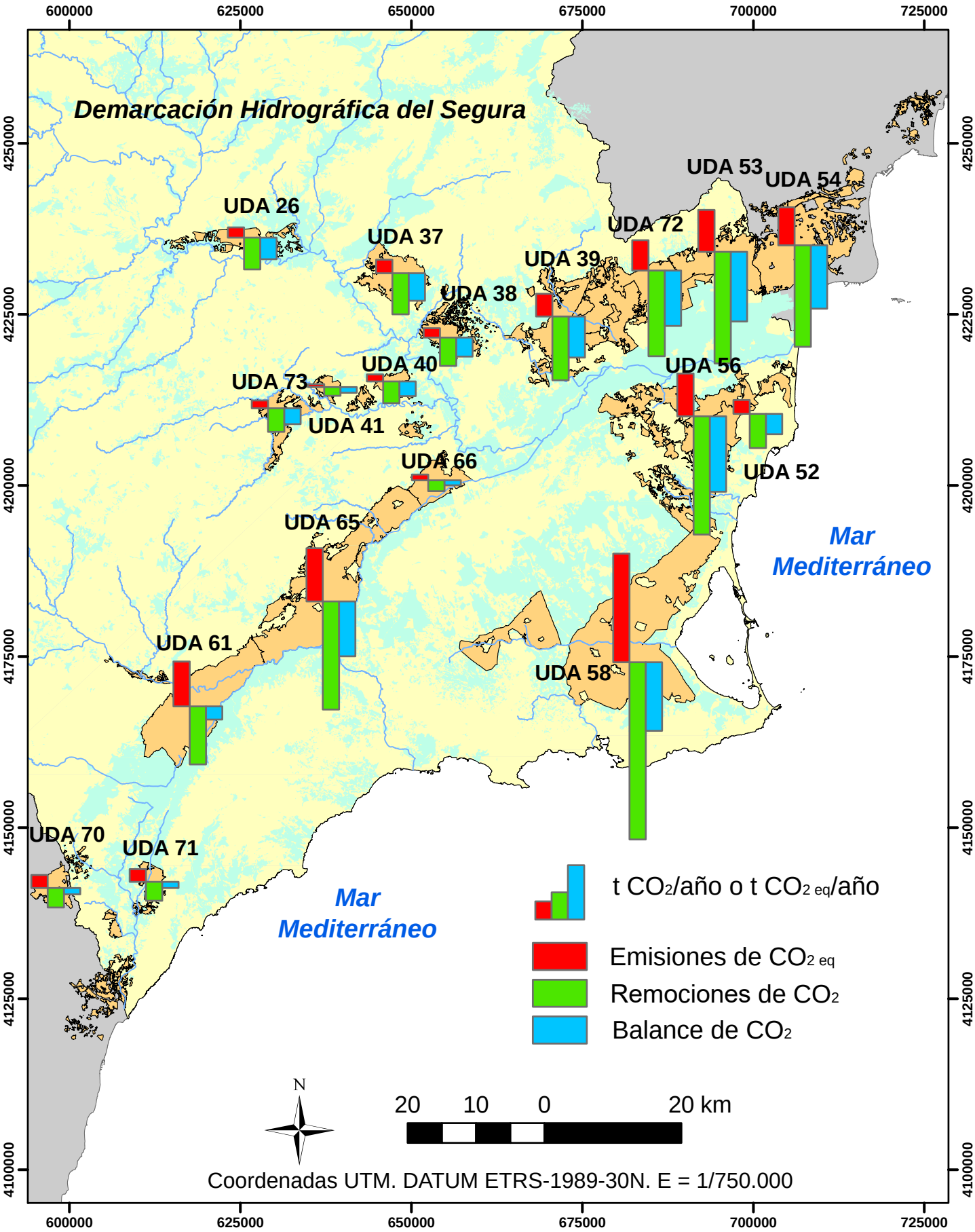
- Remoción de CO_2: -2.199.828 t CO_2/año.
- Balance de carbono: -1.208.084 t CO_2/año.

Teniendo en cuenta que la superficie nominal según concesiones de las Zonas Regables del trasvase es bastante superior a la superficie neta de regadío considerada en el Plan (133.356 ha, Soto-García et al., 2014), los valores de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono que se podrían llegar a alcanzar si llegase el 100% de la dotación del trasvase serían los siguientes:

- Emisiones de GEI: 1.336.941 t $CO_{2\ eq}$/año.
- Remoción de CO_2: -2.965.523 t CO_2/año.
- Balance de carbono: -1.628.582 t CO_2/año.

Tabla 14. Valores anuales de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada una de las UDAs en el Escenario Concesional.

UDA	Emisiones GEI (t $CO_{2\ eq}$/año)	Remoción CO_2 (t CO_2/año)	Balance carbono (t CO_2/año)
UDA 26	21.174	-65.788	-44.615
UDA 37	28.154	-85.042	-56.888
UDA 38	19.335	-58.726	-39.391
UDA 39	46.962	-131.981	-85.019
UDA 40	14.659	-45.002	-30.343
UDA 41	6.201	-17.854	-11.652
UDA 52	28.585	-70.827	-42.242
UDA 53	86.783	-230.992	-144.209
UDA 54	78.906	-210.025	-131.119
UDA 56	88.731	-244.805	-156.073
UDA 58	224.969	-366.921	-141.952
UDA 61	92.882	-119.996	-27.113
UDA 65	110.200	-223.787	-113.586
UDA 66	12.017	-22.359	-10.342
UDA 70	27.092	-40.236	-13.144
UDA 71	26.319	-39.087	-12.768
UDA 72	62.734	-177.481	-114.747
UDA 73	16.040	-48.919	-32.879
Total	**991.744**	**-2.199.828**	**-1.208.084**

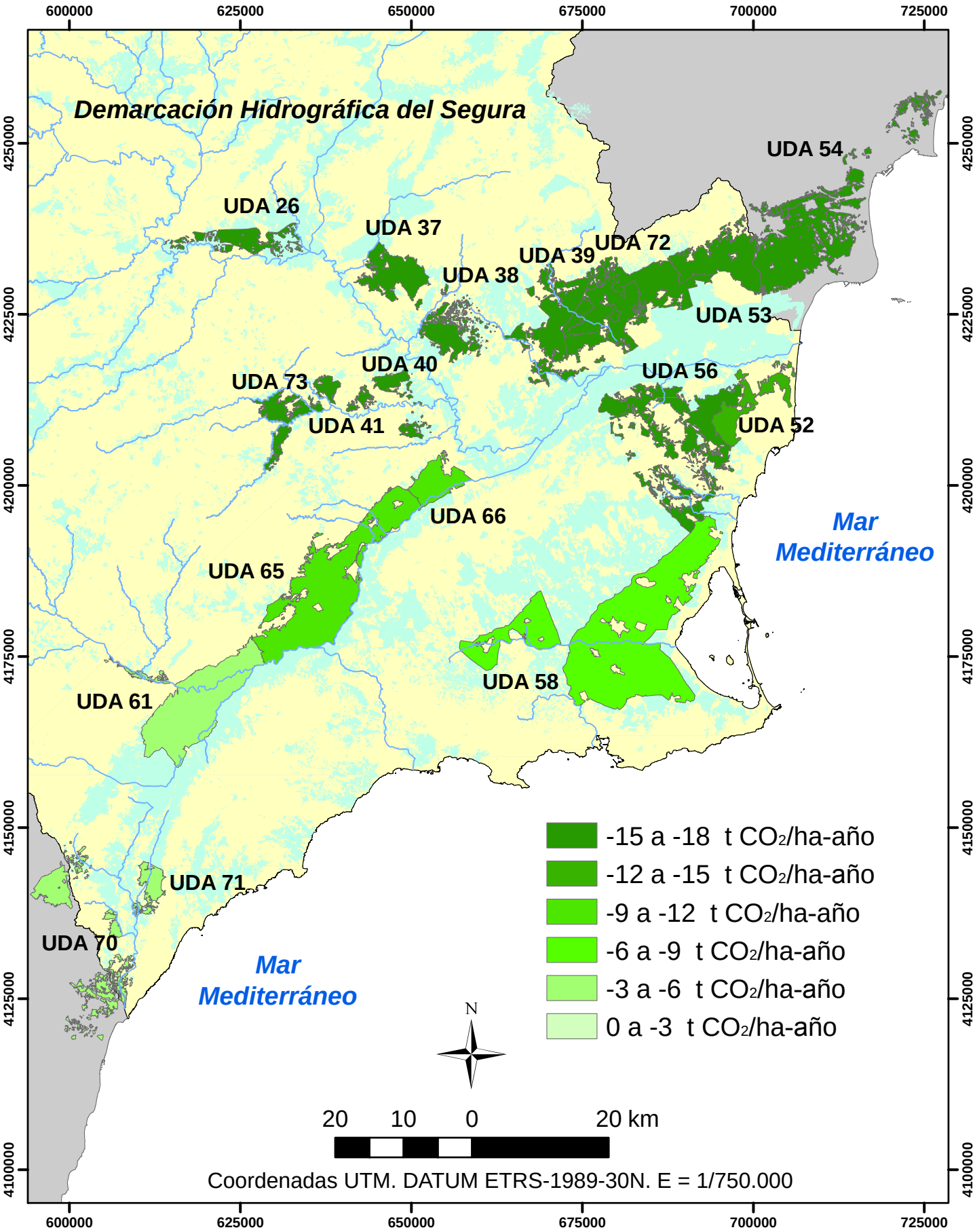


Mapa 2. Balance de carbono en Escenario Concesional.

La Tabla 15 recoge los valores por hectárea (tasa) de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada una de las UDAs. El valor del balance de carbono por hectárea para cada UDA se representa gráficamente en el Mapa 3. El valor medio del balance de carbono por hectárea para el conjunto de las Zonas Regables asociadas al TTS es de -12,21 t CO_2 ha-año.

Tabla 15. Valores por hectárea de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada una de las UDAs en el Escenario Concesional.

UDA	Emisiones GEI (t $CO_{2\ eq}$/ha-año)	Remoción CO_2 (t CO_2/ha-año)	Balance carbono (t CO_2/ha-año)
UDA 26	7,66	-23,80	-16,14
UDA 37	8,07	-24,38	-16,31
UDA 38	7,99	-24,28	-16,28
UDA 39	8,95	-25,15	-16,20
UDA 40	8,02	-24,63	-16,61
UDA 41	8,13	-23,40	-15,27
UDA 52	9,63	-23,86	-14,23
UDA 53	9,14	-24,31	-15,18
UDA 54	9,14	-24,31	-15,18
UDA 56	9,10	-25,11	-16,01
UDA 58	11,68	-19,05	-7,37
UDA 61	12,69	-16,40	-3,70
UDA 65	10,61	-21,56	-10,94
UDA 66	11,04	-20,53	-9,50
UDA 70	12,11	-17,99	-5,88
UDA 71	12,11	-17,99	-5,88
UDA 72	8,83	-24,99	-16,16
UDA 73	8,03	-24,48	-16,46



Mapa 3. Balance medio de CO_2 por hectárea y año en las UDAs asociadas a las Zonas Regables del Trasvase Tajo-Segura en Escenario Concesional

3.3. Resultados del Escenario Actual

La Tabla 16 recoge los valores de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada una de las UDAs en el Escenario Actual, que también se representan gráficamente en el Mapa 4. Los resultados globales para el conjunto de las Zonas Regables asociadas al TTS, asumiendo una superficie de 98.923,6 ha, que es la superficie neta de regadío considerada en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 para las UDAs vinculadas al trasvase (CHS, 2015), son los siguientes:

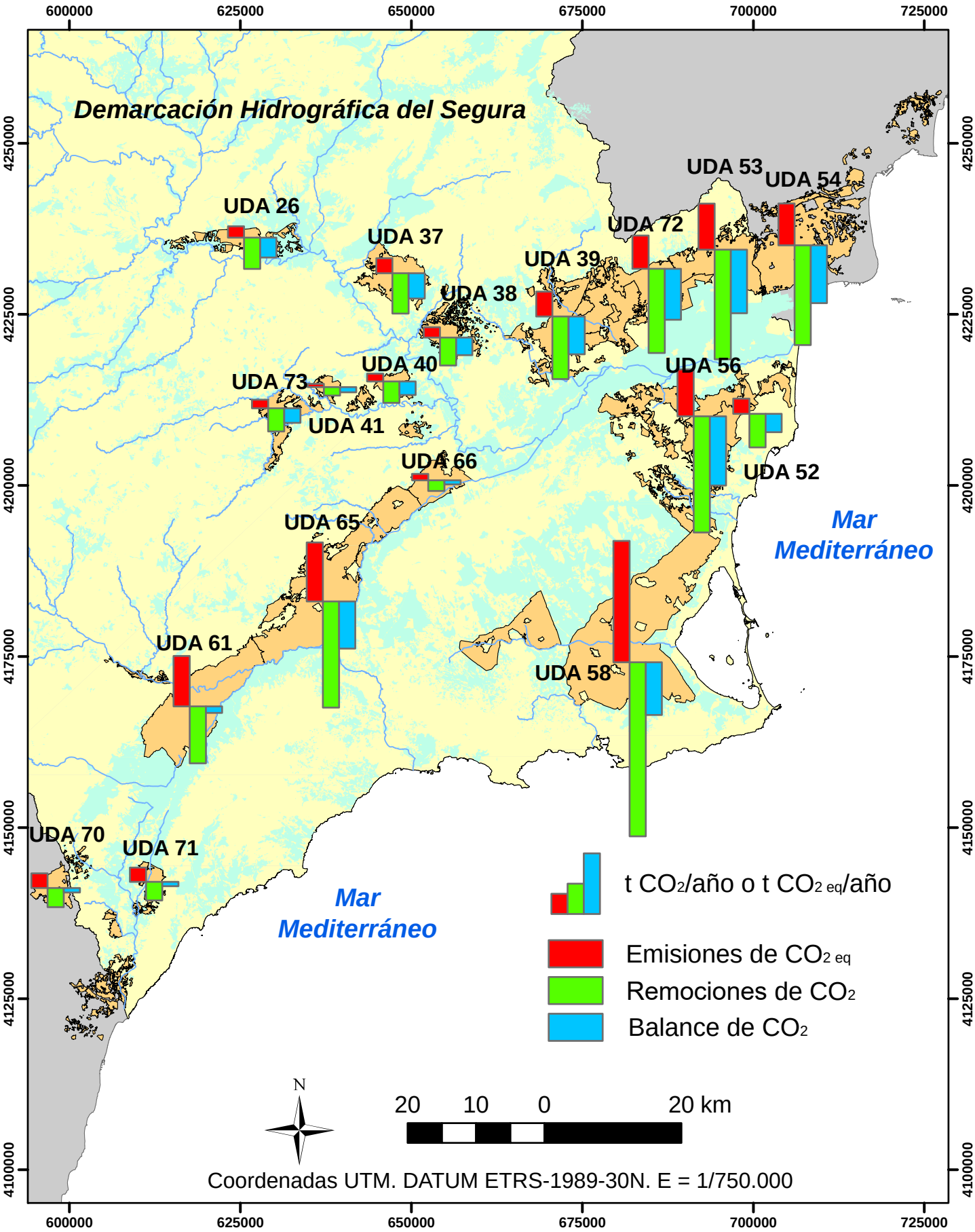
- Emisiones de GEI: 1.118.748 t $CO_{2\ eq}$/año.
- Remoción de CO_2: -2.199.828 t CO_2/año.
- Balance de carbono: -1.081.080 t CO_2/año.

Por tratarse de una estimación para un escenario representativo de la situación actual, en este caso sólo se proporcionan valores globales para una superficie de 98.923,6 ha, que es la superficie neta de regadío reconocida en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura en la actualidad (periodo de planificación 2015/2021)

La Tabla 17 recoge los valores por hectárea (tasa) de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada una de las UDAs en el Escenario Actual. El valor del balance de carbono por hectárea para cada UDA se representa gráficamente en el Mapa 5. El valor medio del balance de carbono por hectárea para el conjunto de las Zonas Regables asociadas al TTS es de -10,93 t CO_2/ha-año.

Tabla 16. Valores anuales de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada una de las UDAs en el Escenario Actual.

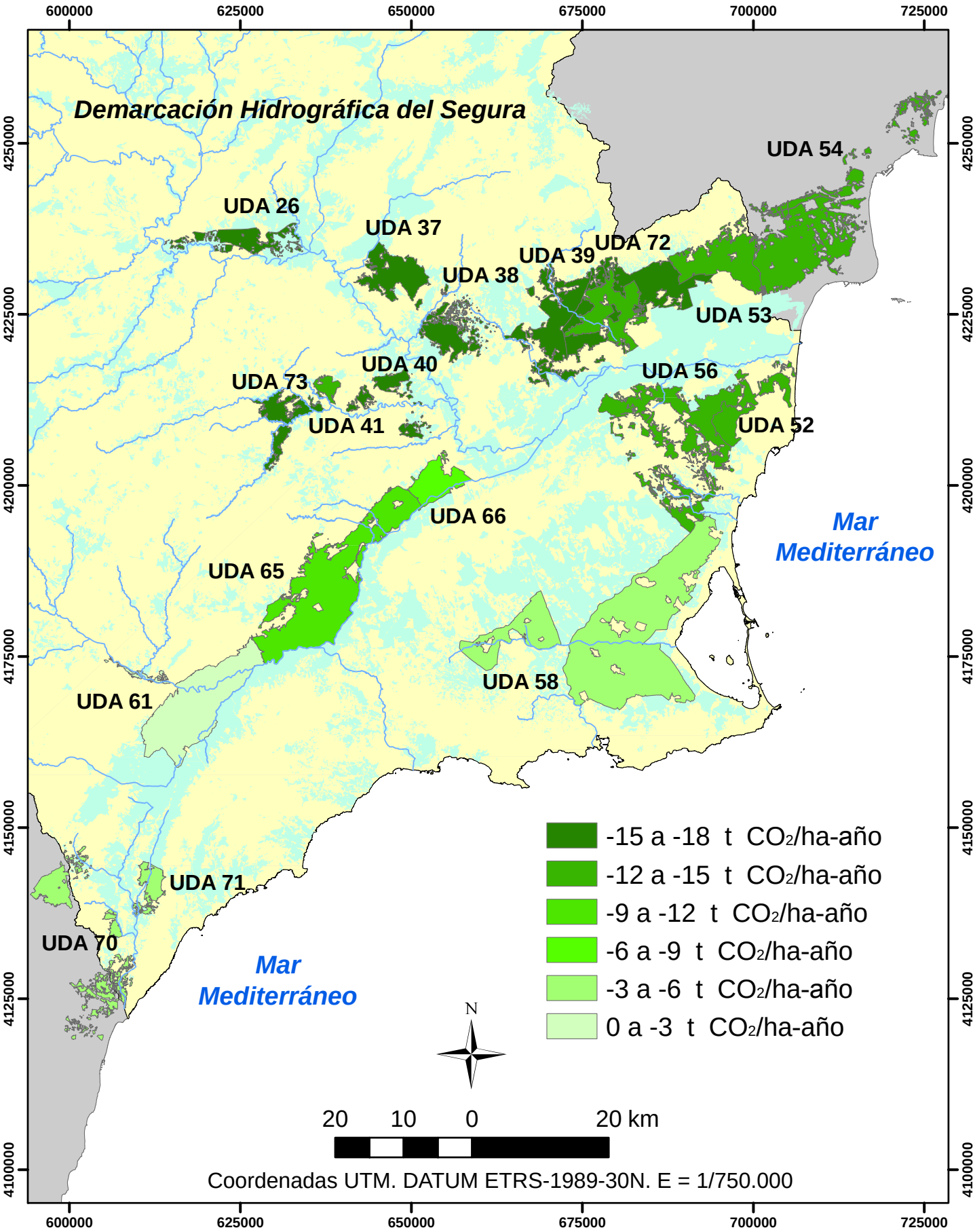
UDA	Emisiones GEI ($t\ CO_{2\ eq}$/año)	Remoción CO_2 ($t\ CO_2$/año)	Balance carbono ($t\ CO_2$/año)
UDA 26	23.978	-65.788	-41.811
UDA 37	31.682	-85.042	-53.360
UDA 38	21.782	-58.726	-36.944
UDA 39	52.379	-131.981	-79.603
UDA 40	16.474	-45.002	-28.529
UDA 41	7.020	-17.854	-10.833
UDA 52	32.024	-70.827	-38.802
UDA 53	97.187	-230.992	-133.805
UDA 54	88.365	-210.025	-121.660
UDA 56	98.930	-244.805	-145.875
UDA 58	255.689	-366.921	-111.232
UDA 61	106.253	-119.996	-13.743
UDA 65	124.404	-223.787	-99.382
UDA 66	13.607	-22.359	-8.752
UDA 70	30.872	-40.236	-9.364
UDA 71	29.991	-39.087	-9.096
UDA 72	70.069	-177.481	-107.412
UDA 73	18.042	-48.919	-30.877
Total	**1.118.748**	**-2.199.828**	**-1.081.080**



Mapa 4. Balance de carbono en Escenario Actual.

Tabla 17. Valores por hectárea de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada una de las UDAs en el Escenario Concesional.

UDA	Emisiones GEI ($t\ CO_{2\ eq}$/ha-año)	Remoción CO_2 ($t\ CO_2$/ha-año)	Balance carbono ($t\ CO_2$/ha-año)
UDA 26	8,68	-23,80	-15,13
UDA 37	9,08	-24,38	-15,30
UDA 38	9,00	-24,28	-15,27
UDA 39	9,98	-25,15	-15,17
UDA 40	9,02	-24,63	-15,62
UDA 41	9,20	-23,40	-14,20
UDA 52	10,79	-23,86	-13,07
UDA 53	10,23	-24,31	-14,08
UDA 54	10,23	-24,31	-14,08
UDA 56	10,15	-25,11	-14,96
UDA 58	13,28	-19,05	-5,78
UDA 61	14,52	-16,40	-1,88
UDA 65	11,98	-21,56	-9,57
UDA 66	12,49	-20,53	-8,04
UDA 70	13,80	-17,99	-4,19
UDA 71	13,80	-17,99	-4,19
UDA 72	9,87	-24,99	-15,12
UDA 73	9,03	-24,48	-15,45



Mapa 5. Balance medio de CO_2 por hectárea y año en las UDAs asociadas a las Zonas Regables del Trasvase Tajo-Segura en Escenario Actual.

3.4. Resultados del Escenario de Sustitución del TTS por desalación

La Tabla 18 recoge los valores de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada una de las UDAs en el Escenario de Sustitución del TTS por desalación, que también se representan gráficamente en el Mapa 6. Los resultados globales para el conjunto de las Zonas Regables asociadas al TTS, asumiendo una superficie de 98.923,6 ha, que es la superficie neta de regadío considerada en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 para las UDAs vinculadas al trasvase (CHS, 2015), son los siguientes:

- Emisiones de GEI: 1.492.552 t $CO_{2\ eq}$/año.
- Remoción de CO_2: -2.199.828 t CO_2/año.
- Balance de carbono: -707.276 t CO_2/año.

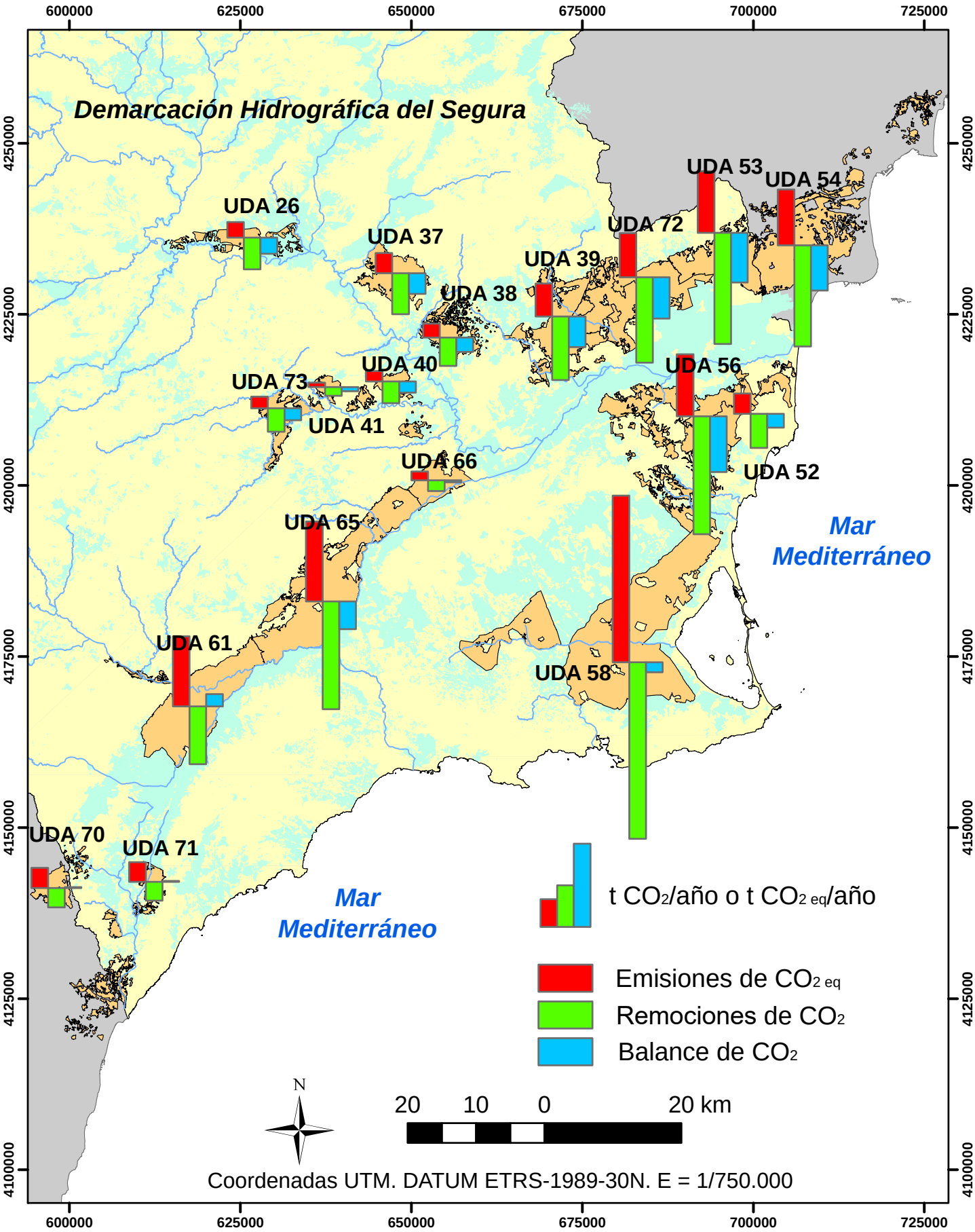
Teniendo en cuenta que la superficie nominal según concesiones de las Zonas Regables del trasvase es bastante superior a la superficie neta de regadío considerada en el Plan (133.356 ha, Soto-García et al., 2014), los valores de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono que se podrían llegar a alcanzar al poder contar con un volumen de desalación equivalente al 100% de la dotación del trasvase serían los siguientes:

- Emisiones de GEI: 2.012.066 t $CO_{2\ eq}$/año.
- Remoción de CO_2: -2.965.523 t CO_2/año.
- Balance de carbono: -953.457 t CO_2/año.

La Tabla 19 recoge los valores por hectárea (tasa) de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada una de las UDAs. El valor del balance de carbono por hectárea para cada UDA se representa gráficamente en el Mapa 7. El valor medio del balance de carbono por hectárea para el conjunto de las Zonas Regables asociadas al TTS es de -7,15 t CO_2/ha-año.

Tabla 18. Valores anuales de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada una de las UDAs en el Escenario de Sustitución del TTS por desalación.

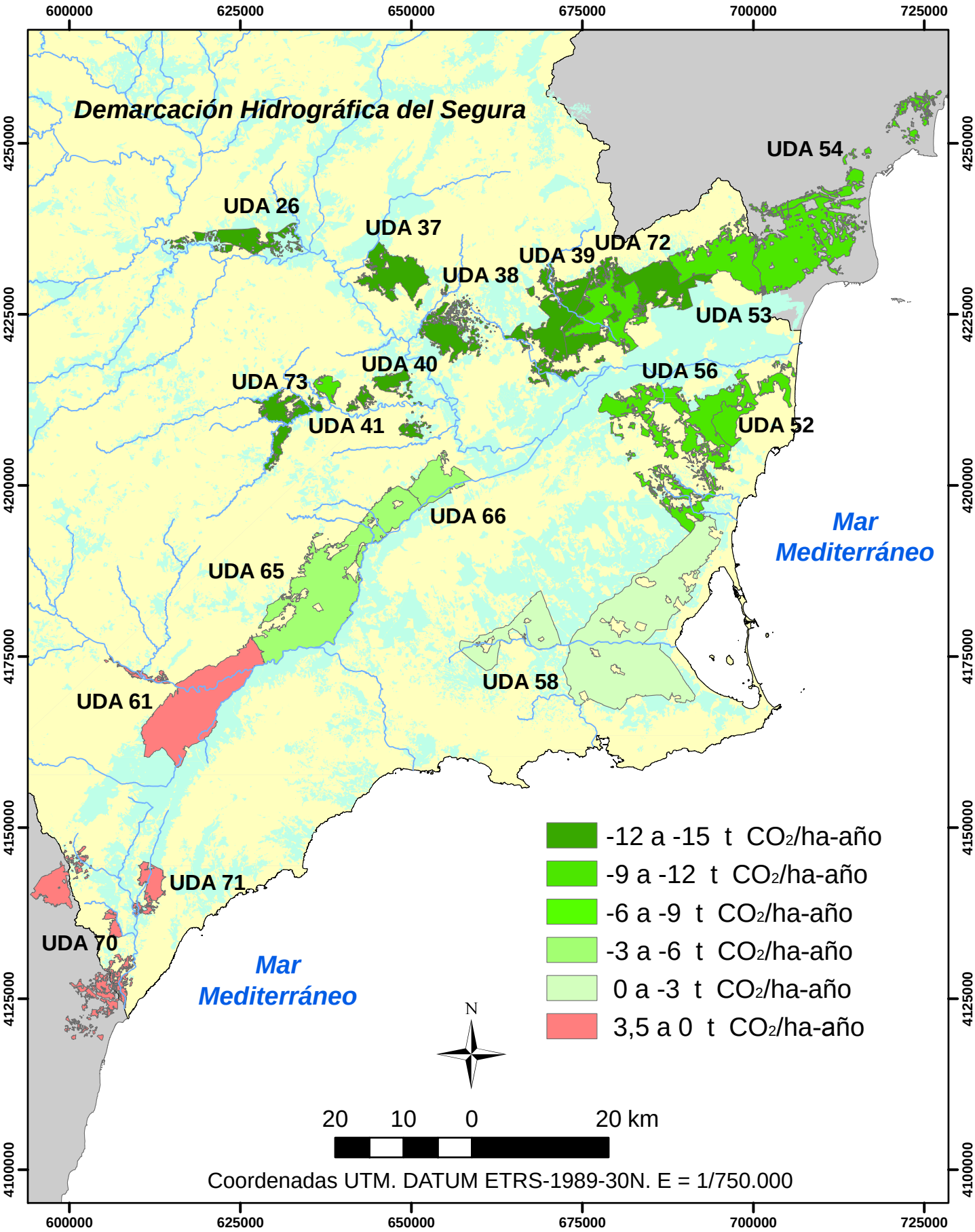
UDA	Emisiones GEI ($t\ CO_{2\ eq}$/año)	Remoción CO_2 ($t\ CO_2$/año)	Balance carbono ($t\ CO_2$/año)
UDA 26	32.238	-65.788	-33.550
UDA 37	42.072	-85.042	-42.970
UDA 38	28.990	-58.726	-29.736
UDA 39	68.328	-131.981	-63.653
UDA 40	21.818	-45.002	-23.184
UDA 41	9.432	-17.854	-8.422
UDA 52	42.149	-70.827	-28.678
UDA 53	127.817	-230.992	-103.175
UDA 54	116.215	-210.025	-93.810
UDA 56	128.956	-244.805	-115.848
UDA 58	346.072	-366.921	-20.849
UDA 61	145.583	-119.996	25.588
UDA 65	166.204	-223.787	-57.583
UDA 66	18.285	-22.359	-4.075
UDA 70	41.993	-40.236	1.757
UDA 71	40.794	-39.087	1.707
UDA 72	91.668	-177.481	-85.814
UDA 73	23.939	-48.919	-24.979
Total	**1.492.552**	**-2.199.828**	**-707.276**



Mapa 6. Balance de carbono en Escenario de Sustitución del ATS por desalación

Tabla 19. Valores por hectárea de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para cada una de las UDAs en el Escenario de Sustitución del TTS por desalación.

UDA	Emisiones GEI ($t\ CO_{2\ eq}$/ha-año)	Remoción CO_2 ($t\ CO_2$/ha-año)	Balance carbono ($t\ CO_2$/ha-año)
UDA 26	11,66	-23,80	-12,14
UDA 37	12,06	-24,38	-12,32
UDA 38	11,98	-24,28	-12,29
UDA 39	13,02	-25,15	-12,13
UDA 40	11,94	-24,63	-12,69
UDA 41	12,36	-23,40	-11,04
UDA 52	14,20	-23,86	-9,66
UDA 53	13,45	-24,31	-10,86
UDA 54	13,45	-24,31	-10,86
UDA 56	13,23	-25,11	-11,88
UDA 58	17,97	-19,05	-1,08
UDA 61	19,89	-16,40	3,50
UDA 65	16,01	-21,56	-5,55
UDA 66	16,79	-20,53	-3,74
UDA 70	18,77	-17,99	0,79
UDA 71	18,77	-17,99	0,79
UDA 72	12,91	-24,99	-12,08
UDA 73	11,98	-24,48	-12,50



Mapa 7. Balance medio de CO_2 por hectárea y año en las UDAs asociadas a las Zonas Regables del Trasvase Tajo-Segura en Escenario de Sustitución de ATS por desalación.

4. Síntesis y Conclusiones

Los resultados por cultivos muestran que, en promedio, las emisiones de GEI de los cultivos leñosos ("cítricos" y "frutales no cítricos") son ligeramente superiores a las de los cultivos hortícolas, sin tener en cuenta la alcachofa, que, por sus especiales condiciones, prácticamente duplica el valor medio de emisiones de GEI del resto de hortícolas. Respeto a la remoción de CO_2 por los cultivos, esta es aproximadamente el doble en los cultivos leñosos que en los cultivos hortícolas, como consecuencia de una mayor masa foliar y mayor permanencia en el terreno. Entre los hortícolas destaca la capacidad de remoción de CO_2 de la alcachofa, un 40% mayor que para el brócoli, lechuga o melón. Finalmente, el balance de carbono, que es el resultado de la diferencia entre emisiones de GEI y remoción de CO_2 de cada cultivo, es menos favorable para el medio ambiente a medida que se intensifica la energía específica (kWh/m^3) del suministro de agua de riego (Escenario Concesional → Escenario Actual → Escenario de Sustitución del TTS por desalación). Así pues, en el Escenario Concesional, donde el riego es el responsable del 36% de las emisiones de GEI, todos los cultivos son sumideros de CO_2, siendo los cultivos leñosos nueve veces más eficientes que los cultivos hortícolas. Sin embargo, en el Escenario Actual, donde el riego es el responsable del 43% de las emisiones de GEI, el balance de carbono resultante se ve perjudicado en todos los cultivos. En el caso de la alcachofa, en el Escenario Actual pasa de actuar como sumidero a fuente de CO_2, es decir, emite más CO_2 a la atmosfera que captura durante su cultivo. Finalmente, en Escenario de Sustitución de TTS por desalación el riego es el responsable del 57% de las emisiones de GEI. En este escenario todos los cultivos hortícolas y el mandarino serían fuente de CO_2; y solo el limonero, naranjo, albaricoquero y melocotonero actuarán como fijadores netos de carbono.

Los resultados por grupos de cultivos (Fig. 4) ponen de manifiesto que los cultivos leñosos ("cítricos" y "frutales no cítricos") presentan un balance de carbono por hectárea mucho más favorable que los cultivos "hortícolas al aire libre". Las emisiones de GEI de los "hortícolas al aire libre" son superiores a la de los grupos de cultivos leñosos, ("cítricos" y "frutales no cítricos"), mientras que su remoción de CO_2 es sensiblemente inferior, resultando en balances de carbono menos favorables. Respecto a los escenarios, conforme se intensifica la energía específica (kWh/m^3) del suministro de agua de riego (Escenario Concesional → Escenario Actual → Escenario de Sustitución del TTS por desalación) las emisiones de GEI se incrementan, haciendo

menos favorable el balance de carbono de cada grupo de cultivos, ya que la remoción de CO_2 es independiente del origen del agua de riego. Cabe destacar que en el caso del grupo de cultivos más desfavorable ("hortícolas al aire libre") el balance para el Escenario de Sustitución del TTS por desalación llega a producir valores positivos, lo que implica un flujo global de carbono de la actividad a la atmósfera de 4,52 t CO_2/ha-año.

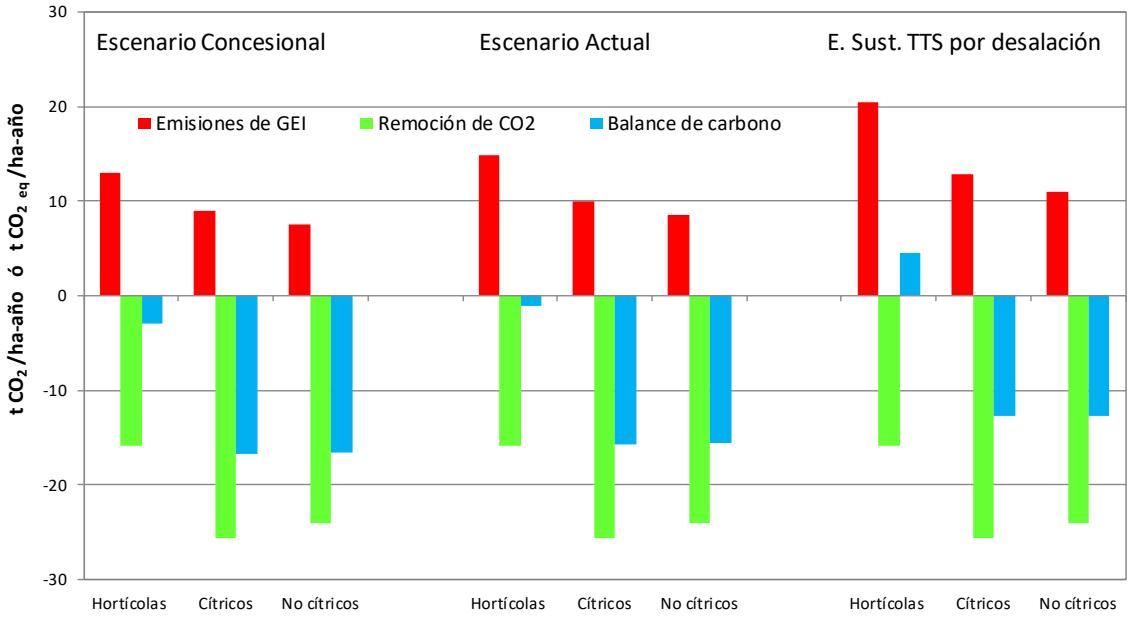


Figura 4. Resultados de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono por grupos de cultivo y escenarios.

Los resultados globales de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para la superficie neta de regadío asociada al trasvase Tajo-Segura en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21 (98.923,6 ha) se muestran en la Fig. 5. Se ponen de manifiesto que los regadíos del trasvase Tajo-Segura representan un importante sumidero de carbono en cualquiera de los escenarios, disminuyendo su capacidad como sumidero de carbono desde -1.208.084 hasta -707.276 t CO_2/año conforme se intensifica la energía específica (kWh/m^3) del suministro de agua de riego (Escenario Concesional → Escenario Actual → Escenario de Sustitución del TTS por desalación). La remoción de CO_2 no varía entre escenarios, siendo su valor de -2.199.828 t CO_2/año.

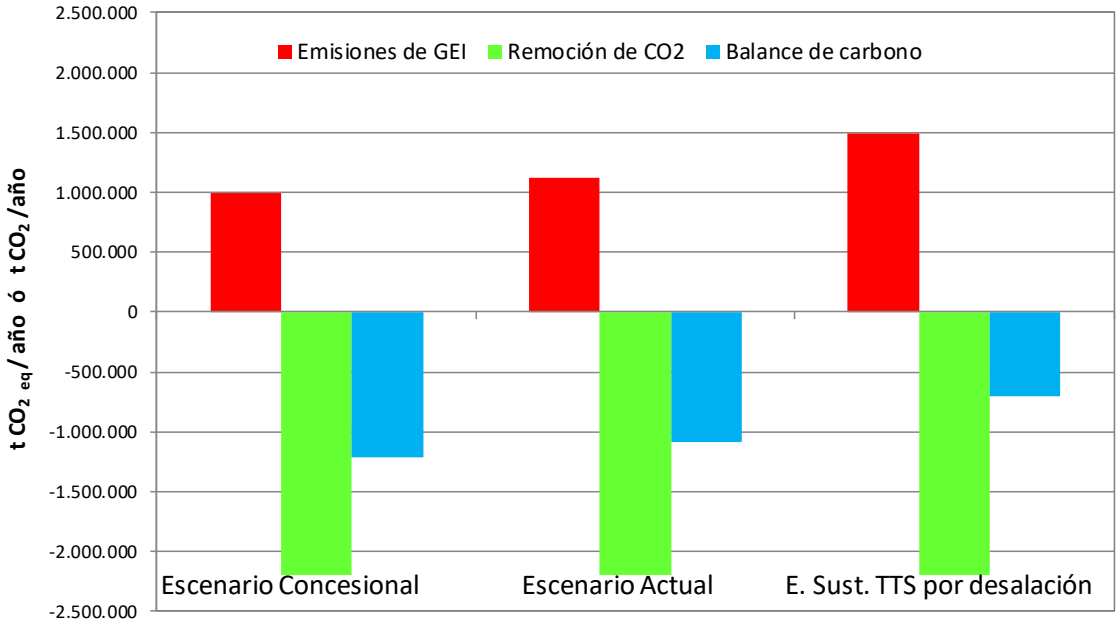


Figura 5. Resultados de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para la superficie neta de regadío asociada al trasvase Tajo-Segura en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21(98.923,6 ha), por escenarios.

Sin embargo, el rol como sumidero de los regadíos de trasvase Tajo-Segura podría ser superior si se suministrase el 100% de las concesiones de las Zonas Regables del trasvase, lo que debería permitir regar la superficie nominal según concesiones de las Zonas Regables del trasvase (133.356 ha, Soto-García et al., 2014). La Fig. 6 recoge los resultados globales de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para este caso en el Escenario Concesional y el Escenario de Sustitución del TTS por desalación, que implican la misma cantidad de suministro de agua. Se observa como la capacidad como sumidero de carbono de los regadíos de trasvase Tajo-Segura alcanzaría los -1.628.582 t CO_2/año para el Escenario Concesional, disminuyendo en 675.152 t CO_2/año en el caso de que se sustituyese el suministro de 400 hm^3/año del TTS por agua marina desalinizada (Escenario de Sustitución del TTS por desalación). Para este caso hipotético, la remoción de CO_2 alcanzaría -2.965.523 t CO_2/año en ambos escenarios.

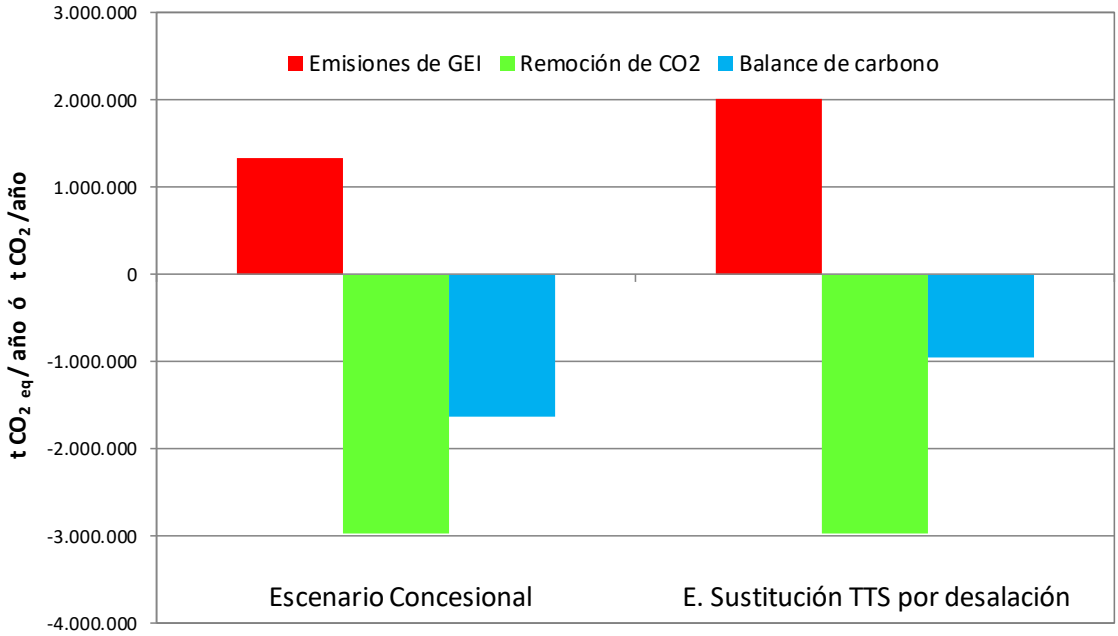


Figura 6. Resultados de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para la superficie la superficie nominal según concesiones de las Zonas Regables del trasvase (133.356 ha), por escenarios.

Finalmente, la Fig.7 muestra para cada escenario los valores medios por hectárea de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para los regadíos asociados al TTS. Se observa que la tasa de emisiones de GEI aumenta conforme aumenta la energía específica del suministro hídrico (Escenario Concesional → Escenario Actual → Escenario de Sustitución del TTS por desalación), mientras que la tasa de remoción de CO_2 se mantiene constante en -22,24 t CO_2/ha-año. Como resultado el balance se va haciendo menos favorable, pasando de -12,21 t CO_2/ha-año en el Escenario Concesional a -7,14 t CO_2/ha-año en el Escenario de Sustitución del TTS por desalación. Cabe destacar que el análisis de esta misma información por UDAs pone de manifiesto como aquellas en las que hay un mayor predominio de los cultivos hortícolas al aire libre (UDA 61, UDA70 y UDA 71) llegan a perder su condición de sumidero de carbono en el Escenario de Sustitución del TTS por desalación.

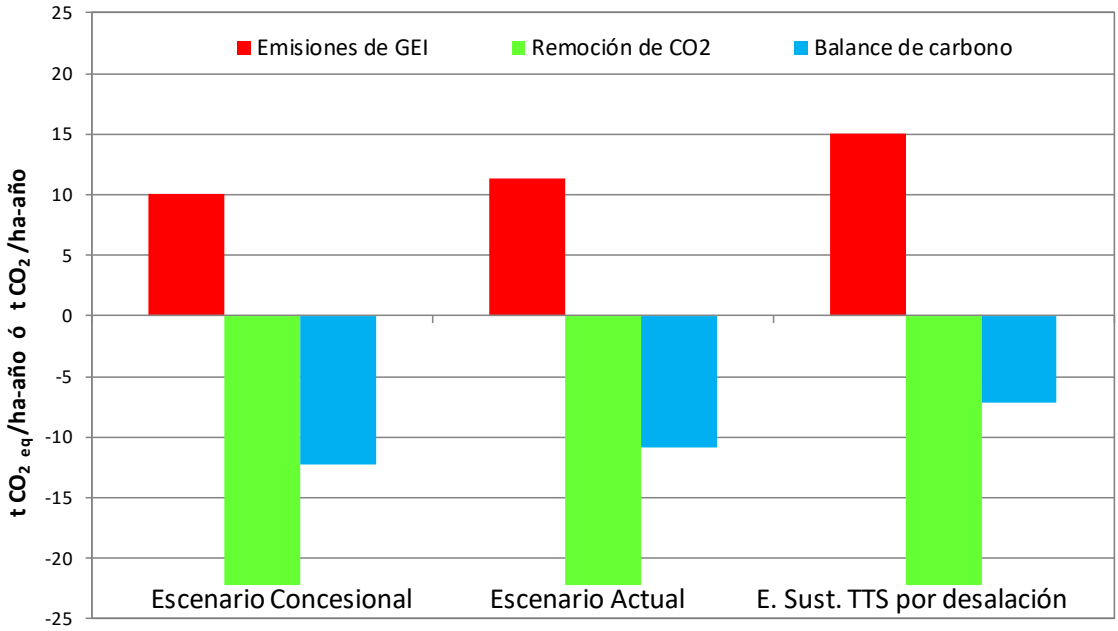


Figura 7. Valores medios por hectárea de emisiones de GEI, remoción de CO_2 y balance de carbono para los regadíos asociada al trasvase Tajo-Segura, por escenarios.

Referencias

Audsley, E., Alber, S., Clift, R., Cowell, S., Crettaz, P., Gaillard, G., … Van Zeijts, H., 1997. Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture. Final Report. Concerted Action AIR3-CT94-2028. European Commission. DG VI Agriculture.

CARM, Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, 2018. Estadística Agraria Regional. https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=1174&IDTIPO=100&RASTRO=c1415$m

CEC (Commission of the European Communities). Directions towards sustainable agriculture. 1999. Commission of the European Communities, Bruselas, Países Bajos.

CHS (Confederación Hidrográfica del Segura), 2015. Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura https://www.chsegura.es/chs/planificacionydma/planificacion15-21/.

CHS (Confederación Hidrográfica del Segura), 2019 https://www.chsegura.es/chs/cuenca/resumendedatosbasicos/recursoshidricos/transferencias.html

CREM (Centro Regional de Estadística de Murcia), 2019. http://econet.carm.es/inicio/-/crem/sicrem/PU_datosBasicos/sec49.html

Ecoinvent, 2018. Ecoinvent Data. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. http://www.ecoinvent.org

Hospido, A., Núñez, M., Antón, A., 2013. Irrigation mix: how to include water sources when assessing freshwater consumption impacts associated to crops. Int. J. Life Cycle Assess. 18, 881–890.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. In: HAS, Eggleston, Biennia, L., Miwa, K., Negara, T., Tanabe, K. (Eds.), Prepared by National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan: Eggleston Published.

ISO, International Organization for Standardization, 14040, 2006. Environmental management - Life cycle assessment – Principles and framework. ISO, Geneva.

ISO, International Organization for Standardization, 14044, 2006. Environmental management - Life cycle assessment – Requirements and Guidelines. ISO, Geneva.

ISO, International Organization for Standardization, 14067, 2013. Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication. ISO, Geneva.

MAGRAMA, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2014. Resultados técnico-económicos de Frutales 2014, Subdirección General de Análisis, Prospectiva y Coordinación, Subsecretaría. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

MAGRAMA, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015. Resultados técnico-económicos de Cultivos Hortícolas 2015, Subdirección General de Análisis, Prospectiva y Coordinación, Subsecretaría.

MAPA, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 2018. Informe Anual de Indicadores 2017: Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 211 pp.

MARM, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos, Subdirección General de Medios de Producción. Madrid.

Márquez, L., 2004. Maquinaria agrícola. B&H editores S.L. Madrid.

Martínez-Alvarez, V., González-Real, M.M., Baille, A., Maestre Valero, J.F., Gallego Elvira B., 2008. Regional assessment of evaporation from agricultural irrigation reservoirs in a semiarid climate. Agric. Water Manage. 95(9), 1056–1066.

Martínez-Alvarez, V., Maestre-Valero, J.F., González-Ortega, M.J., Gallego Elvira, B, Martin-Gorriz, B., 2019. Characterization of the agricultural supply of desalinated seawater in Southeastern Spain. Water 2019, 11, 1233; doi:10.3390/w11061233.

Melgarejo, J., Montaño, B., 2009. La eficiencia energética del trasvase Tajo-Segura. Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible, 3, 173-193.

SIAM, Sistema de información agraria de Murcia, 2019. http://www.siam.imida.es

Soto-García, M., Martin-Gorriz, B., García-Bastida, P.A., Alcon, F., Martínez-Alvarez, V., 2013. Energy consumption for crop irrigation in a semiarid climate (south-eastern Spain). Energy, 55, 1084-1093.

Soto-García, M., Martínez-Alvarez, V., Martín-Górriz, B., 2014. El regadío en la Región de Murcia. Caracterización y análisis mediante indicadores de gestión. Murcia, 267 pp.

UN-DSD (United Nations Division for Sustainable Development). 2000. Agenda 21. Chapter 14: Promoting sustainable agriculture and rural development. United Nations (UN), Nueva York, Estados Unidos.

Victoria, F. 2010. Etiquetado de carbono en las explotaciones y productos agrícolas. La iniciativa murciana como sumidero de CO_2. CARM, Murcia, pp. 39–62. http://www.lessco2.es/documentacion.htm.

Universidad
Politécnica
de Cartagena

TRASVASE Y SOSTENIBILIDAD

José Manuel Claver Valderas