

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL**



**SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LA INFRAESTRUCTURA VERDE:
CUANTIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA DEL
ALMACENAMIENTO DE CARBONO Y FLUJOS DE AGUA EN UN
PROYECTO PILOTO EN BENICALAP (VALENCIA)**

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado Ingeniería Forestal y del Medio Natural

Alumno: Jorge Palmero Barrachina

Tutor: Antonio Luis Lidón Cerezuela

Co-tutores: Dionisio Ortiz Miranda y David Alfonso Solar

Curso académico: 2018/2019

Valencia – Julio de 2019

**Licencia Creative Commons “Reconocimiento no Comercial – Sin
Obra Derivada”**



Título del TFG: Servicios ecosistémicos de la infraestructura verde: cuantificación y estimación económica del almacenamiento de carbono y flujos de agua en un proyecto piloto en Benicalap (Valencia)

Resumen del TFG: Cada vez son más las ciudades que presentan problemas relacionados con la meteorología, como inundaciones o estrés por calor, con proyecciones que indican que estos problemas aumentarán debido a su continuo desarrollo y al aumento de episodios extremos en los últimos años. Una alternativa sostenible para hacer frente a este tipo de problemática son las llamadas soluciones basadas en la naturaleza, que tratan de incorporar la naturaleza en el entorno urbano con el fin de proporcionar una serie de servicios ecosistémicos como la mejora de calidad del aire, bienestar y salud de las personas, la fijación de carbono por la vegetación, la disminución de la escorrentía superficial y otros servicios paisajísticos, creando así, una red interconectada de zonas naturales, seminaturales y de otros elementos ambientales que reciben el nombre de infraestructuras verdes. El diseño y la gestión de este tipo de infraestructuras influye considerablemente en la provisión de los servicios ecosistémicos, siendo necesaria su cuantificación y valoración.

En Valencia, más concretamente en el parque de Benicalap, se pretende crear una nueva infraestructura verde que ayude a solventar los problemas ocasionados por las inundaciones y el estrés por calor. En este documento se realiza una aproximación de la cantidad de carbono acumulado y secuestrado por los árboles, así como la regulación de los flujos de agua, con el fin de cuantificar la adicionalidad producida por el proyecto piloto sobre la situación actual. También se valora económicamente no con el objeto de obtener un precio de mercado sino un valor social.

El almacenamiento de carbono y la regulación de los flujos de agua se calcula con I-tree Eco v6, que estima los crecimientos de las especies vegetales a lo largo de un periodo de treinta años en dos escenarios: uno con las condiciones climáticas representativas de las medias de los últimos años y otro para unas condiciones secas. Mediante un balance de agua se estima la escorrentía, el drenaje y el agua retenida en el suelo. Una vez cuantificados los servicios proporcionados por la parcela actual y la futura infraestructura verde, se determina la adicionalidad producida por la intervención. Por último, para realizar una aproximación de los beneficios económicos prestados por el proyecto piloto, se le asigna un valor a cada servicio y se estudia su evolución en el tiempo a través del cálculo de índices generales de precios en el mercado de las emisiones de carbono, el tratamiento de aguas residuales y del agua de riego.

Si se compara la situación actual con la intervención se pueden llegar a asimilar más de 70 toneladas de dióxido de carbono de la atmósfera, evitar más de 7.000 m³ de escorrentía y aumentar el drenaje acumulado en más de 40.000 m³ a lo largo del periodo de treinta años estudiados. Alcanzando así un valor de hasta 180.000 €. Sin embargo, estos valores pueden llegar a disminuir considerablemente en función de cómo sea diseñado, gestionado y ejecutado dicho proyecto.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos, cuantificación física, carbono acumulado, regulación de los flujos de agua, I-tree Eco, balance de agua, infraestructura verde, estimación económica, Benicalap.

Autor del TFG: Alumno D. Jorge Palmero Barrachina

Localidad y fecha: Valencia, 8 de julio de 2019

Tutor académico: Prof. D. Antonio Luis Lidón Cerezuela

Co-tutores: Prof. D. Dionisio Ortiz Miranda y Prof. D. David Alfonso Solar

Licencia: Creative Commons “Reconocimiento no Comercial – Sin Obra Derivada”



Summary of the TFG: Meteorological problems such as flooding, or heat stress are increasingly growing due to the continuous development of cities and rising of problems related to pollution. A sustainable alternative to address this problem is to implement nature-based solutions, which respond to nature in the urban environment to provide ecosystem services such as improving air quality, well-being and health of people, carbon storage, runoff avoided through the efficient use of water and other landscape services, thus creating green infrastructures as an interconnected network of natural, semi-natural areas and other elements.

In Valencia, more specifically in the park of Benicalap, it is necessary to create a new green infrastructure to cushion these problems caused by floods and heat stress. This future green infrastructure will be studied in this report, making an approximation of the amount of carbon stored and water flows regulation, in order to quantify the additionality produced by the pilot project on the current situation. In addition, it will be valued economically, considering that the purpose of this valuation will not be to obtain a market price but a social value.

I-tree Eco v6 software can be used to quantify the storage carbon and the water flows regulation estimating the growth of the implanted trees for a period of thirty years in two stages: one with representative weather conditions and another one with dry weather conditions. Carbon storage and intercepted precipitation will be analysed with I-tree Eco model using the dry biomass weight and leaf area indexes respectively. A water balance implemented in a spreadsheet is also used to obtain runoff, drainage and water retained in the soil. Once the services provided by the current plot and the future green infrastructure have been quantified, the additionality produced by this intervention will be determined, thus obtaining the amount of avoided runoff and drainage produced by the intervention of the project. Finally, considering the economic value of each service and its evolution over time through the calculation of general market indexes of carbon emissions, the treatment of wastewater and irrigation water, to find an economic approximation provided by this future green infrastructure in Benicalap.

Comparing the current and future situation, depending on the type of intervention that is carried out, more than 70 tons of carbon dioxide can be assimilated from the atmosphere, avoiding more than 7,000 cubic meters of runoff and increasing the accumulated drainage more of 40,000 m³ over the period of thirty years studied. Thus, obtaining approximately an economic value of 180.000 €. However, these values may decrease considerably depending on how the project is designed, managed and executed.

Keywords: Ecosystem services, physical quantification, carbon storage, water regulation, water flows, I-tree, water balance, green infrastructure, economic estimation, Benicalap.

Agradecimientos

A todas aquellas personas que me han apoyado en la realización de este trabajo, especialmente a Antonio, que tras estos meses de trabajo se ha ofrecido siempre a ayudarme y a animarme con su enorme paciencia y dedicación. También agradecer a todos los profesores que me han ofrecido su ayuda sin pedir nada a cambio y a los miembros de GrowGreen que me han facilitado toda la información posible en todo momento.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. LOCALIZACIÓN	2
2. METODOLOGÍA	4
2.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PARCELA	4
2.2. POSIBLES ACTUACIONES DEL PROYECTO PILOTO	5
2.2.1. Hipótesis 1 (H1): no intervención	6
2.2.2. Hipótesis 2 (H2): con intervención donde los olmos permanecen	6
2.2.3. Hipótesis 3 (H3): con intervención donde los olmos actuales son eliminados	7
2.3. ESCENARIOS ESTUDIADOS	7
2.4. CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO Y SECUESTRADO	8
2.5. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL CARBONO	11
2.6. CUANTIFICACIÓN DE LA ESCORRENTÍA Y EL DRENAJE PARA LA REGULACIÓN DE LOS FLUJOS DEL AGUA	12
2.6.1. Interceptación de lluvias por la vegetación	13
2.6.2. Balance de agua en el suelo	15
2.6.3. Aclaraciones	21
2.7. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL DRENAJE PRODUCIDO Y LA ESCORRENTÍA EVITADA	22
2.8. OTRAS CUANTIFICACIONES REALIZADAS	23
2.8.1. Producción de oxígeno	23
2.8.2. Eliminación de la contaminación atmosférica	23
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
3.1. CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO Y SECUESTRADO	24
3.2. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL CARBONO	27
3.3. CUANTIFICACIÓN DE LA ESCORRENTÍA Y EL DRENAJE PARA LA REGULACIÓN DE LOS FLUJOS DEL AGUA	27
3.4. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL DRENAJE PRODUCIDO Y LA ESCORRENTÍA EVITADA	32
3.5. OTRAS CUANTIFICACIONES	33
3.5.1. Producción de oxígeno	33
3.5.2. Eliminación de la contaminación atmosférica	33
3.6. RESUMEN DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS	34
4. CONCLUSIONES	35
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Localización del proyecto piloto GrowGreen. Coordenadas: 39°29'57.0"N, 0°23'48.7"W. Fuente: elaboración propia a partir del Insitut Cartogràfic Valencià.</i>	<i>3</i>
<i>Figura 2: Olmos (Ulmus pumila) de la zona de estudio.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 3: Composición de las especies de árboles (izquierda) y de matorrales (derecha) que forman la parcela tipo de la hipótesis 2. El código de las especies viene definido por las dos primeras letras del género y las dos primeras de la especie.</i>	<i>6</i>
<i>Figura 4: Esquema de cálculo del proceso de interceptación de lluvias por la vegetación, donde P es la precipitación, Pc es la precipitación sobre la copa del árbol, Pt es la lluvia que pasa a través de la copa, Sv es la capacidad de retención, Dt es el goteo de agua inicialmente retenida sobre la superficie de las copas y Ev la evaporación del agua almacenada en la superficie de las hojas. Fuente: modificado del modelo descrito por Hirabayashi (2013).....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 5: Carbono acumulado si las condiciones climáticas similares a las medias (escenario 1), donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 6: Carbono acumulado si las condiciones climáticas secas (escenario 2), donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 7: Carbono neto secuestrado si las condiciones climáticas son similares a las medias (escenario 1), donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 8: Carbono neto secuestrado si las condiciones climáticas secas (escenario 2), donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 9: Relación entre las láminas de agua simuladas con el modelo de balance de agua y las láminas medidas en el parque de Benicalap.....</i>	<i>29</i>

Figura 10: Drenaje producido por en el escenario 1 (izquierda) y a la derecha en el escenario 2 (derecha), donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes y H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela estudiada.....31

Figura 11: Escorrentía producida por en el escenario 1 (izquierda) y a la derecha en el escenario 2 (derecha), donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes y H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela estudiada.....31

Figura 12: Eliminación de gases contaminantes en un período de 30 años para unas condiciones climáticas secas, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes y H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela.....33

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Especies vegetales que se pretenden introducir en la parcela objeto de estudio con el proyecto piloto. Fuente: elaboración propia a través de los datos proporcionados por los arquitectos del proyecto GrowGreen.</i>	<i>5</i>
<i>Tabla 2: Datos meteorológicos de los distintos escenarios estudiados. TM es la temperatura media, Tm es la media de las mínimas, TMM es la media de las máximas y Pp es la precipitación media positiva. Fuente: elaboración propia mediante datos descargados del programa informático I-tree Eco.</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 3: Coeficientes de cultivo para árboles y matorrales de jardín en los diferentes meses del año. H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos en su origen, y H3 es intervención eliminando los olmos. Fuente: elaboración propia a partir de los coeficientes utilizados en Domene y Saurí (2003).</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 4: Coeficientes de densidad para cada hipótesis y año del estudio. H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos en su origen, y H3 es intervención eliminando los olmos. Fuente: elaboración propia a partir de los coeficientes utilizados en Domene y Saurí (2003).</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 5: Estimación del valor de productividad del agua de riego Fuente: Elaboración propia a partir de: *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ** Plan Hidrológico del Júcar.</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 6: Ganancias netas de toneladas de carbono a lo largo de los 30 años, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 7: Ganancias netas de CO2 (t) producidas por cada hipótesis en el periodo de 30 años, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 8: Adicionalidad producida en toneladas de CO2 debido a la intervención en un periodo de 30 años, donde H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.</i>	<i>27</i>

<i>Tabla 9: Incremento en el valor actualizado neto (€) producido por las hipótesis de intervención en la parcela estudiada, donde H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 10: Propiedades fisicoquímicas y características hidráulicas del suelo de la parcela GrowGreen, donde Prof. Es la profundidad de la muestra, M.O. es la materia orgánica, C.E. es la conductividad eléctrica, D.A. es la densidad aparente y Prom. es el promedio.</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 11: Propiedades fisicoquímicas y características hidráulicas del suelo bajo arbolado en el parque de Benicalap, donde Prof. Es la profundidad de la muestra, M.O. es la materia orgánica, C.E. es la conductividad eléctrica, D.A. es la densidad aparente y Prom. es el promedio. Fuente: elaboración a partir de Campo (2018).</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 12: Balance de agua para un suelo desnudo en la parcela GrowGreen., donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos. R=riego; Pp=precipitación; S=escorrentía; D=drenaje; E=evaporación; Lf= lámina al final del período; Li= lámina al inicio del período.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 13: balance de agua para un suelo con vegetación en la parcela GrowGreen. Simulación para el año 2020, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos. R=riego; Pp=precipitación; Ac=ascenso capilar; S=escorrentía; D=drenaje; ETR=evapotranspiración real; Lf= lámina al final del período; Li= lámina al inicio del período.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 14: balance de agua para un suelo con vegetación en la parcela GrowGreen. Simulación para el año 2035, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos. R=riego; Pp=precipitación; Ac=ascenso capilar; S=escorrentía; D=drenaje; ETR=evapotranspiración real; Lf= lámina al final del período; Li= lámina al inicio del período.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 15: balance de agua para un suelo con vegetación en la parcela GrowGreen. Simulación para el año 2050, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos. R=riego; Pp=precipitación; Ac=ascenso capilar; S=escorrentía; D=drenaje; ETR=evapotranspiración real; Lf= lámina al final del período; Li= lámina al inicio del período.....</i>	<i>30</i>

Tabla 16: superficie cubierta y descubierta (m2) para los años 2020, 2035 y 2050, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes y H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela estudiada.	31
Tabla 17: Adicionalidad producida por las hipótesis de intervención (H2 y H3) para el drenaje acumulado a lo largo de un periodo de 30 años, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes y H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela estudiada.....	32
Tabla 18: Adicionalidad producida por las hipótesis de intervención (H2 y H3) para la escorrentía evitada a lo largo de un periodo de 30 años, donde H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela estudiada.....	32
Tabla 19: Valor actualizado neto de la adicionalidad de los servicios proporcionado por la intervención del proyecto, donde H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes y H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela.	32
Tabla 20: Ganancias netas de oxígeno (t) por las diferentes hipótesis planteadas, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.	33
Tabla 21: Adicionalidad producida por las hipótesis de intervención en cuanto al oxígeno neto producido (t), donde H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la H3, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.	33
Tabla 22: Resumen de los servicios y beneficios proporcionados por la intervención del proyecto, donde H2_S1 y H2_S2 es la hipótesis 2 para los escenarios 1 y 2 respectivamente, H3_S1 y H3_S2 es la hipótesis 3 para los escenarios 1 y 2 respectivamente, H3in_S1 y H3in_S2 es la hipótesis 3 donde se incorporan los olmos eliminados para los escenarios 1 y 2, respectivamente.	34

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Para entender el siguiente estudio, se deben de definir algunos conceptos sobre los servicios ecosistémicos y lo que su valoración económica implica.

Los servicios ecosistémicos son los múltiples beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad. Entre otros servicios cabe destacar el suministro de alimentos y agua limpia; la regulación de las enfermedades y el clima; la ayuda a la polinización de los cultivos y la formación de suelos, y el ofrecimiento de beneficios recreativos, culturales y espirituales (Valdez y Luna, 2012).

Estos servicios ecosistémicos se clasifican en cuatro clases, las cuales se describen a continuación:

- Servicios de soporte: sirven como base y son necesarios para la producción del resto de servicios ecosistémicos (formación de suelos, reciclaje de nutrientes, etc.)
- Aprovisionamiento: productos obtenidos del ecosistema (alimentos, agua dulce, etc.)
- Regulación: beneficios obtenidos de la regulación de los procesos del ecosistema (regulación del clima, regulación y saneamiento del agua etc.)
- Culturales: beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas (recreativo, turístico, etc.)

Si bien se estima que estos bienes tienen un valor de 125 miles de millones de dólares estadounidenses (USD), no reciben la atención adecuada en las políticas y las normativas económicas, lo que significa que no se invierte lo suficiente en su protección y ordenación (Valdez y Luna, 2012).

Sin embargo, es importante tener en cuenta que este valor monetario, no es un valor de mercado y en ningún momento va a ser objeto de una transacción. Este valor económico hay que entenderlo como un indicador monetario del valor que la sociedad le otorga a dicho servicio y que va a ayudar a fomentar su protección y a hacer más eficiente la intervención de los gobiernos (Aznar y Estruch, 2012).

Cada vez son más las ciudades que presentan problemas relacionados con la meteorología, como inundaciones o estrés por calor, con proyecciones que indican que estos problemas aumentarán debido a su continuo desarrollo y al aumento de episodios extremos como consecuencia del cambio climático (Comisión Europea, 2016).

Las infraestructuras verdes urbanas se definen como una red interconectada de elementos naturales y seminaturales como espacios verdes, ríos, bosques y lagos que se intercalan y conectan núcleos urbanos, que mantienen las funciones ecológicas y que ofrecen beneficios a la población (del Pozo, 2018), pueden ser una buena herramienta para solventar estos problemas. Los espacios verdes formados por vegetación urbana pueden ayudar a mitigar el cambio climático al secuestrar el carbono atmosférico en los tejidos de los árboles y matorrales, disminuyendo así la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. La cantidad de carbono secuestrada anualmente aumenta con el tamaño y la salud de los árboles (Nowak et al., 2013).

Cuando el árbol se muere y se descompone, libera nuevamente la mayoría del carbono almacenado a la atmósfera. Por lo tanto, el almacenamiento de carbono es un indicador de la cantidad de carbono que se puede liberar si se permite que los árboles mueran y se descompongan. Por este motivo es importante mantener a los árboles saludables o utilizar su

madera en productos con una larga vida útil, o incluso utilizarla para ciertos servicios como calentar casas o para producir energía (Nowak et al.,2013).

Por otra parte, el agua es un importante recurso cuya cantidad y calidad es necesario preservar. En este sentido, en un escenario de cambio climático la provisión de servicios ecosistémicos proporcionados por la infraestructura verde y relacionados con el agua, es de vital importancia en zonas con escasez como es la zona mediterránea. Durante los eventos de precipitación, cierta cantidad de agua es interceptada por la superficie de las hojas de los árboles y matorrales, mientras que la otra alcanza el suelo. La cantidad de la precipitación que llega al suelo y no es filtrada produce lo que se le denomina escorrentía superficial, la cual puede contaminar desde arroyos y humedales hasta lagos y océanos (Hirabayashi, 2013). En las áreas urbanas, la gran extensión de superficies impermeables como el asfalto de las calles o los caminos compactados aumentan la cantidad de escorrentía superficial, por lo que las infraestructuras verdes juegan un papel muy importante en las ciudades.

En esta línea, el proyecto europeo GrowGreen, impulsado por la Unión Europea y financiado por el Programa Marco Horizonte 2020 (H2020), tiene como objetivo contribuir a crear ciudades adaptadas al clima, mediante soluciones basadas en la naturaleza (NBS). Este tipo de soluciones tratan de incorporar la naturaleza en el entorno urbano no solo para mejorar la calidad de vida de las personas, sino para que las empresas prosperen y cumplan sus objetivos. Los espacios verdes se incluyen en el tipo de herramienta necesario para solventar problemas como las inundaciones, el estrés por el efecto isla de calor, las sequías, la mala calidad del aire y el desempleo, y contribuyen al aumento y mejora de la biodiversidad (Favre et al., 2017).

Tras la propuesta del proyecto financiado por el programa H2020 de la Comisión Unión Europea, Valencia se ha comprometido a solucionar los problemas ocasionados por las inundaciones y estrés por calor mediante estas soluciones basadas en la naturaleza. Uno de los proyectos que se llevará a cabo es la creación de una nueva infraestructura verde en el parque de Benicalap en el norte de la ciudad de Valencia.

Esta futura infraestructura verde, será estudiada en este informe haciendo una aproximación de la cantidad de carbono acumulado y secuestrado por los árboles, así como la regulación de los flujos de agua, con el fin de cuantificar la adicionalidad producida por el proyecto piloto sobre la situación actual. También se valorará económicamente, sin olvidar que la finalidad de esta valoración no será obtener un precio de mercado sino un valor social.

1.2. OBJETIVOS

El trabajo desarrollado tiene como objetivos cuantificar físicamente los servicios ecosistémicos de almacenamiento y secuestro de carbono, así como la regulación de los flujos de agua proporcionados por la implantación de una nueva infraestructura verde en el barrio de Benicalap en el marco del proyecto GrowGreen y estimar su valor económico en un periodo de tiempo de treinta años.

1.3. LOCALIZACIÓN

En cuanto a la localización de la infraestructura verde a valorar, se encuentra al lado del Parque de Benicalap, en la comarca de L'Horta, entre los términos municipales de Burjassot, Tavernes Blanques y Alboraiá. Se trata de uno de los parques más destacados de la ciudad, de singular importancia por ser un parque emblemático y uno de los de mayor tamaño (80.000 m²).

La zona de estudio tiene una extensión de 0,49 ha y se caracteriza por estar prácticamente desprovista de árboles y tener una tierra muy compacta sobre la que han vertido restos de obras

cercanas y residuos urbanos. Aunque ha sido utilizada como zona de aparcamiento, actualmente no tiene un uso definido, pero la gente suele utilizarlo como zona para pasear a sus animales domésticos.



Figura1: Localización del proyecto piloto GrowGreen. Coordenadas: 39°29'57.0"N, 0°23'48.7"W. Fuente: elaboración propia a partir del Insitut Cartogràfic Valencià.

2. METODOLOGÍA

Cuantificar los servicios ecosistémicos proporcionados por el proyecto GrowGreen requiere medir la adicionalidad que produce el proyecto sobre la situación actual. Es decir, comparar la situación actual del espacio estudiado si el proyecto no se llevara a cabo con la situación que alcanzaría si el proyecto interviniera. Es por esto por lo que a continuación se definirán y cuantificarán las existencias actuales y las posibles actuaciones del proyecto piloto para un periodo de 30 años con unas condiciones ambientales definidas.

2.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PARCELA

Actualmente existen 25 olmos (*Ulmus pumila*) en la zona de estudio los cuales han sido medidos y valorados fitosanitariamente por personal con cargo al proyecto de GrowGreen. Los valores obtenidos han sido utilizados para cuantificar los servicios ecosistémicos. Para comprobar que las dimensiones estaban bien realizadas se acudió a la zona de estudio a realizar comprobaciones del diámetro altura pecho (d.a.p.), altura del árbol, altura donde comienza la ramificación y diámetro de copa¹. Además, se midieron dos parámetros² más que requiere el programa I-tree Eco: porcentaje de copa faltante y estado de salud del árbol.



Figura 2: Olmos (*Ulmus pumila*) de la zona de estudio.

Por lo que se pudo ver en la parcela, muchos de los árboles se encuentran en unas condiciones lejanas a las óptimas. Presentan ramas rotas (figura 2) y ausencia de un gran porcentaje de copa. Algunos de los árboles presentan hongos y desviaciones del fuste provocadas por la fuerte competencia lumínica causada por unos pinos piñoneros (*Pinus pinea*) que se encuentran cerca de la zona.

¹ Estas dimensiones se encuentran disponibles en el Anexo II “Resultados detallados”.

² Para medir estos dos parámetros se siguieron las instrucciones que ofrece manual de usuario del programa informático utilizado en el TFG y que será descrito posteriormente.

<<http://www.itreetools.org/resources/manuals/i-Tree%20Eco%20Users%20Manual.pdf>> Accessed 04/07/2019

Particularmente dos de estos olmos están en condiciones pésimas, por lo que deberían ser retirados. Se trata de dos árboles pequeños, uno recientemente caído y otro tricotómico que presenta una competencia abrumadora.

2.2. POSIBLES ACTUACIONES DEL PROYECTO PILOTO

El proyecto piloto de GrowGreen pretende aprovechar de manera más eficiente los usos proporcionados por esta parcela mediante soluciones basadas en la naturaleza. Para ello, desean implantar nuevas especies en la parcela, las cuales se describen en la tabla 1.

Tabla 1: Especies vegetales que se pretenden introducir en la parcela objeto de estudio con el proyecto piloto.
Fuente: elaboración propia a través de los datos proporcionados por los arquitectos del proyecto GrowGreen.

Especie arbórea	Número de ejemplares	Especie arbustiva o de pequeño porte	Número de ejemplares
<i>Acer monspessulanum</i>	4	<i>Pistacia lentiscus</i>	3
<i>Celtis australis</i>	3	<i>Pistacia terebinthus</i>	2
<i>Cercis siliquastrum</i>	1	<i>Prunus cerasifera</i>	5
<i>Cupressus sempervirens</i>	6	<i>Rhamnus alaternus</i>	4
<i>Fraxinus angustifolia</i>	3	<i>Viburnum tinus</i>	5
<i>Fraxinus ornus</i>	3	<i>Lavandula angustifolia</i>	176,1 m ²
<i>Ginkgo biloba</i>	4	<i>Rhamnus lycioides</i>	175,4 m ²
<i>Pyrus calleryana</i>	14	<i>Rosmarinus officinalis</i>	212,4 m ²
<i>Pinus pinea</i>	1	<i>Teucrium fruticans</i>	205,5 m ²
<i>Quercus faginea</i>	5	<i>Cotoneaster horizontalis</i>	175,6 m ²
<i>Quercus ilex subsp. ballota</i>	3	<i>Lonicera caprifolium</i>	30 m ²
<i>Ulmus minor</i>	3	<i>Ipomoea quamoclit</i>	45 m ²

También se desea incorporar un campo de amapolas que ocupará una extensión de 189 m², pero debido a que son plantas anuales su aporte y pérdida de carbono es prácticamente nula, por lo que no se considerará en el cálculo del carbono de este estudio.

Tras contactar con varios viveros que se encargan de suministrar plantas al Ayuntamiento de Valencia se llegó a la conclusión de que estas especies serían introducidas con las siguientes dimensiones.

- Todas las especies presentarán un diámetro a 1,30 metros de 5,1 cm.
- Los árboles con copa cilíndrica como las cupresáceas (*Cupressaceae*), suelen venderse con altura de 3 metros y diámetro de copa de 0,4 metros. La copa comienza a partir de los 15 primeros centímetros del suelo.
- El resto de los árboles que se incorporarán en la parcela se venden con 2,5 metros de altura y 0,6 metros de diámetro de copa aproximadamente. La copa comienza a partir de los 2/3 de la altura del árbol desde el suelo por motivos silvícolas.
- Los matorrales se venden por superficie de matorral con una altura de medio metro aproximadamente.

Otros aspectos a considerar:

- La altura de los árboles viene determinada por el tipo de camión o vehículo de transporte que lleve las especies vegetales hasta allí. Como este vehículo no es conocido, se ha escogido un tamaño medio de venta de las especies.

- Se asume que todos los árboles están sanos completamente y no presentan ausencia de copa.
- Existen cinco especies que el modelo a utilizar (I-tree Eco) no tenía registradas en sus tablas de crecimientos: *Quercus faginea*, *Pistacia terebintus*, *Rhamnus lycioides*, *Lonicera caprifolium* e *Ipomoea quamoclit*. Sin embargo, sí que tenía registrados crecimientos medios del género de la especie, por lo que se asumieron como adecuados para utilizarlos en estos casos. Por ejemplo: *Quercus sp.*, *Rhamnus sp.*, *Lonicera sp.*, *Ipomoea sp.* Para *Pistacia terebintus* se escogió el mismo que *Pistacia lentiscus*.
- Es importante decir que el destino de los olmos no está definido en el proyecto. Por una parte, dejar que los olmos permanezcan en el parque puede ser interesante por el carbono que puedan almacenar durante el resto de su vida. Por otra parte, su estado fitosanitario no es el adecuado, ya que presentan algunas ramas partidas que afectan a la estética de la zona y aumentan el riesgo de daños. Además, varios de los olmos están afectados por algunos hongos y enfermedades. Por estos motivos, se ha decidido establecer tres hipótesis para evaluar las diferencias de carbono tanto si se eliminaran como si se dejaran dichos árboles en la parcela.

2.2.1. Hipótesis 1 (H1): no intervención

Sería el caso en el cual el proyecto piloto no se llevaría a cabo. Por lo tanto, los olmos existentes en la parcela objeto de estudio permanecerían y no se introducirían especies nuevas. Por lo tanto, la composición de especies estaría formada solo por olmos (*Ulmus pumila*), los cuales proporcionarían una cobertura de suelo del 20,4%, quedando el porcentaje restante como suelo desnudo.

2.2.2. Hipótesis 2 (H2): con intervención donde los olmos permanecen

Si el proyecto de GrowGreen se lleva a cabo, es decir, se introducen las especies nuevas pero los olmos permanecen en su lugar de origen. De esta manera, la vegetación se compone de 73 árboles con una cobertura arbórea del 21,8 % y una cobertura de matorral del 20,9%. Las tres especies más comunes son *Ulmus pumila* (31,5%), *Pyrus calleryana* (19,2%) y *Cupressus sempervirens ssp Stricta* (8,2%) (figura 3).

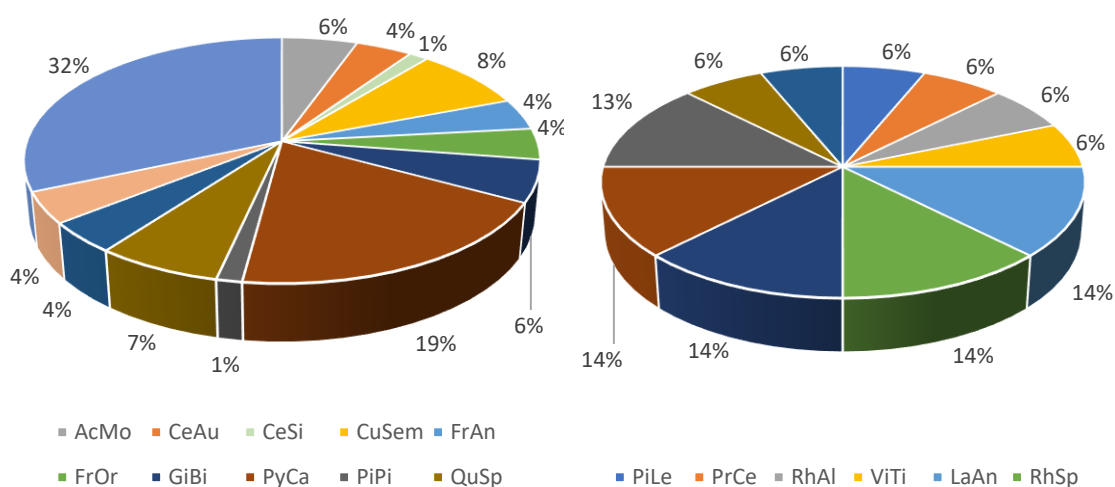


Figura 3: Composición de las especies de árboles (izquierda) y de matorrales (derecha) que forman la parcela tipo de la hipótesis 2. El código de las especies viene definido por las dos primeras letras del género y las dos primeras de la especie.

El porcentaje restante corresponde al porcentaje de suelo desnudo (57,3%), suponiendo que los matorrales no se encuentran debajo de los árboles, lo que equivale a 2807,7 m² de superficie totalmente desnuda.

Por motivos estéticos y de seguridad se asume que los dos olmos que están en condiciones pésimas (árbol tumbado y árbol tricotómico con demasiada competencia) serían eliminados. Además, al tratarse dos árboles pequeños su extracción sería relativamente fácil y rápida.

2.2.3. Hipótesis 3 (H3): con intervención donde los olmos actuales son eliminados

Es igual que la H2 pero se decide eliminar la totalidad de los olmos presentes en la parcela estudiada. Se reduce así con ello un 1,4% la cobertura arbórea y consecuentemente aumentando el porcentaje de suelo desnudo hasta alcanzar un 77,7%.

Para esta hipótesis se analizarán dos posibilidades:

- 1) Que la madera extraída de los olmos no vuelva a ser depositada en la parcela, por lo que el carbono acumulado en los olmos se consideraría emitido fuera del sistema (emisión de CO₂).
- 2) Que la madera extraída de los olmos la vuelvan a integrar dentro del sistema en forma de bancos de madera o depositada de alguna otra forma y asumiendo que no se emite CO₂ durante el proceso de integración de la madera en la parcela. Es decir, no se cuentan las emisiones de la maquinaria utilizada.

Comentarios:

- Es importante decir que no se cuantificará el dióxido de carbono emitido por la maquinaria utilizada para extraer los olmos ni para introducir las especies nuevas, ya que no está todavía establecido en el proyecto las máquinas que se utilizarán ni el número de horas que estarán en funcionamiento.

2.3. ESCENARIOS ESTUDIADOS

Si se desea cuantificar el carbono acumulado y la regulación de los flujos de agua para las diferentes hipótesis a lo largo de un periodo de tiempo de 30 años es necesario establecer unas condiciones climáticas, para cada uno de los años, que influirán en el agua disponible para las plantas y el suelo. Por este motivo, se han definido dos escenarios en función de cómo podría actuar la meteorología.

El primer escenario (o escenario 1) asume que las precipitaciones y temperaturas serían iguales o parecidas a las medias de los últimos 30 años.

El segundo escenario (o escenario 2) considera que el posible cambio climático conllevará un aumento de los periodos de sequía y de calor. Por lo tanto, las precipitaciones y temperaturas más representativas serían las de un año seco y caluroso de la serie de los últimos años.

Tras haber analizado los datos meteorológicos de Valencia con ayuda de la página web <https://es.climate-data.org/>, que recoge datos registrados desde 1982 hasta 2012, y los datos procedentes de la estación meteorológica Manises Aeropuerto, se escogieron los valores representados en la tabla 2 como representativos de ambos escenarios.

Tabla 2: Datos meteorológicos de los distintos escenarios estudiados. TM es la temperatura media, TMm es la media de las mínimas, TMM es la media de las máximas y Pp es la precipitación media positiva. Fuente: elaboración propia mediante datos descargados del programa informático I-tree Eco.

Escenario	TM (°C)	TMm (°C)	TMM (°C)	Pp (mm)
1	17,04	12,42	21,81	424
2	18,17	13,20	22,97	124

2.4. CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO Y SECUESTRADO

Existen numerosas herramientas para cuantificar y evaluar económicamente el carbono acumulado en los árboles, pero se decidió utilizar el programa informático I-tree Eco V6 tras analizar varias alternativas mediante la guía de herramientas de valoración de infraestructuras verdes (England, 2013). El motivo de su elección es doble: por un lado, su reconocimiento y uso mundial impulsado por el Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS) perteneciente al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), y, por otro, su fácil aplicación en las infraestructuras verdes urbanas.

Este programa es capaz de medir los siguientes parámetros: 1) Estructura del bosque urbano, 2) Reducción de la contaminación, 3) Impactos en la salud urbana, 4) Carbono almacenado y secuestrado, 4) Efectos energéticos 5) Interceptación de las lluvias por la vegetación y escorrentía superficial evitada (el cual se explica en el apartado 2.6.), 5) Pronósticos y crecimientos de las especies forestales 6) Bio-emisiones, 7) Valoración económica, 8) Impactos provocados por plagas (England, 2013). A continuación, se explica de forma detallada el procedimiento de cálculo del carbono acumulado y secuestrado en los árboles de acuerdo con los criterios del modelo I-tree Eco.

El almacenamiento de carbono es la cantidad de carbono capturada en las partes de la vegetación leñosa sobre el suelo (parte aérea) y bajo el mismo (parte subterránea o radicular). El modelo I-tree Eco es capaz de conocer el almacenamiento de carbono en un año determinado a partir de la biomasa seca de cada árbol. Para calcular este parámetro, utiliza una serie de ecuaciones alométricas basadas en datos de mediciones de los árboles urbanos de los Estados Unidos de América recopilados desde el año 1988 (McPherson et al., 2016).

Aunque el crecimiento de los árboles es el resultado de un proceso muy complejo, las ecuaciones alométricas de crecimiento reflejan los cambios en sus dimensiones de manera muy precisa, sobre todo en árboles de parques y jardines, ya que suelen crecer con ayuda del ser humano que aplica tratamientos silvícolas y satisface sus necesidades hídricas a través de riego. Estas ecuaciones presentan dos componentes que reflejan la interacción de dos fuerzas opuestas: componente de expansión y de disminución de crecimiento. El componente de expansión es el responsable del incremento de tamaño con la edad y se puede estimar en función del crecimiento corriente de la especie. La disminución de crecimiento es la responsable de decrecimiento del árbol con el aumento de la edad y viene determinado por factores intrínsecos al crecimiento del árbol, como la edad y el estado de salud del árbol, y extrínsecos, como plagas, enfermedades y días libres de heladas entre otras cosas (McPherson et al., 2016).

La necesidad de desarrollar ecuaciones de crecimiento de árboles urbanos fue impulsada por el USFS cuyo objetivo era calcular el flujo anual de carbono almacenado por los árboles urbanos de USA por un periodo de tiempo de 40 años (McPherson et al., 2016). Para ello, se recogieron datos de diferentes regiones del país siguiendo el método de Frelich para predecir el diámetro a 1,30 metros del suelo (d.a.p) teniendo en cuenta la edad y los días libres de heladas. La

ausencia de datos fiables llevó al USFS a emprender una campaña para medir más de 14.000 árboles en diferentes ciudades de los Estados Unidos durante más de 14 años. Las ecuaciones iniciales consistían en modelos numéricos capaces de calcular el flujo anual de los beneficios asociados con la eficiencia energética, limpieza de aire contaminado, carbono almacenado, y precipitación interceptada (McPherson et al., 2016).

El crecimiento se estima utilizando seis modelos de ecuaciones alométricas, cuatro de ellos polinomiales (lineal, cuadrático, cúbico y cuártico), uno logarítmico y otro exponencial que tratan de predecir la altura total del árbol, la altura de la corona, el diámetro de la corona y el área foliar en función del d.a.p., el cual está muy relacionado con la edad en los árboles de parques y jardines. De esta manera, conociendo la edad de un árbol en el año n se podría calcular el d.a.p. y a partir de este el resto de los parámetros. Además, estos parámetros pueden ser utilizados para calcular el carbono almacenado, entre otras cosas, en los tejidos de los árboles.

El cálculo del carbono almacenado será explicado mediante un ejemplo práctico basado en el cálculo realizado por McPherson y colaboradores (2016), que explica cómo hallar el peso seco de la biomasa y carbono almacenado de la especie *Loquidambar styraciflua* para unas dimensiones de d.a.p. y altura total conocidas (42,2 cm y 15,3 m respectivamente).

Paso 1: Conocidos el d.a.p. y la altura total del árbol se puede obtener el volumen de la parte aérea del árbol utilizando la ecuación 1. Estas ecuaciones pueden ser encontradas en la página web <http://dx.doi.org/10.2737/RDS-2016-0005> y sus coeficientes varían en función de la especie estudiada. La ecuación correspondiente para la especie *Loquidambar styraciflua* sería la siguiente:

$$V = 0,0000631 \cdot (X_i)^{2,31582} \cdot (H_i)^{0,41571} = 1,13m^3 \quad (1)$$

donde V es el volumen de la parte aérea del árbol, X_i sería el d.a.p. del árbol i y H la altura del árbol i . Sabiendo que el d.a.p. es igual a 42,2 cm y la altura 15,3 m se obtiene que:

$$V = 0,0000631 \cdot (42,2)^{2,31582} \cdot (15,3)^{0,41571} = 1,13m^3 \quad (2)$$

Paso 2: Una vez conocido el volumen del árbol, se procede a calcular el peso seco de su biomasa DW . Para ello es necesario aplicar un factor de densidad de peso seco que para la especie *Loquidambar styraciflua* es 460 kg/m³.

$$DW = 1,13m^3 \cdot 460 \frac{kg}{m^3} = 519,80kg \quad (3)$$

Paso 3: No todo el peso del árbol se encuentra en la parte aérea, por lo que si se desea conocer el carbono total acumulado por sus tejidos es preciso conocer su peso total. El modelo I-tree Eco asume que el peso seco en biomasa de las raíces es el 28% del peso seco de la parte aérea; de esta manera se puede incorporar la parte subterránea multiplicando el peso calculado anteriormente por 1,28. Siendo entonces el peso seco total 665,34kg.

Nota: hay ecuaciones que permiten calcular el peso total seco de manera directa, pudiéndose saltar los dos pasos anteriores, pero solo para determinadas especies.

Paso 4: Existen numerosos estudios que han confirmado que normalmente el 50% de peso seco en biomasa de los árboles está formado por carbono, por lo que el modelo multiplica por un factor de 0,5 dicho peso como indica la ecuación 4.

$$C = 665,34 kg \cdot 0,5 = 332,67kg \quad (4)$$

Paso 5: Si se desea conocer la cantidad de dióxido de carbono que ha tenido que ser absorbida de la atmósfera para almacenar el carbono calculado en el apartado anterior, se puede realizar un cálculo basándose en los pesos atómicos del CO₂ como muestra la ecuación 5.

$$CO_2 = 332,67 \text{ kg} \cdot \frac{44}{12} = 1220,89 \text{ kg} \quad (5)$$

Otros aspectos a considerar:

- Los árboles maduros con mantenimiento tienden a tener menos biomasa de la predicha por las ecuaciones de biomasa derivadas del bosque (Nowak 1994). Para ajustar la diferencia, los resultados de la biomasa para árboles urbanos maduros se multiplican por 0,8.
- Simplemente con medir el diámetro o la edad, I-tree es capaz de estimar otros parámetros, pero es importante añadir la máxima información para que el error en la aproximación sea el mínimo.
- Es importante tener en cuenta que los crecimientos son estimados en condiciones óptimas, considerando que las podas han sido realizadas correctamente a favor del crecimiento y las especies han sido regadas cuando era necesario.
- El carbono acumulado por los matorrales no es calculado por I-tree Eco debido a su escasa proporción de carbono y su lento crecimiento a lo largo del tiempo. Sin embargo, tienen una fuerte repercusión a la hora de evitar escorrentía y limpiar el aire contaminado.
- Actualmente, las ecuaciones presentan unos métodos estadísticos más sofisticados que los utilizados en versiones anteriores. Los modelos de regresiones logarítmicas y exponenciales se ajustan mejor a los datos medidos. También es importante decir que las nuevas ecuaciones han sido integradas con modelos numéricos en el software de EcoSmart Landscapes (McPherson et al., 2016).

El modelo I-tree Eco tiene en cuenta la probabilidad de que los árboles mueran. Las probabilidades son del 3% para especies sanas, que pueden ser abatidas por algún fenómeno externo como un fenómeno meteorológico extremo (viento o nieve, por ejemplo) o por una mala ejecución de su mantenimiento (una mala poda o negligencia). Los árboles enfermos presentan un 13,1% y los árboles muy debilitados 50%. Estos porcentajes han sido establecidos por el programa informático por defecto y se han asumido por presentar valores razonables. Otro factor importante son los períodos libres de heladas, los cuales duran todo el año en esta zona de Valencia. Cabe destacar que la muerte de un árbol implica emisiones de CO₂ a la atmósfera debido a su descomposición. Aunque la descomposición de la madera sea un proceso lento que prácticamente no emite CO₂ a la atmósfera en un período de tiempo a corto/medio plazo, se asume que los árboles muertos serán retirados del parque o de la parcela actual, por lo que se considerarán como una pérdida o una emisión neta equivalente al CO₂ que estaba retenido en dicha madera extraída de la zona.

A diferencia del almacenamiento de carbono, el secuestro de carbono es la eliminación de CO₂ de la atmósfera por las plantas. El cálculo del secuestro de carbono se realiza anualmente y no se cuenta con el carbono retenido del año anterior. Por ejemplo, si el año n se eliminaron m toneladas de CO₂, éstas no serán contabilizadas en el año $n+1$.

Para conocer el secuestro de carbono neto se calculó la diferencia entre el carbono acumulado entre el año n y el año $n+1$. En el caso de que un resultado sea negativo significa que ha muerto

uno o varios árboles cuyas emisiones de CO₂ han sido superiores a las que se pudieron retener ese año.

Es importante remarcar que este programa está diseñado para su uso en los Estados Unidos de América y en caso de utilizar dicho programa en Europa es necesario contar con un experto en economía para justificar el valor de los servicios (England, 2013). Por este motivo, se ha contactado con un experto en la materia para realizar la parte económica del estudio.

2.5. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL CARBONO

Valorar económicamente las ganancias netas de carbono almacenado en los árboles durante los 30 años requiere conocer los tipos de mercado de carbono que existen en la actualidad.

Existen dos tipos de mercados de carbono: los de cumplimiento regulado y los voluntarios. El mercado regulado es utilizado tanto por empresas como por gobiernos que, por motivos legislativos, tienen la obligación presentar información sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas y cumplir con los límites establecidos. Está regulado por regímenes obligatorios de reducción de carbono a nivel nacional, regional o internacional. Sin embargo, en el mercado voluntario, la comercialización de dichos créditos se produce sobre una base facultativa. La dimensión del mercado regulado es considerablemente superior a la del voluntario. En 2008, se comerciaron en el mercado regulado 119.000 millones de dólares estadounidenses (US\$), y en el voluntario, 704 millones US\$ (Seeberg-Elverfeldt, 2010).

En el mercado regulado, los países industrializados generan créditos de carbono (RCE)³ mediante los recortes o la retención de GEI. Estos son utilizados para compensar parte de sus emisiones internas de GEI y cumplir, así, sus objetivos de emisión. (Seeberg-Elverfeldt, 2010). Estos créditos de carbono presentan un valor económico de carbono equivalente a una tonelada de CO₂. Este valor varía constantemente con el tiempo en ambos tipos de mercado. En la Unión Europea, existe el Emission Trading System (ETS), que es el sistema de comercio de emisiones implantado en 2005. En este mercado, el valor económico se encuentra actualmente en 20€/t CO₂, sin embargo, se espera que para el año 2020-2021 el valor ascienda a 30€/t, y para 2030 a 55€/t (CARBON TRACKER, 2018). Por este motivo, se ha asumido que dicho valor económico aumentará linealmente de 2020 a 2030 y una vez alcanzado este punto se mantendrá constante en 55€/t durante los 20 años siguientes que completan el periodo de tiempo considerado en este estudio.

El mercado voluntario ha adquirido gran importancia para ciertos proyectos de carácter agrícola y forestal, que tienen como objetivo reducir las cantidades de GEI de la atmósfera. Los créditos de Reducción Verificada de las Emisiones de carbono (VER⁴, siglas en inglés) son adquiridos principalmente por el sector privado. Estos créditos pueden ser comprados por empresas para contrapesar sus emisiones de GEI. Por ejemplo, British Airways ofrece vuelos neutros de carbono y Morgan Stanley provee la cantidad equivalente de créditos de carbono (Seeberg-Elverfeldt, 2010). La Responsabilidad Social Corporativa (RSC) y las relaciones públicas están entre las motivaciones más habituales para la compra de créditos de carbono. Para el mercado voluntario el valor económico que presenta una tonelada de CO₂ es bastante menor, de hecho, el valor actual es de 5,10 US\$. Su crecimiento también varía en función del tiempo, sin embargo, no se han encontrado estudios significativos sobre su evolución, por lo que se asume que aumentará

³ Los créditos de carbono de proyectos de MDL se denominan Reducción Certificada de las Emisiones (RCE).

⁴ Los créditos de carbono en el mercado voluntario se denominan Reducción Verificada de las Emisiones (VER, siglas en inglés).

de la misma manera que el del mercado regulado, presentando un valor de 6,7 US\$ para el año 2020 y 28,7 US\$ para 2030. El cambio de unidades de dólares a euros se ha realizado mediante el factor de conversión 0,87854⁵ (€/US\$).

Para conocer las toneladas de CO₂ que aporta la intervención del proyecto GrowGreen en la parcela estudiada, es decir, la adicionalidad por parte del proyecto, se calcula la diferencia entre las hipótesis de intervención (H2, H3 y H3_incorporando) y la de no intervención (H1) a partir de las toneladas netas de secuestro de CO₂ anuales. Las ganancias o pérdidas de CO₂ de cada año se multiplicarán por su precio correspondiente y se realizará un estudio económico mediante el valor actual neto (VAN), cuya fórmula se escribe a continuación:

$$VAN = -K + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1+r)^j} = \sum_{j=0}^n \frac{F_j}{(1+r)^j} \quad (6)$$

Como el objetivo del trabajo es reflejar la importancia del valor social que presenta este CO₂ almacenado se asumirá que la inversión K y los costes de producción son nulos. Por lo tanto, los flujos de caja F_j serán igual a la adicionalidad neta de carbono de cada año multiplicada por su valor económico correspondiente. La tasa de interés r es una tasa social de descuento igual a 2,91% cuyo valor fue obtenido a través de un estudio que utiliza los datos del banco mundial “World Bank Group” (WBG) y el Organismo para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) (Estruch y Valls, 2019).

2.6. CUANTIFICACIÓN DE LA ESCORRENTÍA Y EL DRENAJE PARA LA REGULACIÓN DE LOS FLUJOS DEL AGUA

La regulación de los flujos de agua es un servicio que viene dado por la cobertura vegetal y la configuración del suelo. La vegetación arbórea influye en la cantidad de agua disponible y en el ciclo temporal del suministro de agua. La interceptación de las lluvias por parte de las copas de los árboles y su influencia en la transpiración, evaporación, evapotranspiración e infiltración del agua en el suelo son el resultado de este servicio de regulación (FAO, 2019).

Las ciudades y su constante crecimiento traen consigo una serie de cambios en las condiciones naturales al agrandar las superficies de suelo impermeable que conllevan a problemas de drenaje y de gestión del agua de lluvia a consecuencia del aumento en los caudales de escorrentía, que con el aumento en las intensidades de la precipitación se traduce en inundaciones y pérdidas económicas para las comunidades (Martínez, 2013).

En este contexto, resulta necesario establecer una serie de pautas que permitan hacer frente a esta situación. Según Martínez (2013) la manera de solventar este conflicto de manera sostenible sería utilizar modelos que tengan en cuenta la hidrología del lugar, así como otros parámetros relacionados con los aspectos ambientales y socioeconómicos.

La interceptación de lluvias por parte de los árboles de los parques y jardines puede reducir la magnitud de este problema durante las grandes tormentas. Los árboles actúan como mini-reservorios de agua que retrasan el tiempo que tarda un suelo en ser saturado, controlando y disminuyendo los volúmenes de escorrentía y erosión de los cursos de agua. Según Mcpherson y colaboradores (2007), los árboles pueden reducir la escorrentía de varias maneras. Las hojas y las superficies de las ramas interceptan y almacenan la lluvia, lo que reduce el volumen de escorrentía y disminuye la velocidad de las gotas de lluvia retrasando así el tiempo que tarda en

⁵ Este factor fue obtenido mediante el programa I-tree Eco el día 28/06/2019.

saturarse el suelo. Las raíces aumentan la velocidad a la que la lluvia se infiltra en el suelo y la capacidad del suelo de almacenar el agua. Las copas de los árboles reducen la erosión del suelo al disminuir el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo. La transpiración a través de las hojas de los árboles reduce la humedad del suelo, lo que aumenta la capacidad para almacenar lluvia (Mcperson et al., 2007).

En este apartado, se pretende cuantificar la variación que se produciría en la escorrentía y en el drenaje, acumulados a lo largo de 30 años, en la parcela de estudio si el proyecto de implantación de la infraestructura verde se llevara a cabo. Para ello, se calculará el drenaje y escorrentía de cada uno de los años de las diferentes hipótesis planteadas anteriormente y se compararán las hipótesis de intervención (H2 y H3) con la de no intervención (H1) para cada uno de los escenarios planteados anteriormente.

Si se desea realizar un balance de agua en un suelo se debe tener en cuenta que las precipitaciones caerán directamente al suelo en las zonas desnudas, mientras que en las zonas provistas de vegetación se almacenará cierta cantidad de agua en la superficie de las hojas de los árboles y arbustos, disminuyendo así el agua neta que llega al suelo. Por lo tanto, es importante tener en cuenta esta precipitación interceptada en las distintas hipótesis planteadas. Su cálculo se explica en el siguiente subapartado, siendo importante remarcar que, aunque evidentemente las lluvias no van a ser iguales durante los 30 años, lo que se pretende calcular son las diferencias entre las distintas hipótesis ante las mismas precipitaciones. Es decir, la pregunta no es cómo serán las condiciones si durante 30 años llueve lo mismo, sino cómo actuaría la futura masa de árboles frente a una lluvia parecida a la de las medias de los últimos años (escenario 1) o antes las lluvias de un año muy seco (escenario 2).

2.6.1. Interceptación de lluvias por la vegetación

La cantidad de agua que llega al suelo en las zonas vegetadas puede ser conocida utilizando el modelo de simulación I-tree Eco, que a través de los datos de precipitación estima la cantidad de agua interceptada por la vegetación. Las ecuaciones utilizadas por dicho modelo son descritas por Hirabayashi (2013) y se explican a continuación.

El proceso de interceptación de las lluvias parte de la precipitación total P que incide sobre la superficie de suelo cubierta por especies vegetales. Esta queda dividida en dos partes:

- i. La precipitación que cae sobre la copa de los árboles P_c y que será almacenada por la superficie de las hojas (Sv).
- ii. La precipitación que pasa a través de los huecos de la copa del árbol P_t sin contacto ni resistencia de la superficie foliar.

$$Sv_t = \begin{cases} 0 & \text{si } Sv_t < 0 \\ Sv_{t-1} + Pc_t - Ev_{t-1} & \text{si } 0 < Sv_t < Sv_{max} \\ Sv_{max} & \text{si } Sv_t \geq Sv_{max} \end{cases} \quad (7)$$

$$Sv_{max} = S_L \cdot LAI \quad (8)$$

siendo Sv_t el agua almacenada en la superficie de la hoja del árbol en tiempo t . Su valor puede oscilar entre cero y la capacidad máxima de almacenamiento por las hojas Sv_{max} , que viene determinado por la capacidad de almacenamiento foliar S_L (0,0002 m) y el índice de área foliar LAI . Este índice se calcula a través del diámetro altura pecho utilizando la ecuación logarítmica

(3) donde y_i es el área foliar del árbol i , x_i es el diámetro altura pecho del árbol i , a y b son constantes que dependen del tipo de especie⁶.

$$\ln(y_i) = a + b \ln(\ln(x_i + 1)) \quad (9)$$

La diferencia de la precipitación total P y la precipitación que pasa a través de la copa P_t es igual a la precipitación que queda retenida en la copa del árbol P_c :

$$P_c = P - P_t \quad (10)$$

$$P_t = P \cdot e^{-k \cdot LAI} \quad (11)$$

siendo e el número de Euler y k un coeficiente de reducción de 0,7 para árboles y un 0,3 para matorrales. La precipitación retenida en la copa P_c es evaporada con el tiempo. Esta evaporación es calculada utilizando la siguiente expresión:

$$Ev_t = \left(\frac{Sv_t}{Sv_{max}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot PE_t \quad (12)$$

donde Ev_t es la evaporación del agua almacenada por vegetación y PE_t la evaporación potencial en el tiempo t calculada por el procesador de datos climáticos de modelo I-tree Eco.

Evidentemente, el agua almacenada en la superficie foliar precipita en forma de gotas que caen directamente al suelo siguiendo la siguiente ecuación:

$$D_t = \begin{cases} P_c - (Sv_{max} - Sv_{t-1}) - Ev_t & \text{si } Sv_{t-1} < Sv_{max} \\ P_c - Ev_t & \text{si } Sv_{t-1} \geq Sv_{max} \end{cases} \quad (13)$$

La suma de la precipitación que pasa a través de la copa P_t y las gotas procedentes de la superficie de las hojas D_t se denomina precipitación efectiva. Esta precipitación también puede ser calculada por la diferencia de la precipitación total P y el agua almacenada en la copa Sv , la cual se irá evaporando con el tiempo. Además, puede ser conocida a lo largo del tiempo, ya que el modelo I-tree Eco presenta ecuaciones de crecimiento del diámetro altura pecho de las diferentes especies vegetales que componen la parcela. Mediante el valor de los futuros diámetros se puede calcular el área foliar para cada uno de los 30 años simulados.

⁶ Los coeficientes de estas ecuaciones dependen de la especie estudiada y pueden ser encontrados en la página web: <http://dx.doi.org/10.2737/RDS-2016-0005>

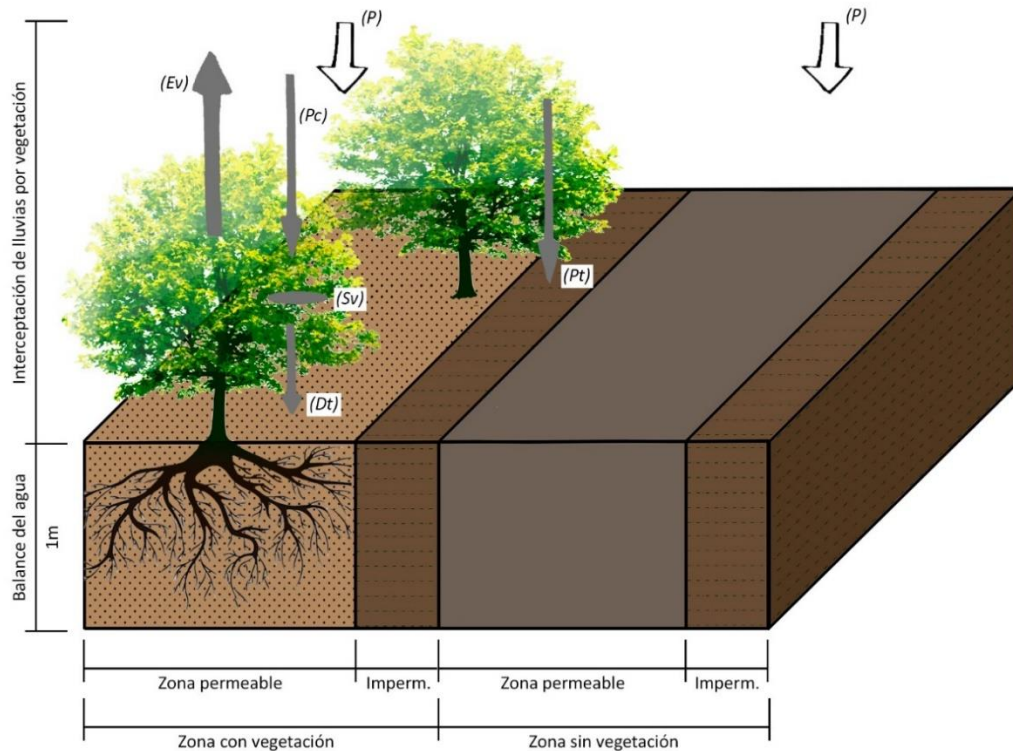


Figura 4: Esquema de cálculo del proceso de interceptación de lluvias por la vegetación, donde P es la precipitación, P_c es la precipitación sobre la copa del árbol, P_t es la lluvia que pasa a través de la copa, S_v es la capacidad de retención, D_t es el goteo de agua inicialmente retenida sobre la superficie de las copas y E_v la evaporación del agua almacenada en la superficie de las hojas. Fuente: modificado del modelo descrito por Hirabayashi (2013).

Comentarios:

- El modelo recoge los datos meteorológicos en la estación meteorológica de Valencia-Aeropuerto, a escala horaria. Utilizando las ecuaciones anteriores el programa ofrece los datos de precipitación interceptada por la vegetación que no llega al suelo en la misma escala.
- Es importante señalar que las fórmulas aplicadas por este modelo han sido aprobadas por el USDA Forest Service para estimar el agua interceptada por la vegetación en los parques urbanos.

2.6.2. Balance de agua en el suelo

Una vez conocida la precipitación efectiva que llega al suelo se procede a calcular la cantidad de agua que almacena el suelo, así como las pérdidas de agua por drenaje, escorrentía y evaporación en caso de ser un suelo desprovisto de plantas o evapotranspiración si existe vegetación en dicho suelo. Es importante decir que, a diferencia del suelo bajo cubierta vegetal, se asume que la precipitación efectiva en el suelo desnudo es igual a la precipitación total, cuyos datos fueron registrados en la estación meteorológica del aeropuerto.

Para conocer los flujos de agua es necesario saber la cantidad de agua que será almacenada, drenada y escurrida en el suelo. Cuando el agua de lluvia llega al suelo se infiltra en sus zonas permeables, siempre que la humedad del suelo se encuentre por debajo de la humedad de saturación, y escurre por las zonas impermeables de la superficie del suelo. Según Hirabayashi (2013), el 25,5% de la superficie de los parques de Estados Unidos presentan capas de suelo impermeable que llevan la escorrentía generada hasta los sistemas de alcantarillado. Estas zonas

impermeables están formadas por suelos muy compactados de caminos y otras infraestructuras de los parques. Sin embargo, el grado de compactación de la parcela actual es considerablemente mayor al de cualquier parque debido a que se ha estado utilizando como zona de aparcamiento y actualmente se utiliza como zona de paseo de mascotas. Por este motivo, se considera adecuado asumir que la parcela actual presenta un 35% de suelo impermeable. Por otra parte, se considera que la futura infraestructura verde proyectada en GrowGreen sí que presentará el 25,5% de superficie impermeable, ya que, se le dará un uso exclusivo de parque.

El porcentaje restante de la parcela presentará suelo permeable, el cual recibe la precipitación efectiva y el balance de agua dependerá de un mayor número de factores. Estos factores serán explicados a continuación en el modelo de capacidad de agua utilizado para cuantificar el drenaje y la escorrentía acumulada a lo largo de un año en un suelo permeable.

Este modelo se aplica a la zona radicular del suelo, la cual se considera que alcanza un metro de profundidad ya que las especies que habitan en la parcela son fundamentalmente árboles de jardín (Martín et al. 2004). Para un periodo de tiempo determinado y un espesor de suelo considerado, la conservación de la masa de agua requiere que las entradas de agua sean iguales a las salidas más/menos el almacenamiento de agua en el suelo:

$$P + R = ET + D + S \pm \Delta L \quad (14)$$

Donde:

- P : Precipitación efectiva
- I : Riego
- ET : Evapotranspiración
- D : Drenaje
- S : Escorrentía
- ΔL : Variación de lámina de agua en el suelo

Esta ecuación, cuyos términos vienen en mm, asume que no hay entrada lateral de agua ni salida desde o hacia otro suelo. El modelo, implementado en una hoja de cálculo, calcula el balance de agua diario asumiendo las siguientes condiciones:

Se asume que el suelo actúa como un reservorio con una capacidad máxima de almacenamiento L_{max} , relacionada con la humedad de saturación, hay una máxima capacidad de retención frente a la gravedad, lo que se conoce como capacidad de campo (field capacity) L_{fc} y hay un mínimo contenido de agua por debajo del cual las plantas no pueden extraer agua L_{min} , calculada a partir del punto de marchitez permanente. El almacenamiento en este contexto se refiere a la cantidad de agua retenida en el perfil de suelo (1 metro en este caso) y expresada como lámina de agua (mm). Dependiendo de sus características hidráulicas, el suelo puede almacenar más o menos agua, por ello, es importante caracterizar el suelo de la parcela en la que se va a ubicar la infraestructura verde.

La caracterización del área estudio requirió analizar el suelo existente de la parcela actual. Para ello, se determinó⁷ la textura, carbonatos, materia orgánica, elementos gruesos, conductividad eléctrica, pH y la densidad aparente en cinco puntos localizados por muestreo selectivo y a dos profundidades (0-15 y 15-30 cm). El suelo que habría bajo el arbolado se asumió que sería similar

⁷ El procedimiento realizado durante el análisis de laboratorio se encuentra en el Anexo I "Análisis de suelo".

al que se encuentra actualmente en el parque de Benicalap, al lado de la zona de estudio, por lo que se utilizaron datos de los mismos parámetros recopilados por el proyecto GrowGreen en diferentes puntos de dicho parque (Campo, 2018).

Mediante la aplicación Soil Water Characteristics⁸ y utilizando los datos de textura, materia orgánica, densidad aparente, salinidad y elementos gruesos, se calcularon las humedades volumétricas a saturación, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y conductividad hidráulica, con el fin de conocer las diferentes láminas de agua requeridas por el modelo de capacidad (L_{max} , L_{min} , L_{fc}). Una vez conocidas las diferentes láminas a las dos profundidades de suelo se pudieron realizar los cálculos del drenaje y escorrentía acumulada mediante una hoja de cálculo siguiendo los siguientes pasos:

Paso 1: Para conocer el agua almacenada en el perfil de suelo, L debe de existir un dato previo de la medida de la lámina de agua del día anterior y los aportes totales de agua efectiva que entrará en el suelo. Estos aportes son la precipitación neta y el riego.

De los datos obtenidos en el proyecto GrowGreen, se utilizaron los datos de humedad registrados por sondas FDR (Frequency Domain Reflectometry) instaladas en una zona del parque (bajo un naranjo) a 10 cm y a 20 cm de profundidad durante los meses de mayo a octubre de 2018⁹. Sin embargo, debido a que la profundidad del suelo estudiado es de un metro, los datos de humedad de las sondas no se podían extrapolar a la totalidad de este, ya que en la superficie del suelo suelen haber condiciones mucho más secas que en profundidad. Por este motivo se asumió que en los 10 primeros centímetros la humedad sería similar a la marcada en la sonda enterrada a dicha profundidad, de los 10 a los 70 cm sería igual a la de la sonda enterrada a los 20 cm, y de los 70 cm hasta los 100cm de profundidad el suelo presentaría una humedad igual al 80% de su capacidad de campo.

Con estos datos de humedad, transformados a lámina, se pudo calibrar el modelo durante un período de tiempo en el que se conocían las entradas de agua al suelo comprobando que los valores simulados se ajustaban a las medidas registradas por los sensores. Para calibrarlo solo hubo que definir una fracción del agua disponible por debajo de la cual empieza a disminuir la evapotranspiración máxima, la cual es igual a 0,1.

Se considera la precipitación neta como el agua que ha podido infiltrarse en el suelo permeable, por lo que hay que descontar a la precipitación efectiva la parte perdida por escorrentía en las zonas impermeables.

Se asume que el riego solo se dará en los suelos cubiertos por vegetación y no influirán en la escorrentía. Para calcular la irrigación se elaboró un calendario de riegos siguiendo las recomendaciones de (Martín et al., 2004), que emplea las siguientes expresiones:

$$Necesidades\ brutas = \frac{Necesidades\ netas}{Eficiencia\ aplicación} = \frac{(ET_{max} - P_{pnetas})}{Er} \quad (15)$$

siendo ET_{max} la evapotranspiración máxima, la cual se calcula en el paso 2. Los cálculos se realizaron por quincenas de días siguiendo las recomendaciones del manual. Hay que tener en

⁸ En: <https://www.ars.usda.gov/research/software/download/?softwareid=492&modecode=80-42-05-10>

⁹ Las sondas habían recogido información durante varios meses, pero debido a que presentaban una serie de datos anómalos que fueron eliminados finalmente se calibró el modelo con un periodo de tiempo de cuarenta días.

cuenta que si las precipitaciones superan a la evapotranspiración máxima el resultado es negativo, por lo que cuando exista un número igual o inferior a cero no se regará esa quincena. La eficiencia de aplicación es del 60% porque se asume que se riega en superficie con manguera (manual).

El número de riegos depende de la capacidad de almacenamiento. La capacidad de almacenamiento es la correspondiente a la lámina a capacidad de campo L_{fc} del suelo bajo arbolado, considerando un metro de profundidad y que en este caso es igual a 290 mm.

$$\text{Número de riegos} = \frac{\text{Necesidades brutas}}{\text{Capacidad de almacenamiento}} \quad (16)$$

La dosis será el resultado de dividir las necesidades brutas entre el número de riegos.

$$\text{Dosis} = \frac{\text{Necesidades brutas}}{\text{Número de riegos}} \quad (17)$$

Paso 2: Si el suelo se encuentra bajo arbolado parte del agua será evapotranspirada a la atmósfera. Sin embargo, si el suelo se encuentra desprovisto de vegetación no existe evapotranspiración, sino evaporación. Por ello, es necesario diferenciar los cálculos siguientes para un suelo cubierto por vegetación y un suelo desnudo.

Suelo cubierto por vegetación.

Debido a que los árboles de los parques son regados y cuidados con tratamientos silvícolas se puede asumir que se comportarán como un árbol de jardín, cuya evapotranspiración potencial ET_{max} vendría dada por la siguiente ecuación:

$$ET_{max} = k_j \cdot ET_o \quad (18)$$

Esta evapotranspiración será la utilizada para realizar el calendario de riegos. k_j es el coeficiente de jardín que se compone de otros dos coeficientes: el coeficiente de cultivo K_c que varía en función del mes del año y la densidad de cultivo K_d . ET_o es la evapotranspiración potencial cuyos datos han sido obtenidos de la estación meteorológica de Moncada, por no disponer de los datos de la estación de Valencia.

$$K_j = K_c \cdot K_d \quad (19)$$

Debido a que no se encontraron coeficientes de cultivo aplicados para cada especie, se escogió un coeficiente de cultivo para árboles, el cual oscila entre 0,6 y 0,8 dependiendo de la especie y época del año, y de matorrales de jardines (0,7 - 0,8). Estos coeficientes fueron utilizados por Domene y Saurí (2003) sobre modelos urbanos y consumo de agua. Considerando que los valores más altos de K_c se producirán en los meses más calurosos y los más bajos en los más fríos se pudieron calcular los distintos coeficientes para cada mes e hipótesis (tabla 3), ya que la H1 solo presenta árboles, mientras que la H2 y la H3 contiene árboles y matorrales. Es importante decir que este coeficiente integra también la evaporación del suelo que existe debajo de los árboles.

Tabla 3: Coeficientes de cultivo para árboles y matorrales de jardín en los diferentes meses del año. H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos en su origen, y H3 es intervención eliminando los olmos. Fuente: elaboración propia a partir de los coeficientes utilizados en Domene y Saurí (2003).

Mes	K _c (H1)	K _c (H2 y H3)	Mes	K _c (H1)	K _c (H2 y H3)
Enero	0,60	0,65	Julio	0,80	0,80
Febrero	0,65	0,68	Agosto	0,80	0,80
Marzo	0,65	0,68	Septiembre	0,75	0,75
Abril	0,70	0,70	Octubre	0,70	0,70
Mayo	0,70	0,70	Noviembre	0,65	0,68
Junio	0,75	0,75	Diciembre	0,60	0,65

Según Pujol y Gómez (2003) los coeficientes K_d aumentan conforme aumenta la densidad. Éstos se clasifican en tres clases: alta, media y baja. Sin embargo, no especifica cómo evaluar dicha densidad. Por ello, se ha considerado adecuado valorar la densidad en función de la tangencia de copas. Por ello, la hipótesis 1 tendrá la densidad alta debido a que los olmos están en contacto y viviendo con bastante competencia. Mientras que la hipótesis 2 tendrá una densidad media y la 3 baja.

Gracias a los crecimientos proporcionados por el programa informático I-tree Eco se ha podido establecer que a los 15 años la densidad de las hipótesis aumenta considerablemente, por lo que se podría asumir que cada 15 años pasarían a la siguiente clase (tabla 4).

Tabla 4: Coeficientes de densidad para cada hipótesis y año del estudio. H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos en su origen, y H3 es intervención eliminando los olmos. Fuente: elaboración propia a partir de los coeficientes utilizados en Domene y Saurí (2003).

Hipótesis/Año	H1	H2	H3
2020	Alta = 1,1	Media = 1,0	Baja = 0,6
2035	Alta = 1,1	Alta = 1,1	Media = 1,0
2050	Alta = 1,1	Alta = 1,1	Alta = 1,1

Con los coeficientes calculados se podrá obtener la evapotranspiración máxima y, con ella, los riegos necesarios de las distintas hipótesis y diferentes años (2020, 2035 y 2050). Sin embargo, la evaporación real que se da en la parcela de estudio no es la misma que la evapotranspiración máxima, por lo que será necesario realizar los siguientes cálculos y asumir las siguientes suposiciones para obtener el valor de la evapotranspiración real.

El valor mínimo de evapotranspiración se daría cuando el suelo presentase la menor cantidad de agua disponible para la planta y se considera que es el 15% de la evapotranspiración máxima (Lidón et al., 1999). Se asume que la evapotranspiración actual ET_{actual} decrece linealmente cuando la capacidad de almacenamiento de agua del suelo empieza a ser limitante, L_{crit} , hasta alcanzar la lámina mínima, L_{min} . Por lo tanto, la evaporación en el día n vendrá definida por la siguiente función:

$$ET_n = \begin{cases} 0.15 \cdot ET_{max,n} & \text{si } L_n \leq L_{min} \\ ET_{max,n} - 0.85ET_{max,n} \left(\frac{L_{crit} - L_n}{L_{crit} - L_{min}} \right) & \text{si } L_{min} < L_n \leq L_{crit} \\ ET_{max,n} & \text{si } L_n > L_{crit} \end{cases} \quad (20)$$

Suelo descubierto o suelo desnudo.

Si el suelo se encuentra desprovisto de vegetación, se asume que solo existe evaporación en los 10 - 15 primeros centímetros del suelo, ya que no existen raíces profundas que puedan extraer agua de las capas más profundas (Allen, 2006). En este caso, la ecuación que determina la cantidad de evaporación que se extraerá del suelo es:

$$L_{e,n} = K_e \cdot E_0 \quad (21)$$

Siendo $L_{e,n}$ la lámina de evaporación en el día n que puede evaporar el suelo y K_e el componente de la evaporación que viene definido por una constante de reducción K_r y unas constantes de cultivo $K_{c,max}$ y K_{cb} que para suelos desnudos son iguales a 1,20 y 0,15, respectivamente.

$$K_e = K_r \cdot (K_{c,max} - K_{cb}) \quad (22)$$

Este coeficiente de reducción es igual a 1 si existe lámina de agua fácilmente evaporable (AFE) que es la lámina máxima de agua que puede ser evaporada sin restricciones de la capa superficial del suelo. Una vez se ha consumido la lámina fácilmente evaporable, se requiere más energía para extraer agua del suelo, por lo que el coeficiente de reducción (K_r) va siendo más restrictivo conforme disminuye el contenido de humedad en el suelo. Su cálculo viene determinado por:

$$K_r = \begin{cases} \frac{AET - L_{e,n-1}}{AET - AFE} & \text{si } L_{e,n-1} > AFE \\ 1 & \text{si } L_{e,n-1} < AFE \end{cases} \quad (23)$$

donde $L_{(e,n-1)}$ es la lámina acumulada de evaporación en la capa superficial del suelo al final del día $n-1$ (el día anterior) (mm). AET es la cantidad máxima de agua evaporable en un suelo desnudo que, según el cuaderno técnico de la FAO número 56 corresponde a su capacidad de campo y el contenido de humedad intermedio que puede alcanzar al ser secado en estufa (sin agua remanente) y su punto de marchitez permanente θ_{WP} .

$$AET = 1000 \cdot (\theta_{fc} - 0,5 \cdot \theta_{WP}) \cdot Z_e \quad (24)$$

Siendo

- θ_{fc} : contenido de humedad en el suelo a capacidad de campo ($m^3 \cdot m^{-3}$)
- θ_{WP} : contenido de humedad en el punto de marchitez permanente ($m^3 \cdot m^{-3}$)
- Z_e : profundidad de la capa del suelo que es sujeta al secado a través de la evaporación (0,15 m).

Por lo tanto, para un suelo desnudo:

$$L_e = \begin{cases} 0 & \text{si } L_{e,n-1} \leq L_{0,5 \cdot \theta_{WP}} \\ K_e \cdot E_0 & \text{si } L_{AET} \geq L_{e,n-1} \geq L_{0,5 \cdot \theta_{WP}} \\ L_{e,max} = AFE & \text{si } L_{e,n-1} < AFE \end{cases} \quad (25)$$

Paso 3: Si el suelo no está saturado y no existen pérdidas de drenaje o escorrentía la lámina de agua será igual a la lámina del día anterior L_{n-1} más los aportes totales menos las pérdidas por evaporación.

$$L_n = L_{n-1} + I_n + P_n - ET_n \quad (26)$$

Paso 4: Para que exista escorrentía la lámina de agua tiene que ser superior a la capacidad máxima de retención del suelo. De otra manera, la escorrentía será nula.

$$S_n = \begin{cases} 0 & \text{si } L_n \leq L_{max} \\ L_n - L_{max} & \text{si } L_n > L_{max} \end{cases} \quad (27)$$

Paso 5: El cálculo del drenaje solo se dará cuando la lámina del día n supere la capacidad de campo.

$$D_n = \begin{cases} L_n - L_{min} & \text{si } L_n < L_{min} \\ 0 & \text{si } L_{min} < L_n < L_{fc} \\ L_n - L_{fc} & \text{si } L_{fc} < L_n < L_{max} \\ L_{max} - L_{fc} & \text{si } L_n \geq L_{max} \end{cases} \quad (28)$$

Paso 6: Contabilizándose el drenaje y la escorrentía, el contenido de agua al final del día es:

$$L_f = \begin{cases} L_{min} & \text{si } L_n \leq L_{min} \\ L_n & \text{si } L_{min} < L_n < L_{fc} \\ L_{fc} & \text{si } L_n \geq L_{fc} \end{cases} \quad (29)$$

Comentarios:

- La determinación de las láminas máximas, mínimas y capacidades de retención de agua de los suelos se calcularon a través del software “Soil Water Characteristics” utilizando los datos de las características de suelo analizadas en el laboratorio y utilizando algunos datos medidos por el proyecto GrowGreen. Se considera necesario recordar que dichas mediciones y procedimientos de laboratorio se pueden encontrar en el anexo I “Análisis de suelo”.

2.6.3. Aclaraciones

Debido al largo proceso de cálculo y su elevado número de ecuaciones se considera apropiado hacer un subapartado de aclaraciones donde se sintetice la información importante del modelo utilizado.

Para conocer la adicionalidad proporcionada por el proyecto piloto en el drenaje acumulado y en la escorrentía evitada es necesario comparar las diferentes hipótesis de intervención a lo largo de los 30 años. Esto puede hacerse debido a que el crecimiento de los árboles es un dato conocido, ya que se asume que el árbol estará bien cuidado y regado. Por lo tanto, se puede comparar cómo actuarían las futuras masas de árboles ante las lluvias del escenario 1 y 2

En definitiva, el modelo utilizado necesita tres datos principales de entrada, las lluvias netas, el riego y la evapotranspiración. Las lluvias netas han sido calculadas para cada año con el programa informático I-tree Eco que estima los crecimientos del área foliar y calcula la interceptación en función de dicha superficie de hoja. La evapotranspiración cambia en función de los cambios de densidad de la vegetación y el incremento del área cubierta por vegetación. Dichos parámetros se conocen para los años 2020, 2035 y 2050. Con la evapotranspiración y la precipitación neta se puede calcular el calendario de riegos necesario. Con todos estos parámetros se podrá ejecutar el modelo para dichos años. Conociéndose la escorrentía y el drenaje acumulados se pueden comparar las diferentes hipótesis. Además, se puede aplicar una línea tendencial entre los tres años conocidos (2020, 2035 y 2050) y así aproximar qué ocurre el resto de los años.

2.7. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL DRENAJE PRODUCIDO Y LA ESCORRENTÍA EVITADA

Tras realizar los cálculos del apartado anterior se obtienen dos resultados: la adicionalidad producida por la intervención del proyecto en cuanto al drenaje acumulado y a la escorrentía evitada a lo largo de 30 años. Estos parámetros pueden ser valorados económicamente asumiendo que el drenaje acumulado sería destinado a la recarga de acuíferos, mientras que, la escorrentía evitada sería agua que no habría llegado al sistema de alcantarillado.

Para la estimación del valor económico del agua que va a recarga de acuíferos, suponiendo que su uso principal, dada la localización del proyecto, será su extracción para el riego de los cultivos de la huerta. Es por lo tanto una estimación del valor de la productividad del recurso en ese uso. Para ello, se ha estimado el valor de la productividad del agua de riego a través del diferencial de precios de la tierra agrícola de secano y regadío en la Comunitat Valenciana. Se asume por tanto que ese diferencial de precios de la tierra se debe a la disponibilidad del agua de riego.

Tabla 5: Estimación del valor de productividad del agua de riego Fuente: Elaboración propia a partir de: *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación¹⁰. ** Plan Hidrológico del Júcar¹¹.

A. Precio tierra de regadío (€/ha)*	36.030
B. Precio tierra de regadío (€/ha)*	7.204
C. Diferencia de precios [A-B] (€/ha)	28.826
D. Consumo medio a (m ³ /ha)**	4.378
E. Valor de la productividad del agua de riego [C/D] (€/m ³)	6,58

Por lo tanto, el valor inicial del agua que va a la recarga de acuíferos como consecuencia del proyecto analizado será de 6,58 €/m³.

Se ha asumido que este valor no cambia a lo largo de la vida útil del proyecto. Esta decisión se basa en la revisión del índice de precios percibidos por los agricultores que publica el Ministerio de Agricultura¹². Según dichos datos, el precio medio percibido por los agricultores para las hortalizas (principal producción de la Huerta de Valencia), ha oscilado mínimamente en los últimos 10 años, situándose a mediados de 2018 prácticamente al mismo nivel que tenían en 2010 (a pesar de haber sufrido oscilaciones entre esos dos años).

En cuanto a la escorrentía evitada, debido a que no ha tenido que ser saneada por el sistema de alcantarillado y ese saneamiento tiene un coste, se puede considerar como un coste evitado (Aznar y Estruch, 2012). El precio de este saneamiento en Valencia, según los datos¹³ del año 2016 de la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU) se encuentra alrededor de 1(€/m³). Se asume también que este precio será constante en el tiempo, aunque presentó una subida del 28% del año 2008 al 2015, sus precios se moderaron considerablemente en 2016.

¹⁰ Datos disponibles en <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/economia/encuesta-precios-tierra/>, acceso Julio 2019.

¹¹ https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/PHC-2015-2021/PHJ1521_Anejo03_UsosyDemandas_151126.pdf, acceso Julio 2019.

¹² Datos disponibles en la página web: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/economia/precios-percibidos-pagados-salarios/precios-percibidos-por-los-agricultores-y-ganaderos/default.aspx>. Acceso Julio 2019.

¹³ Datos disponibles en la página web: <https://www.ocu.org/alimentacion/agua/informe/el-precio-del-agua#>. Acceso Julio 2019

Una vez conocidos los precios de cada año tanto para escorrentía evitada como para drenaje aumentado se aplicará el Valor Actualizado Neto (VAN) al igual que en el apartado 2.5.

2.8. OTRAS CUANTIFICACIONES REALIZADAS

En este apartado se describirán brevemente unas cuantificaciones de otros servicios ecosistémicos pero que no se valorarán económicamente. El motivo de su cuantificación ha sido su facilidad de cálculo y remarcar los beneficios que aporta el proyecto GrowGreen a la sociedad.

2.8.1. Producción de oxígeno

La producción de oxígeno es uno de los beneficios de los árboles urbanos más comúnmente citados. El oxígeno neto anual que produce un árbol está directamente relacionado con la cantidad de carbono secuestrado, el cual se calcula de acuerdo a lo descrito en el apartado 2.4. La cantidad de oxígeno producido se calcula a partir del secuestro de carbono en base a los pesos atómicos del CO₂: liberación neta de O₂ (kg/año) = secuestro neto de C (kg/año) x 32/12. Debido a que el cálculo del carbono neto anual considera las pérdidas por descomposición de árboles muertos, la producción anual neta de oxígeno del bosque urbano también lo tiene en cuenta (Guerrero, 2013).

2.8.2. Eliminación de la contaminación atmosférica

La mala calidad del aire es un problema común en muchas áreas urbanas. Puede conducir al empeoramiento de la salud humana, alterar los ecosistemas y reducir la visibilidad del paisaje. El bosque urbano puede ayudar a mejorar la calidad del aire eliminando directamente los contaminantes del aire (Pace et al., 2018).

Los cálculos de la eliminación de la contaminación del aire se derivan de los cálculos de la resistencia generada por el dosel arbóreo frente a los gases de ozono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno por hora basándose en la combinación de dos modelos de deposición de contaminantes sobre doseles arbóreos de diferentes tipos de hoja. Según Pace y colaboradores (2018) estos modelos son descritos por Baldocchi y colaboradores (1987 y 1988).

Otros gases que también son eliminados por la vegetación son el monóxido de carbono y el material particulado (PM2.5), cuyas partículas de origen antropogénico son cada vez más abundantes en la atmósfera y afectan a la salud de las personas. Debido a que la eliminación de estos gases no está directamente relacionada con la transpiración, los índices de eliminación se basan en los valores promedio los cuales son modificados según la fenología y la superficie de las hojas. La eliminación del material particulado incorpora un índice de suspensión del 50 por ciento de partículas de regreso a la atmósfera (Pace et al., 2018).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO ALMACENADO Y SECUESTRADO

En las figuras 5 y 6 se muestra para cada escenario el carbono almacenado de acuerdo con las hipótesis planteadas. Como se puede observar en dichas figuras, todas las hipótesis parten de la misma situación (año 2019-2020) y a partir de este año comienzan a aparecer ciertas oscilaciones que aumentan o disminuyen en función de hipótesis establecida. Cuando la tasa de variación de un año a otro es positiva indica que ha habido ganancias de carbono. Sin embargo, los descensos que se observan en algunos años indican la muerte de algún ejemplar que ha emitido CO₂, lo que se traduce en una pérdida de carbono retenido.

El motivo de que el escenario 2 presente menos carbono es que han muerto árboles de mayores dimensiones que han emitido más CO₂ a la atmósfera que el escenario 1. Estas muertes han sido aleatorias con las probabilidades establecidas en el apartado de cuantificación de carbono almacenado y secuestrado (2.3.), pero no es debido a falta de precipitaciones ya que se ha asumido que estos árboles serán regados por los operarios del parque.

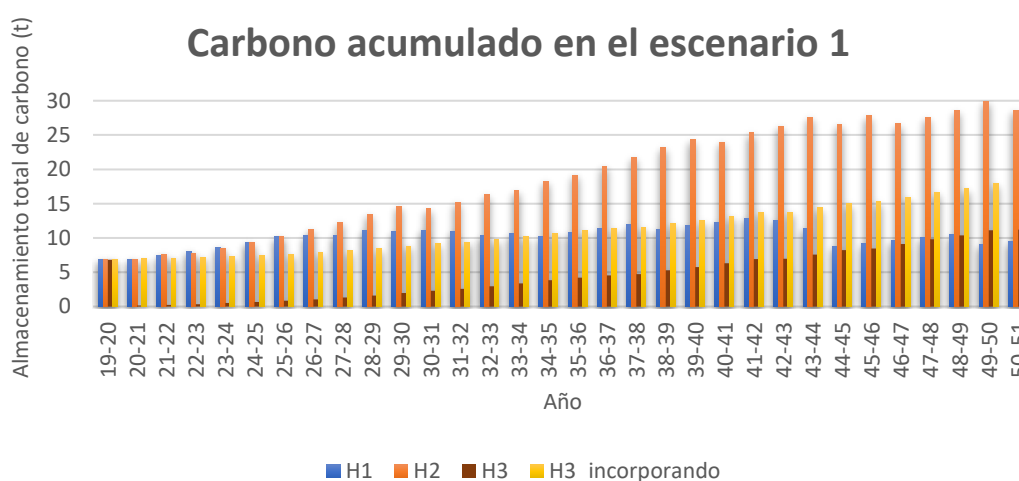


Figura 5: Carbono acumulado si las condiciones climáticas similares a las medias (escenario 1), donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.

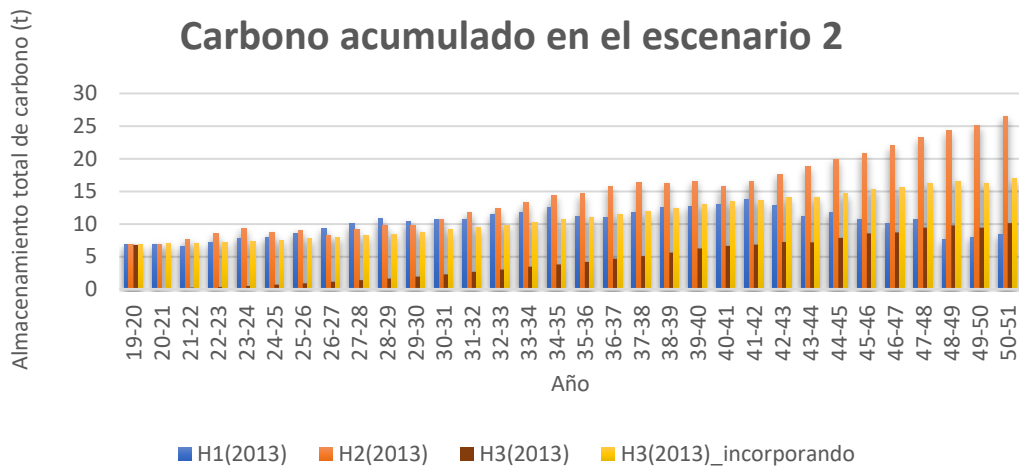


Figura 6: Carbono acumulado si las condiciones climáticas secas (escenario 2), donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.

En las figuras anteriores se puede ver cómo la H2 es la que más carbono almacena a lo largo del tiempo y H1 es la que menos. Otra cosa que se puede apreciar es que aquellas hipótesis que mantienen los olmos vivos (H1 y H2) oscilan considerablemente más que las hipótesis sin olmos (H3 y H3_incorporando). Esto es debido a que los olmos se encuentran muy debilitados, por lo que su probabilidad de morir es superior a la del resto.

En cuanto al secuestro de carbono (figuras 7 y 8), se puede ver cómo la hipótesis 3 presenta al principio una gran pérdida de carbono debido a la extracción de los olmos.

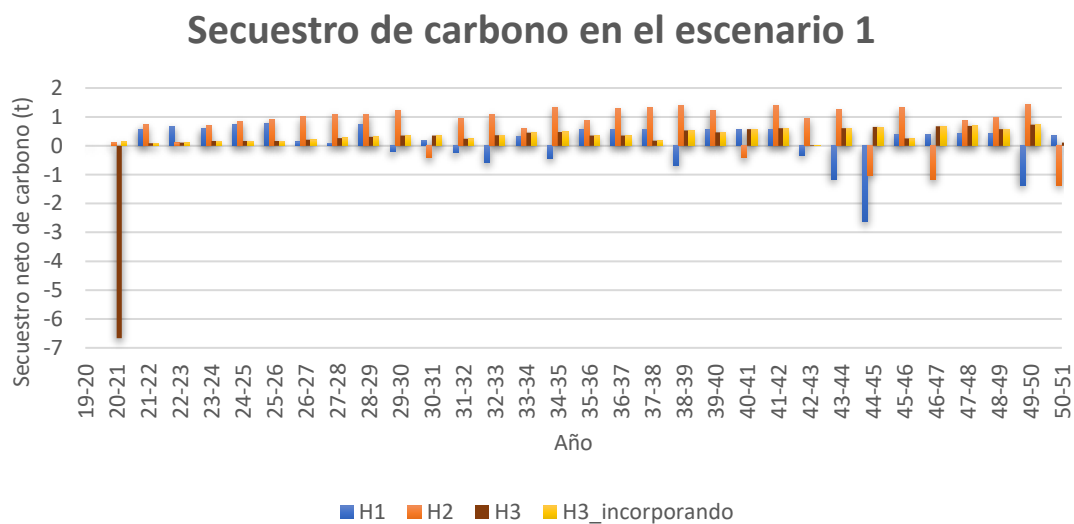


Figura 7: Carbono neto secuestrado si las condiciones climáticas son similares a las medias (escenario 1), donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.

Secuestro de carbono en el escenario 2

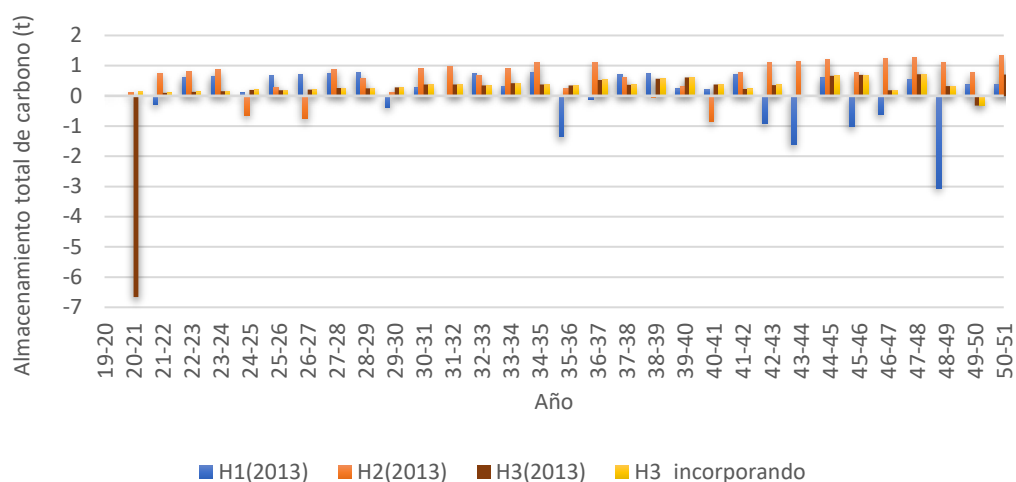


Figura 8: Carbono neto secuestrado si las condiciones climáticas secas (escenario 2), donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.

Si se realiza el sumatorio de los diferentes años se obtendrán las ganancias netas de carbono asimilado por las plantas, es decir, la variación del año 0 al 30 (tabla 6).

Tabla 6: Ganancias netas de toneladas de carbono a lo largo de los 30 años, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.

Hipótesis	H1		H2		H3		H3_Incorporando	
Escenarios	1	2	1	2	1	2	1	2
Ganancias (t C)	2,60	1,55	21,78	19,59	4,42	3,34	11,23	10,15

Sorprendentemente, las ganancias netas que se producen en la H3 son mayores que las producidas en la hipótesis H1. Es decir, si el proyecto actuara sin dejar nada de los olmos en la parcela seguiría teniendo más ganancias netas que si no interviniera. Evidentemente hay que tener en cuenta que para estos resultados no se han tenido en cuenta las emisiones producidas por la maquinaria utilizada para eliminar ni transportar los árboles.

Para calcular la cantidad de CO₂ asimilado por las plantas simplemente habría que aplicar la relación 44/12 (kg CO₂/kg C) a cada uno de los años para los que se ha calculado el carbono secuestrado neto. Finalmente, la cantidad de CO₂ asimilado por las plantas sería el que se representa en la tabla 7, oscilando según los casos contemplados entre 6 – 80 t CO₂.

Tabla 7: Ganancias netas de CO₂(t) producidas por cada hipótesis en el periodo de 30 años, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.

Hipótesis	H1		H2		H3		H3_incorporando	
Escenarios	1	2	1	2	1	2	1	2
Ganancias (t CO ₂)	9,5	5,7	79,9	71,9	16,2	12,3	41,2	37,3

Sin embargo, el objetivo de este trabajo es conocer la adicionalidad que proporcionaría el proyecto tras intervenir, por ello, es necesario conocer cuál es la diferencia entre las hipótesis de intervención con las de no intervención. Calculando la diferencia entre dichas hipótesis se obtienen las ganancias netas expresadas como toneladas de CO₂, tal y como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8: Adicionalidad producida en toneladas de CO₂ debido a la intervención en un periodo de 30 años, donde H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.

Hipótesis	H2		H3		H3_incorporando	
	1	2	1	2	1	2
Ganancias netas producidas (tnCO ₂)	70,4	66,2	6,7	6,6	31,7	31,6

En el anexo II “Resultados detallados” se encuentran los valores anuales correspondientes a cada hipótesis y escenario a partir de los cuales se han elaborado las figuras y tablas mostradas en este apartado.

3.2. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL CARBONO

El incremento de valor que produciría la intervención del proyecto se representa en la tabla 9 para cada una de las hipótesis consideradas. Este incremento de valor ha sido calculado utilizando los precios establecidos en el apartado 2.5. para las toneladas de CO₂ equivalentes retenidas cada año.

Tabla 9: Incremento en el valor actualizado neto (€) producido por las hipótesis de intervención en la parcela estudiada, donde H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela

Hipótesis	H2		H3		H3_incorporando	
	1	2	1	2	1	2
VAN mercado regulado (€)	2295	1821	157	85	886	814
VAN mercado voluntario (€)	1174	941	347	283	510	446

Estos valores serían alcanzados a los 30 años de la ejecución del proyecto, siendo la hipótesis más rentable la H2 en el escenario 1. Curiosamente para la H3, es más rentable el mercado voluntario que el regulado en ambos escenarios. Cabe destacar que este valor económico representa el interés de la sociedad en secuestrar el carbono almacenado de la atmósfera, este valor nunca llegará a ser una transacción. Debido a la extensa longitud de los resultados se ha decidido adjuntar en el anexo II “Resultados detallados” los resultados de los beneficios económicos para cada uno de los años considerados.

3.3. CUANTIFICACIÓN DE LA ESCORRENTÍA Y EL DRENAJE PARA LA REGULACIÓN DE LOS FLUJOS DEL AGUA

Los resultados del análisis de suelo de las diferentes muestras obtenidas de la parcela estudiada así como los valores de humedad volumétrica obtenidos a diferentes potenciales mátricos utilizando el modelo Soil Water Characteristics se muestran en la tabla 10.

Tabla 10: Propiedades fisicoquímicas y características hidráulicas del suelo de la parcela GrowGreen, donde Prof. Es la profundidad de la muestra, M.O. es la materia orgánica, C.E. es la conductividad eléctrica, D.A. es la densidad aparente y Prom. es el promedio.

Muestra	Prof. (cm)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	M.O. (%)	C.E. (dS/m)	D.A. (g/cm ³)	Lfc (%)	Lmin (%)	Lmax (%)
1	0-15	17,8	49,8	32,4	1,8	1,9	1,5	-	-	-
1	15-30	17,1	43,0	39,9	1,8	2,5	1,5	-	-	-
2	0-15	18,3	48,8	32,9	3,5	0,5	-	-	-	-
2	15-30	9,6	29,7	60,7	2,6	1,0	-	-	-	-
3	0-15	21,1	52,2	26,7	4,3	0,5	1,6	-	-	-
3	15-30	23,0	59,9	17,0	2,0	1,0	1,7	-	-	-
4	0-15	17,7	49,1	33,2	6,0	0,3	1,3	-	-	-
4	15-30	17,7	54,9	27,4	5,2	0,3	1,3	-	-	-
5	0-15	21,3	52,7	26,0	5,2	2,5	-	-	-	-
5	15-30	21,3	56,4	22,3	4,8	2,4	-	-	-	-
Prom.	0-30	18,5	49,7	31,9	3,7	1,3	1,5	28,9	13,6	44,1

En cuanto al suelo del parque, las características fisicoquímicas de las muestras de suelo obtenidas de zonas bajo arbolado y las humedades volumétricas de los puntos característicos de la curva de humedad calculadas con el modelo Soil Water Characteristics se pueden encontrar en la tabla 11.

Tabla 11: Propiedades fisicoquímicas y características hidráulicas del suelo bajo arbolado en el parque de Benicalap, donde Prof. Es la profundidad de la muestra, M.O. es la materia orgánica, C.E. es la conductividad eléctrica, D.A. es la densidad aparente y Prom. es el promedio. Fuente: elaboración a partir de Campo (2018).

Muestra	Prof. (cm)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	M.O. (%)	C.E. (dS/m)	D.A. (g/cm ³)	Lfc (%)	Lmin (%)	Lmax (%)
1	0-15	0,0	15,6	84,4	8,5	0,3	0,9 - 1,3	-	-	-
1	15-30	3,2	13,5	83,3	9,7	0,4	0,9 - 1,3	-	-	-
2	0-15	9,0	28,4	62,6	6,2	0,2	0,9 - 1,3	-	-	-
2	15-30	12,0	31,7	56,3	6,1	0,3	0,9 - 1,3	-	-	-
3	0-15	20,6	30,2	49,2	9,2	0,4	0,9 - 1,3	-	-	-
3	15-30	21,5	34,6	43,9	6,9	0,4	0,9 - 1,3	-	-	-
4	0-15	21,5	35,9	42,6	9,3	0,6	0,9 - 1,3	-	-	-
4	15-30	18,6	31,5	49,9	3,3	0,8	0,9 - 1,3	-	-	-
5	0-15	17,8	33,2	49,0	14,0	1,5	0,9 - 1,3	-	-	-
5	15-30	15,5	33,7	50,8	10,9	0,7	0,9 - 1,3	-	-	-
Prom.	0-30	14,0	28,8	57,2	8,4	0,5	1,1	29,0	17,8	57,6

A partir de los datos de humedad volumétrica medidos en el parque (proyecto GrowGreen) bajo arbolado (naranja amargo) se calculó la lámina de agua en el perfil, lo que permitió la calibración del modelo del balance de agua. Los resultados de la calibración del modelo se muestran en la figura 9. Con el modelo calibrado se procedió a la obtención del balance de agua en las diferentes situaciones consideradas.

CALIBRACIÓN DEL MODELO BALANCE DE AGUA

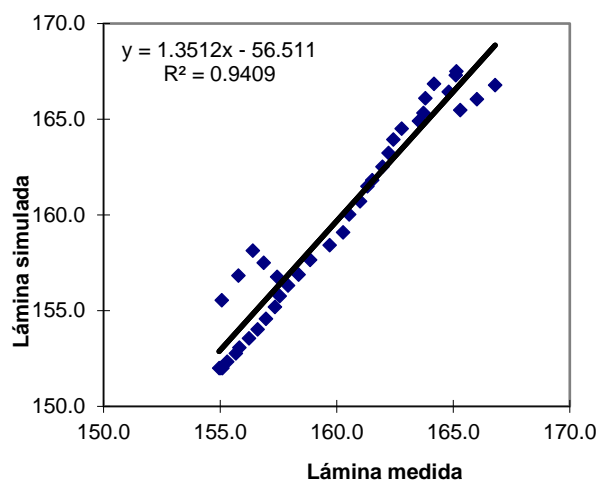


Figura 9: Relación entre las láminas de agua simuladas con el modelo de balance de agua y las láminas medidas en el parque de Benicalap.

El balance de aguas se ha dividido en varias tablas dependiendo de si se trata de un suelo desprovisto de vegetación o con vegetación. El balance en un suelo descubierto se puede encontrar en la tabla 12. El motivo de que se hayan agrupado las hipótesis 2 y 3 es porque el tipo de suelo desnudo que presentan ambas hipótesis es el mismo.

Tabla 12: Balance de agua para un suelo desnudo en la parcela GrowGreen., donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos. R=riego; Pp=precipitación; S=escorrentía; D=drenaje; E=evaporación; Lf= lámina al final del período; Li= lámina al inicio del período.

Hipótesis	Escenario	R (mm)	Pp (mm)	S (mm)	D (mm)	E (mm)	Lf (mm)	Li (mm)	Balace (mm)
H1	1	0	423	148	0	237	205	167	0
H1	2	0	124	43	0	91	156	167	0
H2 y H3	1	0	423	108	0	251	231	167	0
H2 y H3	2	0	124	32	0	103	156	167	0

En cuanto al suelo bajo cubierta arbórea, se pueden encontrar los resultados en las tablas 13, 14 y 15 para los diferentes años simulados (2020, 2035 y 2050, respectivamente). Para comprobar que el balance se ha realizado correctamente, la suma de las entradas menos las salidas tienen que ser igual a cero. Es importante destacar que el ascenso capilar Ac es el resultado de un valor negativo en el drenaje producido.

Los valores de escorrentía que se producen bajo la superficie cubierta por vegetación se encuentran entre los 142 mm y los 6 mm anuales. Los valores más altos los presenta la H1, la cual también presenta un mayor porcentaje de suelo impermeable (35%) debido al grado de compactación de suelo que presenta actualmente. Las hipótesis de intervención, en cambio, presentan un 25% de suelo impermeable.

Tabla 13: balance de agua para un suelo con vegetación en la parcela GrowGreen. Simulación para el año 2020, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos. R=riego; Pp=precipitación; Ac=ascenso capilar; S=escorrentía; D=drenaje; ETR=evapotranspiración real; Lf= lámina al final del período; Li= lámina al inicio del período.

Hipótesis	Escenario	R (mm)	Pp (mm)	Ac (mm)	S (mm)	D (mm)	ETR (mm)	Lf (mm)	Li (mm)	Balance (mm)
H1	1	0	389	66	136	0	270	215	167	0
H1	2	0	101	69	35	0	148	153	167	0
H2	1	1037	373	0	95	453	742	287	167	0
H2	2	1176	90	0	23	386	738	287	167	0
H3	1	587	387	0	99	257	503	282	167	0
H3	2	653	100	0	26	112	497	286	167	0

Tabla 14: balance de agua para un suelo con vegetación en la parcela GrowGreen. Simulación para el año 2035, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos. R=riego; Pp=precipitación; Ac=ascenso capilar; S=escorrentía; D=drenaje; ETR=evapotranspiración real; Lf= lámina al final del período; Li= lámina al inicio del período.

Hipótesis	Escenario	R (mm)	Pp (mm)	Ac (mm)	S (mm)	D (mm)	ETR (mm)	Lf (mm)	Li (mm)	Balance (mm)
H1	1	0	397	64	139	0	272	217	167	0
H1	2	0	101	69	35	0	148	153	167	0
H2	1	1157	353	0	85	509	796	287	167	0
H2	2	1305	89	0	22	458	794	287	167	0
H3	1	857	339	0	80	315	690	279	167	0
H3	2	1207	55	0	6	396	740	287	167	0

Tabla 15: balance de agua para un suelo con vegetación en la parcela GrowGreen. Simulación para el año 2050, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos. R=riego; Pp=precipitación; Ac=ascenso capilar; S=escorrentía; D=drenaje; ETR=evapotranspiración real; Lf= lámina al final del período; Li= lámina al inicio del período.

Hipótesis	Escenario	R (mm)	Pp (mm)	Ac (mm)	S (mm)	D (mm)	ETR (mm)	Lf (mm)	Li (mm)	Balance (mm)
H1	1	0	406	63	142	0	275	218	167	0
H1	2	0	115	64	40	0	151	155	167	0
H2	1	1159	349	0	83	509	796	287	167	0
H2	2	1307	87	0	21	459	794	287	167	0
H3	1	1172	311	0	65	501	796	287	167	0
H3	2	1336	55	0	6	469	795	287	167	0

Para calcular la escorrentía producida en la totalidad de la parcela estudiada es necesario conocer las superficies cubiertas por vegetación y sin vegetación, las cuales se muestran en la tabla 16 para los años 2020, 2035 y 2050.

Tabla 16: superficie cubierta y descubierta (m²) para los años 2020, 2035 y 2050, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes y H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela estudiada.

Hipótesis	Escenario	Año 2020		Año 2035		Año 2050	
		Suelo cubierto (m ²)	Suelo desnudo (m ²)	Suelo cubierto (m ²)	Suelo desnudo (m ²)	Suelo cubierto (m ²)	Suelo desnudo (m ²)
H1	1	1000	3900	1226	3674	1176	3724
H1	2	1000	3900	1245	3655	1141	3759
H2	1	2093	2807	2940	1960	3149	1751
H2	2	2093	2807	2722	2178	2946	1954
H3	1	1093	3807	1161	3739	1192	3708
H3	2	1093	3807	1157	3743	1174	3726

Conociendo el balance de agua expresado en mm (equivalente a L/m²) de los diferentes años y la superficie ocupada con vegetación y sin vegetación se puede calcular el drenaje y escorrentía, expresados en m³, producidos para los años 2020, 2035 y 2050 (figuras 10 y 11).

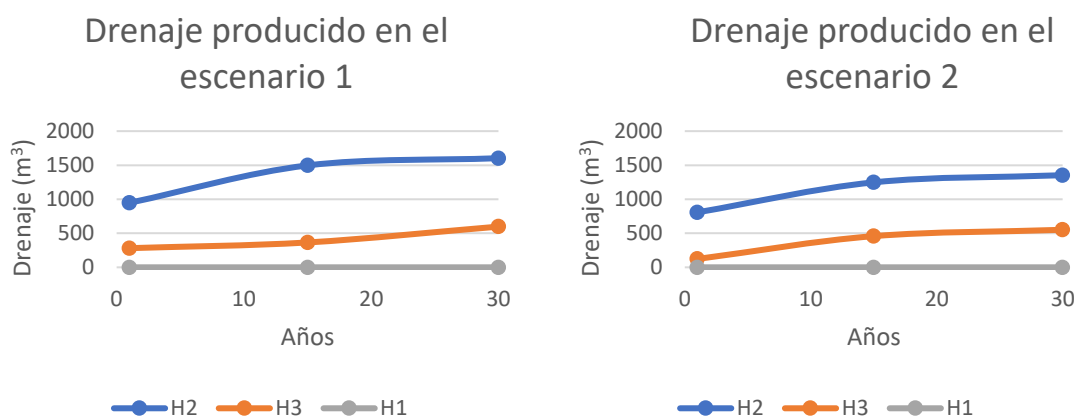


Figura 10: Drenaje producido por en el escenario 1 (izquierda) y a la derecha en el escenario 2 (derecha), donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes y H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela estudiada.

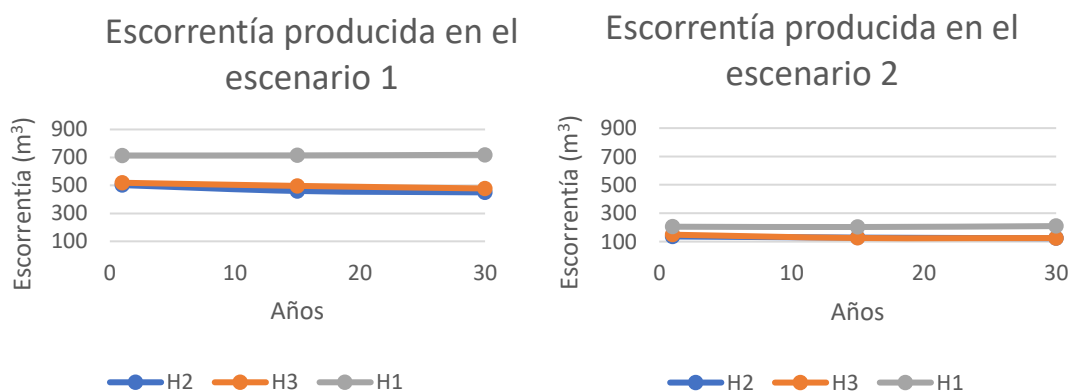


Figura 11: Escorrentía producida por en el escenario 1 (izquierda) y a la derecha en el escenario 2 (derecha), donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes y H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela estudiada.

Los valores de drenaje dependen del riego que se aplique en la zona, llegando a alcanzar los 1600 m³ para la H2 en el escenario 1. La escorrentía producida llega a su máximo en la H1 con un valor de 719 m³. Sin embargo, el objetivo de este trabajo es calcular la adicionalidad que proporciona el proyecto, por ello, es necesario conocer cuál es la diferencia entre las hipótesis de intervención con las de no intervención. Para ello, es necesario conocer la escorrentía y el drenaje producidos cada año. Estos datos podrían ser calculados asumiendo que las gráficas anteriores crecen linealmente en dos tramos (del año 0 al 15 y del 15 al 30). Los resultados obtenidos tras realizar los cálculos asumiendo dicha aproximación se presentan en las tablas 17 y 18. Los resultados correspondientes a cada uno de los años evaluados se encuentran en el anexo II “Resultados detallados”.

Tabla 17: Adicionalidad producida por las hipótesis de intervención (H2 y H3) para el drenaje acumulado a lo largo de un periodo de 30 años, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes y H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela estudiada.

Hipótesis	Escenario	Drenaje aumentado (m ³) a lo largo de 30 años
H2	1	41.627
H2	2	34.970
H3	1	12.188
H3	2	11.967

Tabla 18: Adicionalidad producida por las hipótesis de intervención (H2 y H3) para la escorrentía evitada a lo largo de un periodo de 30 años, donde H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela estudiada.

Hipótesis	Escenario	Escorrentía evitada (m ³) a lo largo de 30 años
H2	1	7.428
H2	2	2.282
H3	1	6.551
H3	2	2.219

3.4. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL DRENAJE PRODUCIDO Y LA ESCORRENTÍA EVITADA

El valor actualizado neto de la adicionalidad producida por el proyecto GrowGreen en cuanto a la recarga de acuíferos y los costes evitados por saneamiento se muestra en la tabla 19. Se observa como la H2 presenta un valor actualizado neto de recarga de acuíferos muy superior a la hipótesis de intervención con eliminación del arbolado presente. Sin embargo, la escorrentía evitada es similar en ambas hipótesis.

Tabla 19: Valor actualizado neto de la adicionalidad de los servicios proporcionado por la intervención del proyecto, donde H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes y H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela.

Hipótesis	H2		H3	
	1	2	1	2
Escenario				
VAN recarga de acuíferos (€)	174.627	146.766	50.038	47.868
VAN saneamiento evitado (€)	4.826	1.485	4.264	1.425

3.5. OTRAS CUANTIFICACIONES

3.5.1. Producción de oxígeno

Aplicando la relación molar entre oxígeno y carbono (32/12 kg O₂/kg C) a los resultados de secuestro neto de carbono por lo árboles se obtienen las ganancias de oxígeno en las diferentes hipótesis planteadas, que se muestran en la tabla 20.

Tabla 20: Ganancias netas de oxígeno (t) por las diferentes hipótesis planteadas, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la tres, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.

Hipótesis	H1		H2		H3		H3_incorporando	
Escenarios	1	2	1	2	1	2	1	2
Ganancias (t O ₂)	6,9	4,1	58,1	52,2	11,8	8,9	29,9	27,1

Sin embargo, como objetivo de este trabajo es calcular la adicionalidad que proporciona el proyecto, es necesario conocer cuál es la diferencia entre las hipótesis de intervención con las de no intervención. Dicha adicionalidad es mostrada en la tabla 21.

Tabla 21: Adicionalidad producida por las hipótesis de intervención en cuanto al oxígeno neto producido (t), donde H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes, H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos y H3_incorporando es igual que la H3, pero incorporando el carbono de los olmos eliminados en la parcela.

Hipótesis	H2		H3		H3_incorporando	
Escenarios	1	2	1	2	1	2
Ganancias netas producidas (t O ₂)	51,2	48,1	4,9	4,8	23,0	23,0

3.5.2. Eliminación de la contaminación atmosférica

La eliminación de gases contaminantes a lo largo del periodo de treinta años para el escenario 2 se representa en la figura 12.

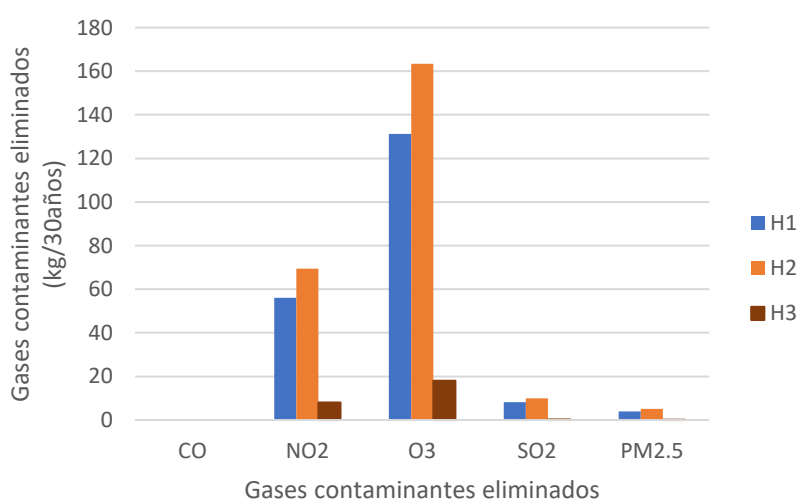


Figura 12: Eliminación de gases contaminantes en un período de 30 años para unas condiciones climáticas secas, donde H1 es la hipótesis de no intervención, H2 es la hipótesis de intervención manteniendo los olmos presentes y H3 es la hipótesis de intervención eliminando los olmos de la parcela.

La hipótesis que más contaminantes en el aire elimina es la hipótesis 2 sobre todo con el ozono. El hecho de que ninguna de las hipótesis no elimine monóxido de carbono de la atmósfera es debido a que no hay datos recopilados en la estación estudiada.

3.6. RESUMEN DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS

En este apartado se resumirán los distintos beneficios económicos evaluados anteriormente y se obtendrá resultado general que muestre los beneficios aportados por las distintas intervenciones del proyecto. Estos resultados se muestran en la tabla 22.

Tabla 22: Resumen de los servicios y beneficios proporcionados por la intervención del proyecto, donde H2_S1 y H2_S2 es la hipótesis 2 para los escenarios 1 y 2 respectivamente, H3_S1 y H3_S2 es la hipótesis 3 para los escenarios 1 y 2 respectivamente, H3in_S1 y H3in_S2 es la hipótesis 3 donde se incorporan los olmos eliminados para los escenarios 1 y 2, respectivamente.

Hipótesis/Servicio	H2_S1	H2_S2	H3_S1	H3_S2	H3in_S1	H3in_S2
CO ₂ eliminado (t)	70	66	7	7	32	32
Escorrentía evitada (m ³)	7.428	2.282	6.551	2.219	6.551	2.219
Drenaje acumulado (m ³)	41.627	34.970	12.188	11.967	12.188	11.967
Valor económico total (€)	181.188	149.632	54.554	49.477	55.000	49.923

El valor económico total ha sido calculado mediante la suma de los diferentes beneficios proporcionados por cada servicio para las diferentes hipótesis en ambos escenarios. Debido a que las toneladas de carbono presentan dos valores (mercado regulado y voluntario) se utiliza un valor promedio, el cual no genera una fuerte repercusión frente a los beneficios del drenaje acumulado que va destinado a recarga de acuíferos.

Los valores oscilan entre 49.923-181.188 € dependiendo del tipo de intervención y del escenario en el que se halle. La hipótesis que más beneficios genera es sin duda la H2, la cual conserva los olmos presentes en la parcela actual e implanta las nuevas especies. Hay que tener en cuenta que estos beneficios son proporcionados por un área de pequeña extensión (0,49 ha), lo que demuestra los diversos beneficios que proporciona una pequeña infraestructura verde en un ambiente urbano.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se hace una aproximación de la adicionalidad que producirá la intervención de un espacio catalogado como zona verde situado en Benicalap pero que en la actualidad no está utilizado como tal, y considerando un periodo de tiempo de 30 años. Realizar aproximaciones a largo plazo no es una tarea fácil, y dichas cuantificaciones se han realizado incluso antes de actuar dicho proyecto, sin estar presentes las especies vegetales que se desea incorporar. Por este motivo, las conclusiones que se obtengan de este estudio no se pueden considerar como generales, pero si permitirán reflejar la influencia de las infraestructuras verdes en las zonas urbanas. En cualquier caso, las principales conclusiones del presente TFG son las siguientes:

- En cuanto al carbono acumulado y secuestrado, la hipótesis que domina claramente es la de no eliminar los olmos presentes y plantar las especies nuevas. Por lo tanto, se puede deducir que de cara a disminuir la concentración de CO₂ en la atmósfera la solución más factible sería la de incorporar especies nuevas sin eliminar los olmos presentes en la parcela.
- Por lo que respecta a la escorrentía evitada, curiosamente la hipótesis 3 casi iguala a la hipótesis 2. Sorprendentemente, aunque los matorrales no alberguen mucho CO₂ en sus tejidos, su gran capacidad de retener agua en la superficie de sus hojas hace que sean una herramienta muy efectiva para regular los flujos de agua en el suelo.
- El aumento de drenaje depende fundamentalmente del riego que se suministre a las especies implantadas. Esto es lógico ya que los riegos en este tipo de infraestructura verde no producen escorrentía, y la totalidad del agua aportada solo puede hacer variar el drenaje, la evapotranspiración y la variación de la lámina en el perfil.
- Al igual que en el cálculo del secuestro y el almacenamiento de carbono, la hipótesis que más oxígeno produce es la hipótesis 2. Esto es lógico puesto que éste se calcula a partir del carbono secuestrado.
- Todas las hipótesis de intervención aportan una adicionalidad positiva en cuanto al almacenamiento de carbono, escorrentía evitada y drenaje acumulado destinado a recarga de acuíferos. Sin embargo, los beneficios proporcionados oscilan considerablemente dependiendo del tipo de intervención que se realice, lo que demuestra la importancia de cuantificar y valorar adecuadamente los servicios ecosistémicos para poder así predecir cuál es la decisión más apropiada de las diferentes alternativas a la hora de gestionar o diseñar un espacio verde.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Vol. 56). FAO.
- AZNAR, J., ESTRUCH, A. V. (2012). *Valoración de activos ambientales: teoría y casos*. Valencia. Editorial Universitat Politècnica de València. 246 pp.
- BALDOCCHI D.J.; HICKS, B.B.; CAMARA, P. (1987). A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. *Atmos. Environ.*, 21: 91-101.
- BALDOCCHI, D.J. (1988). A multi-layer model for estimating sulphur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy. *Atmos. Environ.*, 22: 869-884.
- CAMPO, M. (2018). *Caracterización edáfica de diferentes elementos de infraestructura verde en el distrito de Benicalap (Valencia)*. Trabajo Final de Grado. ETSIAMN. UPV.
- DEL POZO, C. (2018). Síntesis temática para la planificación y el diseño de la Infraestructura Verde Urbana: en el marco de la Estrategia Estatal de Infraestructura Verde, Conectividad y Restauración Ecológica (EEIVCRE). *Planur-e: territorio, urbanismo, paisaje, sostenibilidad y diseño urbano*. (12): 1.
- ENGLAND, N. (2013). Green infrastructure–valuation tools assessment. *Natural England Commissioned Report NECR126*.
- ESTRUCH, V., VALLS, A. (2019). An economic valuation of ecosystem services provided by the River Turia Natural Park (Valencia). *Economía Agraria y Recursos Naturales - Agricultural and Resource Economics*, 18(2): 93-115.
- FAIVRE, N., FRITZ, M., FREITAS, T., DE BOISSEZON, B., VANDEWOESTIJNE, S. (2017). Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environmental research*, 159: 509-518.
- FAO, 2019. Servicios ecosistémicos y biodiversidad, visto el 1 de julio de 2019 <<http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulating-services/es/>>
- GUERRERO, L. (2013). *Cuantificación de biomasa, carbono y producción de oxígeno de Pinus cembroides Zucc. En Mazapil, Zacatecas, México*. - Tesis Doctoral, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- HIRABAYASHI, S. (2013). *i-Tree Eco precipitation interception model descriptions*. Washington, DC: US Department of Agriculture, Forest Service and Kent, OH: Davey Tree Expert Co. Visto En julio de 2019 <[https://www.itreetools.org/eco/resources/iTree Eco Precipitation Interception Model Descriptions.pdf](https://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions.pdf)>
- LIDÓN A, RAMOS C, RODRIGO A. (1999). Comparison of drainage estimation methods in irrigated citrus orchards. *Irrig. Sci.* 19(1): 25-36.
- MARTÍN, A., ÁVILA, R., YRUELA, M.C., PLAZA, A. FERNÁNDEZ, R. (2004) *Manual de riego de jardines*. Editorial: Junta de Andalucía. Córdoba. 264pp.

MARTÍNEZ, G. (2013). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible "SUDS" como alternativa de control y regulación de las aguas lluvias en la Ciudad de Palmira*. Trabajo de Grado. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Militar Nueva Granada.

MCPHERSON, E. G., SIMPSON, J. R., PEPPER, P. J., GARDNER, S. L., VARGAS, K. E., XIAO, Q. (2007). *Northeast community tree guide: benefits, costs, and strategic planting*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-202. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station; 106 p, 202.

MCPHERSON, E. G., VAN DOORN, N. S., PEPPER, P. J. (2016). *Urban tree database and allometric equations*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-253. Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 86 p., vol. 253.

MCPHERSON, E. G., VAN DOORN, N. S., PEPPER, P. J. (2016). *Urban tree database*. Fort Collins, CO: Forest Service Research Data Archive. Visto el 4 de julio de 2019 <<https://doi.org/10.2737/RDS-2016-0005>>

GOBIERNO DE ESPAÑA, MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. *Precios medios anuales de las tierras de uso agrario*. Visto el 1 de julio del 2019. <<https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/economia/encuesta-precios-tierra/>>

GOBIERNO DE ESPAÑA, MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. *Índices y precios percibidos agrarios*. Visto el 1 de julio del 2019. <<https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/economia/precios-percibidos-pagados-salarios/precios-percibidos-por-los-agricultores-y-ganaderos/default.aspx>>

GOBIERNO DE ESPAÑA, MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA. *Confederación hidrográfica del Júcar. Anejo03_usos y demandas*. Visto el 1 de julio del 2019. <<https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/PHC-2015-2021/PHJ1521>>

NOWAK, D. J., GREENFIELD, E. J., HOEHN, R. E., LAPOINT, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental pollution*, 178: 229-236.

ORGANIZACIÓN DE CONSUMIDORES Y USUARIOS (2016). *Precio del agua: más cara en Barcelona y Murcia*. Visto el 1 de julio del 2019. <<https://www.ocu.org/alimentacion/agua/informe/>>

PACE, R., BIBER, P., PRETZSCH, H., GROTE, R. (2018). Modeling ecosystem services for park trees: sensitivity of i-tree eco simulations to light exposure and tree species classification. *Forests* 9(2): 89.

PUJOL, D. S., GÓMEZ, E. D. (2003). Modelos urbanos y consumo de agua: el riego de jardines privados en la región metropolitana de Barcelona. *Investigaciones geográficas*, 32: 5-17.

SAÑA, J., MORÉ, J., COHÍ, A. (1996) *La gestión de la fertilidad de los suelos: fundamentos para la interpretación de los análisis de suelos y la recomendación de abonado*. Editorial: Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, D.L. 1996. Pp: 277.

SEEBERG-ELVERFELDT, C. (2010). Las posibilidades de financiación del carbono para la agricultura, la actividad forestal y otros proyectos de uso de la tierra en el contexto del pequeño agricultor. *Medio ambiente y Recursos Naturales*. Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma (Italia) (FAO).

CARBON TRACKER, (2018). EU carbon prices could double by 2021 and quadruple by 2030. *Carbon Tracker Initiative*. Visto el 1 de julio de 2019 <<https://www.carbontracker.org/eu-carbon-prices-could-double-by-2021-and-quadruple-by-2030/>>

USDA FOREST SERVICE. *i-Tree Eco User's Manual*. Accessed 04/07/2019. <www.itreetools.org/resources/manuals/i-Tree%20Eco%20Users%20Manual.pdf>

USDA (2016) Soil Water Characteristics model. Visto en mayo de 2019. <<https://www.ars.usda.gov/research/software/download/?softwareid=492&modecode=80-42-05-10>>

VALDEZ, C., LUNA, R. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. Una revisión. *Revista Bio Ciencias*, 1(4):3-15.