

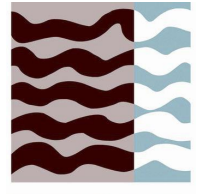


Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



UPCT

Escuela Técnica Superior de  
Ingeniería Agronómica



ETSIA

*Máster Universitario  
en Ingeniería Agronómica*

Cultivo de microgreen de rúcula en agricultura  
vertical indoor: Evaluación económica y  
medioambiental

**Autora:** Dña Cristina Varona Anta

**Dirección:** D Juan Antonio Fernández  
Hernández

**Codirección:** Dña María Dolores de Miguel  
Gómez

Cartagena, julio de 2022

## Índice

1. Introducción .....	3
2. Objetivos .....	13
2.1. Objetivos específicos .....	13
3. Materiales y métodos .....	15
3.1. Experimento para la producción de <i>microgreen</i> de rúcula en condiciones controladas .....	15
3.2. Estudio económico y proyecto de producción de <i>microgreen</i> de rúcula .....	17
3.3. Análisis del ciclo de vida de la producción de <i>microgreen</i> de rúcula .....	22
3.3.1. Definición del alcance del análisis del ciclo de vida .....	22
3.3.2. Unidad funcional .....	23
3.3.3. Análisis de inventario .....	23
3.3.4. Evaluación del impacto .....	25
4. Resultados y discusión .....	26
4.1. Experimento para la producción de <i>microgreen</i> de rúcula en condiciones controladas .....	26
4.2. Cálculo de los costes de producción de <i>microgreen</i> de rúcula .....	29
4.3. Análisis de la inversión para la producción de <i>microgreen</i> de rúcula .....	34
4.4. Análisis del ciclo de vida de la producción de <i>microgreen</i> de rúcula .....	39
5. Conclusiones .....	45
6. Bibliografía.....	48

## Índice de tablas

Tabla 1. Proporción de los diferentes sustratos empleados en la experiencia de cultivo. .....	15
Tabla 2. Fechas de recolección para cada tratamiento estudiado. ....	17
Tabla 3. Resultados de la producción de microgreen de rúcula para cada uno de los tratamientos estudiados. ....	28
Tabla 4. Parámetros seleccionados para el estudio económico y análisis del ciclo de vida derivados de la experiencia de producción de microgreen de rúcula en condiciones controladas.....	29
Tabla 5. Resumen de los costes de un proyecto de producción de microgreen de rúcula en condiciones controladas para su comercialización km 0. ....	30
Tabla 6. Cálculo del pago de la inversión .....	34
Tabla 7. Cobros y pagos del proyecto de cultivo de microgreen de rúcula.....	35
Tabla 8. Análisis de sensibilidad de la inversión de microgreen de rúcula en condiciones controladas para el tratamiento T1 (2022).....	36

## Índice de figuras

Figura 1. Cultivo de microgreen de rúcula sobre sustrato.....	4
Figura 2. Detalle de la porción comestible de los microgreen de rúcula.....	5
Figura 3. Esquema de la disposición y dimensiones de las estanterías en las cámaras de cultivo. ....	19
Figura 4. Calendario mensual de labores y días de venta. S: siembra; R: riego solo con agua. SN: riego con agua y solución nutritiva; V: día de venta. ....	21
Figura 5. Esquema resumen de lo que supone el alcance B2C. ....	23
Figura 6. Diagrama de flujo de los sistemas secundarios de la producción de microgreen de rúcula bajo condiciones controladas. ....	24
Figura 7. Porcentaje de germinación de semillas en los diferentes sustratos estudiados. ....	26
Figura 8. Peso fresco en los diferentes tratamientos de la variedad comercial de microgreen de rúcula. ....	27
Figura 9. Peso fresco en los diferentes tratamientos de la variedad local de microgreen de rúcula. ....	27
Figura 10. Detalle de los porcentajes asociados al combustible.....	31
Figura 11. Porcentajes de los costes de producción de microgreen de rúcula en condiciones controladas para los dos tratamientos seleccionados (T1 y T2).....	32
Figura 12. Árbol de decisión de la inversión de microgreen de rúcula sobre el tratamiento T1 .....	38
Figura 13. Distribución del impacto ambiental asociado a los tratamientos estudiados	40
Figura 14. Implicaciones ambientales de los sustratos utilizados para la experiencia con microgreen de rúcula .....	41
Figura 15. Comparación de la huella de carbono y su contribución por secciones en los tratamientos T1 y T2. ....	43
Figura 16. Comparación de los impactos asociados por cada una de las categorías en los tratamientos T1 y T2. ....	44

## **Resumen**

La reciente demanda de la sociedad sobre productos alimentarios con beneficios sobre la salud es evidente. Desde la pandemia de COVID-19 el auge por una alimentación más saludable ha disparado el consumo de superalimentos, como los *microgreen*. Estos pequeños micro brotes, que se pueden cultivar en un espacio reducido y con pocos recursos, tienen un corto ciclo de cultivo y unas cualidades nutricionales muy apreciadas. El presente estudio consiste en una evaluación económica y medioambiental del cultivo de *microgreen* de rúcula en agricultura vertical *indoor*, partiendo de una experiencia en cámara de cultivo. Para ello, en primer lugar, se estudia el rendimiento de dos variedades de *microgreen* de rúcula, una variedad comercial de la casa Tozer Seeds, y una variedad local denominada Accession 254, en distintos tipos de sustratos compuestos por la mezcla en diferentes proporciones de turba y compost. Los tratamientos considerados son: T1 (100% turba), T2 (75% turba, 25% compost), T3 (50% turba, 50% compost), T4 (25% turba, 75% compost) y T5 (100% compost), y corresponden a las combinaciones de las variedades con los sustratos estudiados. De los resultados obtenidos en la experiencia, se realiza un análisis de costes y de rentabilidad de la inversión del proyecto de *microgreen* para su comercialización km 0, en la modalidad de producción de agricultura vertical *indoor*. Finalmente, se realiza un análisis del ciclo de vida (ACV) del producto en el que se conoce su huella de carbono para obtener el impacto ambiental del proceso global, en un estudio “de la cuna a la tumba” usando el software SIMAPRO. Los resultados obtenidos demostraron que la variedad comercial resulta más productiva en cantidad y calidad en los tratamientos T1 y T2. Por otra parte, el rendimiento económico de ambos tratamientos resultó próximo entre sí, debido a la práctica similitud del desarrollo de los cultivos, así como a la producción obtenida en cada uno de los tratamientos. Por último, la huella de carbono generada por los dos procesos fue análoga, siendo ligeramente superior la producida por el tratamiento T1 debido al uso de la turba como sustrato único, cuyas implicaciones ambientales provocan un aumento de su impacto ambiental.

## **Abstract**

The recent societal demand for food products with health benefits is clear. Since the COVID-19 pandemic, the boom in healthier eating has boosted the consumption of superfoods, such as microgreens. Microgreens, which can be grown in a small space and with few resources, have a short growing cycle and highly valued nutritional qualities.

The present study consists of an economic and environmental evaluation of the cultivation of arugula microgreens in indoor vertical agriculture, based on an experimental study. To this end, first the performance of two varieties of arugula microgreen, a commercial variety from Tozer Seeds and a local variety called Accession 254, are studied in different types of substrates composed of the mixture in different proportions of peat and compost. The treatments considered are: T1 (100% peat); T2 (75% peat, 25% compost), T3 (50% peat, 50% compost), T4 (25% peat, 75% compost), T5 (100% compost) and correspond to the combinations of the varieties with the substrates studied. From the results obtained in the experience, a cost and sensitivity analysis of the microgreen project for its commercialization km 0 is carried out, considering an indoor vertical agriculture production project. Finally, a life cycle assessment (LCA) of the product's carbon footprint is carried out to obtain the environmental impact of the overall process, in a "cradle to grave" study thanks to the use of SIMAPRO software. The results obtained showed that the commercial variety is more productive in terms of quantity and quality in treatments T1 and T2. The economic performance of both treatments was close each other, due to the practical similarity of crop development, as well as the production obtained in each of the treatments. Finally, the carbon footprint generated by the two processes was similar, with a slightly higher carbon footprint produced by T1 treatment due to the use of peat as the sole substrate, the environmental implications of which lead to an increase in its environmental impact.

## 1. Introducción

En los últimos años, el interés por el consumo de alimentos frescos y con propiedades saludables ha ido en aumento. La creciente preocupación de los consumidores por dietas que favorezcan la salud y el consumo de alimentos mínimamente procesados, así como el auge de la cocina de autor ha impulsado el desarrollo de nuevos productos como son los *microgreen*. “Los *microgreen* se pueden considerar el resultado de la última evolución del concepto de vegetales” (Di Gioia & Santamaria, 2015).

“Los *microgreen* o micro-hortalizas son plántulas comestibles jóvenes y tiernas, producidas a partir de semillas de varias especies de plantas hortícolas, herbáceas, aromáticas y silvestres” (Di Gioia & Santamaria, 2015). Su ciclo de cultivo es muy corto, pues pueden ser recolectadas de 7 a 21 días desde la germinación, cuando los cotiledones están completamente extendidos y se han formado las primeras hojas verdaderas (Xiao et al., 2012). La recolección se realiza mediante un pequeño corte en la base de las plántulas cuando alcanzan entre 3 y 9 cm de altura, según la especie.

Las porciones comestibles son: el tallo, los cotiledones y las primeras hojas verdaderas en fase inicial. Debido a la naturaleza de la parte comestible de los *microgreen*, y aunque pueden encontrarse cortadas, poseen la ventaja de poder ser comercializadas antes de recolectarlas, incluso con el sustrato de cultivo (Figura 1), para que sea el consumidor el que realice el corte justo antes de su utilización, lo que confiere al producto una experiencia de consumo diferencial. Los *microgreen* poseen una vida útil limitada, al igual que ocurre con los productos *baby leaf*, es por esto que la producción local o kilómetro 0 es una de las estrategias de producción más adecuadas para este tipo de productos (Shibaeva et al., 2022).



Figura 1. Cultivo de *microgreen* de rúcula sobre sustrato

A pesar de su pequeño tamaño, los *microgreen* pueden ofrecer una variada gama de sabores intensos, colores brillantes y buena consistencia, por lo que son ingredientes muy apreciados en la alta cocina (Xiao et al., 2012). Además de estos aspectos organolépticos destacables, estos productos son interesantes ya que poseen un alto contenido en nutrientes y compuestos bioactivos, lo que aumenta su valor nutricional (Kyriacou et al., 2016).

Así, algunos estudios han demostrado que los *microgreen* contienen mayores cantidades de fitonutrientes como: el ácido ascórbico (vitamina C, un antioxidante que ayuda a la cicatrización de las heridas y potencia la absorción del hierro contenido en los alimentos, por lo que es beneficioso para el sistema inmunológico); betacarotenos (aporta la vitamina A, cuyo efecto antioxidante y antiinflamatorio protege nuestras células, es el nutriente que pigmenta la piel y filtra los rayos ultravioleta, protegiéndola de las quemaduras solares); alfa tocoferol (vitamina E, que permite el buen funcionamiento de los músculos y nervios, evita la formación de coágulos en la sangre y ayuda a fortalecer el sistema inmunológico) y filoquinona (vitamina K, su ausencia puede generar hematomas y frecuentes sangrado, debido la lentitud de coagulación de la sangre, debilita la fuerza de los huesos y puede provocar la osteoporosis) al igual que minerales, como: calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, selenio y molibdeno (Bello & López de Cerain, 2001). También se ha determinado que los *microgreen* poseen menores contenidos de nitratos que las hojas maduras de las especies estudiadas (Kyriacou et al., 2016). Todas estas características de los *microgreen* los posicionan como alimentos funcionales o “superalimentos”.



Las especies más utilizadas para la producción de *microgreen* pertenecen a las familias *Brassicaceae*, *Asteraceae*, *Chenopodiaceae*, *Lamiaceae*, *Apiaceae*, *Amarillydaceae* y *Cucurbitaceae*. Sin embargo, el contenido de compuestos bioactivos es mayor en especies de sabor acre, como ocurre en las brassicas (Di Gioia & Santamaria, 2015).

Este estudio se ha centrado en la producción de *microgreen* de rúcula (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa*). La rúcula pertenece a la familia *Brassicaceae* y es una hierba anual. Es originaria de la zona mediterránea, donde es ampliamente cultivada, aunque se puede encontrar en otros lugares del mundo. Tanto sus hojas como sus germinados son muy apreciados y utilizados para su consumo en crudo, sobre todo en la preparación de ensaladas. Esta especie es muy interesante para la producción de *microgreen* debido a su corto ciclo de producción, rápida germinación y sus buenos atributos sensoriales, que hacen que sea una especie muy apreciada por el consumidor (Sharma et al., 2022).

Los *microgreen* de rúcula son de pequeño tamaño (de 4 a 5 cm de altura) y se caracterizan por tener un tallo muy fino, cotiledones en forma de corazón y un color verde oscuro (Figura 2), a diferencia de las hojas maduras que son de forma alargada y con margen crinado. “El sabor de la rúcula *microgreen* es generalmente menos intenso que el de la rúcula en estadio de *baby leaf*” (Di Gioia & Santamaria, 2015).



Figura 2. Detalle de la porción comestible de los *microgreen* de rúcula

Como resultado a los estudios nutricionales sobre especies de *microgreen*, se obtuvo que una plántula de rúcula de 9 días posee 3,05 veces más de ácido ascórbico, 5,36 veces más de beta carotenos y 1,45 veces más de filoquinona que las hojas maduras de la misma planta (Xiao et al., 2012).

Las condiciones específicas de crecimiento para la producción de *microgreen* de rúcula consisten en una mezcla orgánica de sustrato para cultivos sin suelo y luz artificial. La cosecha bajo estas condiciones puede darse en unos 10 a 15 días desde la siembra (Berba & Uchanski, 2012).

A menudo se utilizan sistemas de producción en los que el suelo es reemplazado por un sustrato o medio líquido, con una solución nutritiva que contiene los elementos necesarios para su crecimiento y desarrollo para producir *microgreen*. “La producción de *microgreen* puede tener lugar en diferentes ambientes y ser realizada tanto a nivel comercial como a nivel no profesional o doméstico” (Di Gioia & Santamaria, 2015).

La producción, generalmente, se lleva a cabo en invernadero y utilizando sistemas de cultivo sin suelo que pueden agruparse en 3 clases: cultivo en recipientes, cultivo en bancadas o canaletas y cultivo en bandejas flotantes.

El cultivo en recipientes se lleva a cabo en bandejas que generalmente son de material plástico, con un tamaño variable. La parte inferior de las bandejas debe estar perforada para facilitar el drenaje del agua en exceso. Las bandejas se colocan sobre mesas de cultivo que poseen un sistema de drenaje. El agua y la solución nutritiva suelen aplicarse mediante riego por aspersión, pero también es posible realizar el riego mediante subirrigación. Este tipo de cultivo en pequeñas bandejas permite la comercialización del producto con el sustrato, evitando el corte y recolección antes de la venta, y aumentando con ello la vida útil y calidad del producto.

Otro sistema de cultivo de *microgreen* es en bancadas o canaletas de diferentes materiales, en cuyo interior se coloca el sustrato. Las bancadas o canaletas deben tener una ligera pendiente para facilitar el deslizamiento de agua y solución nutritiva a lo largo de la bancada. El riego se realiza mediante aspersión o por subirrigación. Para la recolección en esta modalidad de cultivo, los *microgreen* deben ser cortados en la base de las plántulas una vez han alcanzado el crecimiento óptimo. Tras el corte, el producto debe ser lavado y secado, y por lo general suele ser empaquetado y comercializado como un producto de IV gama, listo para su consumo.

El sistema de cultivo mediante bandejas flotantes es el menos usual para el cultivo de *microgreen*. Para la producción se utilizan bandejas de poliestireno expandido que flotan sobre la solución nutritiva en las mesas de cultivo.

En los últimos años y gracias al desarrollo de las lámparas LED de bajo consumo, se han desarrollado sistemas para el cultivo *indoor* muy avanzados e intensivos, en los cuales las canaletas o las bandejas se colocan en varios niveles, unos encima de otros, en sistemas de cultivo conocidos como “multicapas”. De este modo, “se producen los *microgreen* en ausencia de luz natural, integrando o reemplazando totalmente la radiación solar con un sistema de iluminación formado por lámparas” (Di Gioia & Santamaria, 2015). Este tipo de proceso productivo es muy interesante, puesto que estudios recientes han determinado que, dado que los factores ambientales pueden controlarse por completo, la agricultura vertical tiene la capacidad de lograr una eficiencia del uso de la luz superior a los cultivos al aire libre, siendo en los cultivos verticales 5 veces superior (Jin et al., 2022).

Estos productos se erigen como una alternativa agrícola y empresarial muy interesante debido a las características nutricionales y organolépticas, así como a los procesos de producción de los *microgreen*, y a las características del mercado agroalimentario, que en los últimos años ha experimentado una tendencia a los nuevos cultivos y un acercamiento a la Agricultura Urbana (AU).

Estudios recientes estiman que en 2050 el 80% de los alimentos del mundo serán consumidos en ciudades, por lo que una de las tendencias más acusadas consiste en la producción cercana a los centros urbanos, es decir, lo que denominamos producción de kilómetro 0 (Paraschivu et al., 2021).

Además de esto, se espera que el mercado global de los *microgreen* crezca anualmente un 7.6%, alcanzando los 17.039 millones de dólares americanos (US\$) en 2025 (Paraschivu et al., 2021).

Los *microgreen* se pueden clasificar según los siguientes criterios:

- Según la variedad vegetal podemos encontrar: brócoli, lechuga, escarola, rúcula, albahaca, hinojo, rábano, etc.
- Según el tipo de producción: producción *indoor*, invernaderos, cultivos verticales, en recipientes, en bancadas, en bandejas.
- Según el medio de cultivo: en suelo, en celulosa, en fibra de coco, turba, y otros medios de cultivo que suponen la mezcla de diferentes sustratos.

- Según su uso final: para alimentación y bebidas, para cosméticos, etc.
- Según su canal de distribución: canal de restauración, hipermercados, supermercados.
- Según su lugar de procedencia: Norteamérica, Europa, Asia, Suramérica, África.

La posibilidad de producir mediante cultivos hidropónicos, *indoor* y cultivos verticales, junto con los bajos requerimientos de agua, suelos e inputs, y los cortos períodos de producción, parecen alentar a los agricultores a producir *microgreen* a gran escala (Paraschivu et al., 2021).

En 2020 el mercado de los *microgreen* aumentó, siendo muy importante en Estados Unidos, Canadá, Asia y Australia, alentado sobre todo por el incremento de la demanda de estos micro brotes por parte de chefs y de la industria cosmética, tendiendo, por tanto, a convertirse en un mercado cada vez más competitivo a nivel global (Paraschivu et al., 2021).

La pandemia de COVID-19 ha acelerado la tendencia de consumo de los *microgreen*, puesto que ha impulsado a los consumidores a adquirir alimentos ricos en antioxidantes y otras sustancias beneficiosas para la salud, con el fin de fortalecer su sistema inmune. Además, frente a una interrupción de las cadenas de suministro y cambios significativos en los hábitos de compra debido al efecto de la pandemia, la posibilidad de un cultivo de kilómetro 0 como son los *microgreen*, se alza como una alternativa muy atractiva (Ebert, 2022).

Teniendo en cuenta esto, y con la previsión de la ONU de que la población mundial alcance los 9,7 billones de personas en el año 2050, la posibilidad de que todas las personas tengan acceso a alimentos seguros, nutritivos y saludables, hace que esta situación se considere como un reto cada vez mayor. Se estima que en el año 2050 la producción de alimentos debe incrementarse a niveles de más de un 50% de la producción de 2012, para poder hacer frente a la demanda (García et al., 2020).

Sin embargo, no podemos dar la espalda al medio ambiente en este ambicioso reto de aumentar la producción de los alimentos y acercar su producción a los núcleos urbanos. El desarrollo sostenible del sector agroalimentario es una condición que se debe cumplir para asegurar el bienestar de la población, así como la conservación de los recursos

naturales. La protección del medio ambiente y el uso racional de los recursos en términos de producción alimentaria, se encuentran entre los problemas más urgentes e importantes de la actualidad para alcanzar un desarrollo sostenible (Salavor, 2022).

El sector agroalimentario es uno de los principales consumidores de recursos del mundo, siendo la agricultura responsable de más del 80% de la huella hidrológica (Rodríguez et al., 2009). La producción de alimentos no solo tiene un alto impacto en el consumo de agua, sino también en el consumo de energía, ocupación del territorio, pérdida de biodiversidad, además de la contaminación atmosférica, del suelo, o de masas de agua debido a los productos y procesos utilizados para desarrollar y producir los alimentos que finalmente consumimos.

Además, la horticultura intensiva que utiliza la turba como elemento principal en los sustratos tiene un importante impacto sobre las emisiones de efecto invernadero, especialmente durante su extracción y transformación (Fryda et al., 2018), un aspecto importante en la huella de carbono de la agricultura.

Este impacto ambiental viene derivado del hecho de que las turberas son grandes sumideros de carbono, se estima que la turba contiene un tercio del carbono almacenado en los suelos de todo el mundo (Boldrin et al., 2010). Es por ello por lo que la explotación de las turberas genera un impacto ambiental, ya que la extracción de turba altera el ciclo natural del carbono en estos ecosistemas. Debido al descenso del nivel freático por el drenaje provocado por la extracción, se incrementa la profundidad de la capa aeróbica y genera un aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. Además, la eliminación de la cubierta vegetal en áreas convertidas para la producción de turba genera un cese de la acumulación de restos vegetales, y, con ello, disminuye también el secuestro de CO<sub>2</sub>.

En este sentido, y con el objetivo de reducir el impacto ambiental de las actividades agrícolas sobre el medio natural, la Unión Europea definió en 2019 la estrategia “de la granja a la mesa” (Comisión Europea, 2019; Haller, 2021) que se centra en cinco objetivos concretos que engloban los retos a cumplir por el sector agroalimentario, para alcanzar una producción sostenible. Estos objetivos son:

- Reducir la huella ambiental y climática
- Reforzar la resiliencia

- Preservar la biodiversidad
- Asegurar la seguridad alimentaria en cantidad y calidad nutricional
- Buscar la sostenibilidad competitiva aprovechando las oportunidades

Para poder alcanzar estos objetivos, es necesario estudiar los impactos que generan los productos. Y para poder cuantificar estos impactos, se utilizan los indicadores de sostenibilidad ambiental. Estos indicadores, son instrumentos que sirven para evaluar el efecto de los procesos productivos sobre el medio ambiente. “Los indicadores más importantes son: la huella ambiental, huella ecológica, huella de carbono y huella hídrica” (Sardi & Cattaneo, 2013).

*La huella de carbono*, indicador en el que se basa el presente trabajo, evalúa el impacto de una organización, individuo, producto o evento sobre el planeta como consecuencia de su actividad. Se define como el recuento total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos, expresados en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> eq).

Por tanto, para conocer el impacto ambiental de los productos, procesos o servicios y poder compararlos entre sí, es necesario aplicar una metodología que aporte la información acerca de todos estos indicadores ambientales.

El análisis del ciclo de vida es un procedimiento que se utiliza para conocer cómo afecta al medio ambiente un producto, proceso o servicio, y de este modo, poder determinar sus puntos críticos. Esta información sirve, por un lado, para determinar los puntos clave y minimizar su impacto sobre el medio ambiente, pero también para comparar varias opciones a la hora de la toma de decisiones. Es un método que analiza desde la adquisición de las materias primas, hasta la gestión del residuo generado por el producto o proceso, así como todas las fases intermedias. Se trata de una técnica mediante la cual se realiza un inventario de entradas (inputs) y salidas (outputs) del sistema, en la que se evalúan los impactos asociados a estas entradas y salidas y, posteriormente, se interpretan los resultados.

La elaboración de un análisis del ciclo de vida se estructura en cuatro fases, según la norma UNE-EN ISO 14040 (Organización Internacional de Normalización, 2006a):

- Fase 1: ámbito y definición de objetivos. Es el primer paso para la realización del análisis del ciclo de vida, y consiste en definir y describir la actividad, el proceso o el producto de forma detallada. Además, se definen los límites del sistema, es decir, hasta qué punto o con qué profundidad se va a realizar el estudio, fijando por tanto el contexto de este.
- Fase 2: análisis de inventario. En esta fase, se identifican y cuantifican las entradas y salidas del sistema, es decir, la energía, agua, materias primas, etc., necesarias para llevar a cabo el proceso.
- Fase 3: evaluación del impacto. Una vez conocida toda la información, se evalúan los resultados del análisis del inventario. Es preciso establecer los métodos de cálculo, así como los indicadores ambientales que se van a utilizar para obtener las conclusiones.
- Fase 4: interpretación. Esta fase consiste en tomar los resultados de la evaluación e interpretarlos, pudiendo así establecer las posibles consecuencias que van a tener tanto para el medio ambiente como para los seres humanos dicho proceso, producto o servicio que estamos estudiando.

Podemos comprobar, según señala la Organización Internacional de Normalización (2006), que la aplicación de un estudio de análisis del ciclo de vida es muy interesante a nivel empresarial, por diferentes razones:

- Permite identificar oportunidades para mejorar los aspectos ambientales de los productos en las distintas etapas del ciclo de vida. Esto es muy importante desde el punto de vista económico, ya que frecuentemente una mejora de los aspectos ambientales en los puntos críticos va a suponer una disminución de costes productivos, y por tanto un mayor beneficio empresarial.
- Aporta una información global acerca del producto o proceso final, de modo que permite una mejor toma de decisiones. El trazado de la estrategia o políticas empresariales, así como la implantación de medidas gubernamentales que fomenten la preservación del medio ambiente necesitan de esta información para poder establecer las pautas a seguir.

- Es una herramienta de marketing de gran impacto. El conocimiento por parte de los consumidores del impacto que generan los productos es importante a nivel social, sobre todo en un momento en el que el ciudadano demanda una mayor protección del medio ambiente. El conocimiento de los datos, de los impactos que generamos con nuestros hábitos de consumo y en nuestro día a día, es una importante herramienta de concienciación y de educación social y ambiental.

La información obtenida en el análisis del ciclo de vida es, por tanto, una herramienta valiosa a la hora de desarrollar modelos empresariales en la actualidad, basados en los principios de sostenibilidad y economía circular. “Se calcula que el 80% de los impactos medioambientales de los productos se determinan en la fase de diseño, provocando que muchos de ellos no puedan reutilizarse, repararse o reciclarse fácilmente, además de que en muchos casos están concebidos para un solo uso” (García, 2022).

La economía circular puede definirse como un sistema regenerativo en el que la entrada de recursos y el desperdicio, las emisiones y las fugas de energía se minimizan al ralentizar, cerrar y estrechar los ciclos de materiales y energía (Rufí-Salís et al., 2020). Es un hecho, por tanto, que la implementación de la economía circular se está convirtiendo, cada vez más, en un requisito fundamental, que debe lograrse durante el diseño del producto (Spreafico, 2022).

Con el fin de pasar de una economía lineal a una economía circular, la Estrategia Española de Economía Circular, denominada “España Circular 2030”, establece las bases para impulsar un nuevo modelo productivo y de consumo, en el que el valor de los productos, materiales y recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, reduciendo al máximo la generación de residuos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022).

Queda claro que tener en cuenta la economía circular y diseñar los procesos y productos en base a ella es beneficioso para el tejido empresarial, puesto que ofrece oportunidades de negocio tanto dentro como fuera de la Unión Europea (García, 2022).



## 2. Objetivos

El proyecto consiste el estudio de la producción de *microgreen* (micro brotes) de rúcula, de dos variedades diferentes: una variedad comercial y una variedad local, en diferentes sustratos, en cámaras de cultivo, para su comercialización en restauración en un sistema de km 0.

La producción de cada una de las dos variedades se realizará en dos tipos de sustratos diferentes, turba y compost, mezclados en diferentes proporciones. De las opciones estudiadas, se seleccionarán las dos que mejor respondan a los diferentes tratamientos.

Seguidamente, se estudiarán los aspectos económicos de estas dos opciones de producción. Para determinar la rentabilidad de esta actividad, se tomarán los datos de los consumos y producciones obtenidas en laboratorio, y escalando estos datos, se realizará un análisis de rentabilidad y viabilidad del proceso, proyectando una producción de *microgreen* de rúcula a mayor escala.

Posteriormente, se realizará el análisis de ciclo de vida del producto, conociendo el impacto medioambiental (huella de carbono) que se genera de la obtención del producto, bajo la premisa de producción y consumo local de productos alimentarios.

### 2.1. Objetivos específicos

Los objetivos específicos este trabajo son los siguientes:

- Estudio de la productividad de cada una de las dos variedades de rúcula seleccionadas para la producción de *microgreen*, en los sustratos seleccionados y determinación de las dos combinaciones variedad-sustrato que mejor resultado obtengan para la producción de *microgreen* de rúcula en condiciones controladas. Para ello se llevará a cabo una experiencia de producción en cámara de cultivo.
- Estudio económico y análisis de rentabilidad y viabilidad de un proyecto de producción en vertical de *microgreen* de rúcula en cámara de cultivo, para su comercialización km 0 en el municipio de Cartagena. De los datos obtenidos en

la experiencia de producción, se dimensionará un proyecto a mayor escala para conocer su rentabilidad y viabilidad.

- Realización del análisis del ciclo de vida y evaluación del impacto ambiental atribuible a la producción y consumo de las dos opciones de producción de *microgreen* de rúcula seleccionadas. Teniendo en cuenta las dimensiones del proyecto propuesto, se estudiará el impacto ambiental de cada caso.

### 3. Materiales y métodos

A continuación, se describen los materiales y métodos utilizados en cada una de las fases del presente trabajo.

#### 3.1. Experimento para la producción de *microgreen* de rúcula en condiciones controladas

Para conocer los rendimientos del cultivo, la proporción de los diferentes sustratos y la combinación variedad-sustrato ideal para la producción de *microgreen* de rúcula, se realizó una experiencia de cultivo *indoor*, con 3 repeticiones por cada tratamiento. El método de producción seleccionado consiste en una producción mediante bandejas.

Los materiales utilizados para la realización de esta experiencia fueron:

- Semillas de rúcula (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa*):
  - Rúcula variedad comercial de la casa Tozer Seeds.
  - Rúcula de la variedad Accesion 254, proveniente del banco de germoplasma de la Universidad Politécnica de Cartagena.
- Sustratos:
  - Compost, resultado de combinar residuos de tomate (residuos de elaboración del gazpacho de la empresa Alvalle) y viñado.
  - Turba rubia de tipo Sphagnum.

Las proporciones en las que se utilizaron los diferentes sustratos en la experiencia se definen a continuación (Tabla 1):

Tabla 1. Proporción de los diferentes sustratos empleados en la experiencia de cultivo.

	T1	T2	T3	T4	T5
Turba (Tur)	100%	75%	50%	25%	0%
Compost (Com)	0%	25%	50%	75%	100%

Fuente: elaboración propia

- Agua de riego.

- Solución nutritiva comercial “Vegetator”.
- 5 bandejas negras grandes, de dimensiones 57x36x8 cm como base para cada uno de los tratamientos. Estas bandejas sirven para la recogida de los drenajes procedentes de las bandejitas pequeñas, las cuales se sitúan en su interior, y contienen el cultivo de *microgreen*. En cada bandeja grande se introducen 6 bandejitas pequeñas.
- 30 bandejitas negras pequeñas, de dimensiones 17x12x4,5 cm como base para cada una de las repeticiones. En cada una de estas bandejas se adiciona el sustrato utilizado y las semillas de rúcula, de modo que sirven de soporte para el cultivo.
- Luminarias, con las que se determinó un fotoperiodo de 12/12 y una DLI de 7 mol/día:
  - 6 luminarias blancas, con un consumo de 14 W/h.
  - 6 luminarias rojas, con un consumo de 15 W/h.
- Una estantería de dimensiones 1 x 0.60 x 2.10 m (largo x ancho x altura), con 4 baldas para la colocación de las bandejas, y sobre la cual se establece el montaje de las luminarias para que éstas reciban la luz de forma directa.
- Equipo de refrigeración, para mantener la temperatura de la sala de cultivo a 20°C.

Para la experiencia de rendimiento de *microgreen*, el primer paso fue la germinación de las semillas. En cada una de las bandejas pequeñas, se añadió una cantidad suficiente de sustrato para cubrir las semillas totalmente, realizando 3 repeticiones. En total, se utilizaron 1700 g de compost y 1700 g de turba.

Se añadieron en cada una de las bandejas pequeñas 50 semillas por bandeja para cada uno de los tratamientos, utilizando un total de 750 semillas de la variedad comercial y 750 semillas de la variedad local.

La fecha de siembra fue el 01/03/2022. Los riegos se realizaron cada 3 días de manera manual, con un consumo total al final del proceso de 17,15 L (10 L de agua y 7,15 de solución nutritiva).

Para hallar el porcentaje de germinación, se llevó a cabo un conteo diario de semillas germinadas durante 7 días (desde la fecha de siembra, 01/03/2022 hasta el 07/03/2022).

La recolección se realizó cuando los *microgreen* habían desarrollado dos hojas verdaderas. Las fechas de recolección de la producción obtenida se detallan a continuación (Tabla 2):

Tabla 2. Fechas de recolección para cada tratamiento estudiado.

T1		T2		T3		T4		T5	
V. comercial	V. local	V. comercial	V. local	V. comercial	V. local	V. comercial	V. local	V. comercial	V. local
15/03	18/03	15/03	21/03	15/03	25/03	21/03	25/03	25/03	25/03

Fuente: elaboración propia

### 3.2. Estudio económico y proyecto de producción de *microgreen* de rúcula

Teniendo en cuenta la experiencia llevada a cabo y los datos obtenidos, se procede al estudio económico realizado en base a un proyecto de producción de *microgreen* de rúcula en condiciones controladas para su comercialización en proximidad, es decir, una comercialización “km 0”.

El estudio económico, así como el dimensionamiento del proyecto, se ha llevado a cabo con los datos obtenidos para la variedad comercial de rúcula tanto en el tratamiento T1 en el que el sustrato está compuesto por un 100% de turba, y el T2 en el que el sustrato utilizado es una mezcla de turba al 75% y compost al 25%.

A continuación, se detallan algunas de las consideraciones que se han tenido en cuenta para el estudio económico del proyecto:

#### *Acerca del cultivo:*

- El análisis económico del proyecto se ha realizado a partir de los datos experimentales el laboratorio, ampliándose el número de cámaras, estanterías y estantes para escalar el proyecto y estudiar una posible producción real de *microgreen* de rúcula. Se han considerado 3 cámaras de cultivo y 4 estanterías con 6 baldas útiles en cada una de las cámaras, con un espacio entre baldas de 30 cm.

- Se ha proyectado la producción de *microgreen* de rúcula en cámaras de cultivo ya existentes en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agrónoma, situadas en el sótano del edificio principal. Se ha contemplado su adecuación para el desarrollo del cultivo, mediante la instalación de panel sándwich para el aislamiento de la cámara.
- Puesto que el ciclo de cultivo obtenido en los tratamientos seleccionados (T1 y T2) es de 15 días, se asume que en 1 mes es posible obtener dos cosechas de *microgreen* de rúcula por cada bandejita utilizada en la producción. Esto hace un total de producción de 1728 bandejitas de *microgreen* de rúcula al mes.
- Para la recogida de los drenajes de las bandejas pequeñas se utilizan unas bandejas de plástico más grandes, utilizando un total de 144 bandejas grandes. Se ha estimado una vida útil de estas bandejas de 5 años.
- Tal y como se realizó en la prueba experimental, se ha considerado que en cada bandejita se siembran 50 semillas de rúcula.
- En el caso del tratamiento T1, y teniendo en cuenta que se han considerado 2 cosechas al mes por cada una de las bandejitas de cultivo utilizadas, las necesidades de turba ascienden a 19035,65 L. En el caso del tratamiento T2, las necesidades son de 14276,74 L anuales. La diferencia de necesidades reside en que en el tratamiento T2, además de turba se utiliza compost. Las necesidades anuales de compost para el tratamiento T2 son de 4758,91 L anuales.
- El compost utilizado está compuesto por una mezcla de restos de tomate de la elaboración del gazpacho procedente de la empresa *Alvalle* situada en Alcantarilla, así como de restos de viñedo. Se ha considerado, puesto que se desconocía la procedencia, que los restos de viñedo utilizados para la elaboración del compost son procedentes de la Estación Experimental Tomás Ferro. El compost utilizado tiene una proporción de 54% de restos de viñedo y un 46% de restos de tomate. Ambos productos, al ser desechos de otros procesos, no generan un coste para el proyecto.

- Para el desarrollo del cultivo, y en base a los consumos generados en la parte experimental, se han determinado unas necesidades anuales de 6,91 m<sup>3</sup> de agua para riego, y 2073,6 L al año de solución nutritiva comercial “Vegetator”.
- Con el fin de reducir residuos y reutilizar materiales, se prevé recoger de los puntos de venta las bandejas despachadas cada semana. Se ha estimado que cada una de las bandejas se puede reutilizar una media de 3 veces (3 cosechas). Teniendo en cuenta la reutilización de las bandejas, y considerando un 20% más de las necesidades en caso de deterioro o pérdida de estas, se prevé un consumo anual de 8294 bandejas de cultivo.

*Acerca de las instalaciones:*

- Las tres cámaras de cultivo poseen unas dimensiones de 2,80 m de largo, 1,60 m de ancho y 2,40 m de altura, recubiertas con panel sándwich.
- En el interior de cada cámara se sitúan 4 estanterías metálicas fabricadas en acero, con unas dimensiones de 2 m de altura, 0,80 m de ancho y 0,60 m de fondo con 7 niveles, haciendo un total de 6 baldas útiles para el cultivo. Las estanterías se disponen en forma de L para optimizar el espacio existente en las cámaras de cultivo sin comprometer la operatividad (Figura 3).

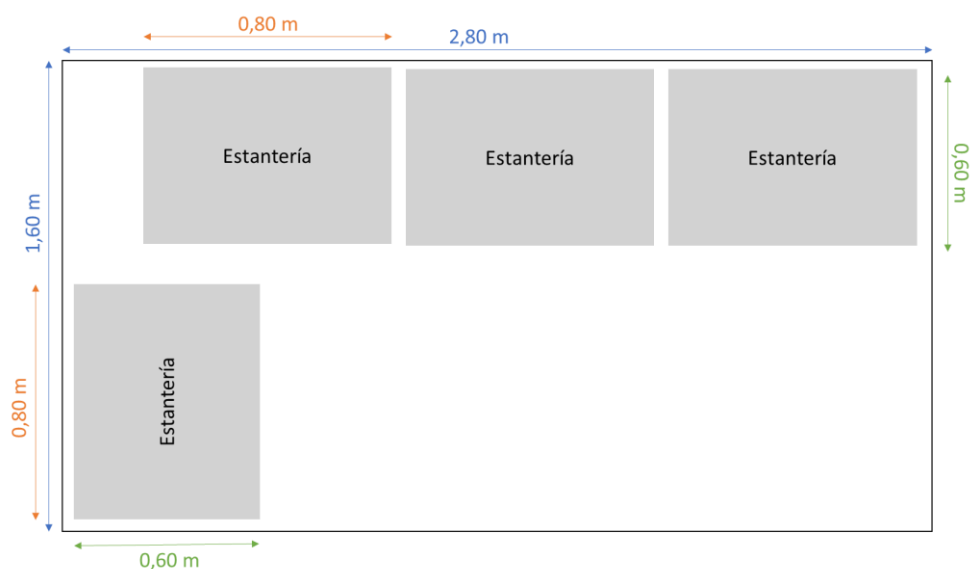


Figura 3. Esquema de la disposición y dimensiones de las estanterías en las cámaras de cultivo.

- Cada una de las cámaras de cultivo posee la capacidad para albergar 288 bandejas de cultivo de *microgreen* repartidas a partes iguales entre las 4 estanterías.
- En la parte superior de cada estante se instalan 2 luminarias blancas y 2 luminarias rojas, las cuales trabajan durante un período de 12 h al día. En total son necesarias 144 luminarias blancas y 144 luminarias rojas. La vida útil estimada de las luminarias son 5 años.
- Es necesario un equipo de refrigeración en cada una de las cámaras para mantener la temperatura de la cámara de cultivo estable a 20°C, por lo que se ha considerado la instalación de tres equipos de la marca *Zanotti* modelo ADB212EA12XX con refrigerante R134a.
- Se ha estimado, en base a los consumos y períodos de utilización de los equipos utilizados en la parte experimental, un consumo energético anual derivado del uso de la refrigeración, así como de la iluminación necesaria para la producción de rúcula es de 25754,4 kW.

*Acerca de la comercialización:*

- La comercialización del producto se realiza en bandeja, es decir, el producto se comercializa en el soporte de cultivo (bandeja pequeña), incluyendo el sustrato en el que se realiza el cultivo. Esto presenta una ventaja a la hora de la comercialización, facilita el almacenamiento del producto en el destino, el cual puede prolongar su vida útil hasta los 14 días en refrigeración, además de ofrecer la ventaja de que su consumo puede ser recién cosechado, lo que supone un valor añadido sobre el producto.
- El destino de la producción, puesto que se pretende que sea un consumo de proximidad, se ha situado en el restaurante del Sercotel Alfonso XIII, situado en el paseo Alfonso XIII de Cartagena; el restaurante Magoga, situado en la Plaza Dr. Vicente García Marcos; el restaurante La Posada de los Habaneros, situado en Calle San Diego, y el restaurante Grupo Casa Tomás, situado en Calle del Parque.
- La comercialización se prevé una vez a la semana. Se ha seleccionado el jueves como día de reparto de la producción, al ser un día cercano al fin de semana,



momento de mayor importancia en el sector de la restauración. Cada jueves se comercializan 432 bandejas de *microgreen* de rúcula, 108 para cada uno de los cuatro restaurantes mencionados anteriormente. A pesar de que al comercializarlo sobre las bandejas de cultivo poseen una vida útil más larga, se supone que se consumen en 7 días ya que su frescura y calidad es superior en este periodo.

- Para la comercialización del producto, se ha considerado el uso de una furgoneta de la marca Fiat que utiliza diésel como combustible, y genera unas emisiones de 116 gr CO<sub>2</sub>/km. Este vehículo se emplea también en el transporte de restos de viñedo y tomate utilizados para el compost en el tratamiento T2.

El calendario de labores y comercialización del producto se presenta a continuación (Figura 4).

Semana 1							Semana 2							Semana 3							Semana 4											
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D					
			S	R			R			SN				SN			V															
										S	R			R			SN				SN			V								
																	S	R			R			SN								
SN				V																												
							R			SN																						

Agricultura, Pesca y Alimentación (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2021). También se han considerado los seguros sociales de los trabajadores.

- Se han tenido en cuenta otros servicios para el desarrollo del proyecto como son: servicio de limpieza de las cámaras, seguro de multirriesgo empresarial, así como servicios de asesoría fiscal, contable y laboral.
- Se han considerado unas pérdidas en el transporte de un 5%.

### 3.3. Análisis del ciclo de vida de la producción de *microgreen* de rúcula

Para la realización del análisis del ciclo de vida, se siguió lo indicado en la norma internacional ISO 14040:2006 (principios y marco de referencia) y 14044:2006 (Organización Internacional de Normalización, 2006b) (requisitos y directrices).

Las cifras utilizadas provienen del dimensionamiento del proyecto para el análisis económico de la producción de *microgreen* de rúcula en condiciones controladas.

Los datos se analizaron utilizando el software SIMAPRO 9.3.0.3, y las bases de datos Ecoinvent 3 (Wernet et al., 2016) y Agri-footprint 5 (van Paassen et al., 2019).

En cuanto al estudio realizado en SIMAPRO, se han priorizado los datos de impactos asociados a España (ES), seguido de los asociados a Europa (RER), y, por último, los datos globales (GLO). También se han relacionado los impactos de todos los elementos intervinientes al proceso específico de producción de *microgreen* de rúcula (APOS S).

#### 3.3.1. Definición del alcance del análisis del ciclo de vida

En un análisis del ciclo de vida, el alcance hace referencia a qué tipo de procesos y materiales relacionados con el producto se han incluido en el cálculo. En este sentido, el alcance del estudio seleccionado para este producto es “de la cuna a la tumba” (*cradle-to-grave* o *business to consumer*, comúnmente denominado como *B2C*) (Figura 5).

Este tipo de alcance incluye los procesos ligados tanto a la parte de producción y extracción de materias primas, como a la elaboración del producto y a la fase de uso y reutilización o reciclado.

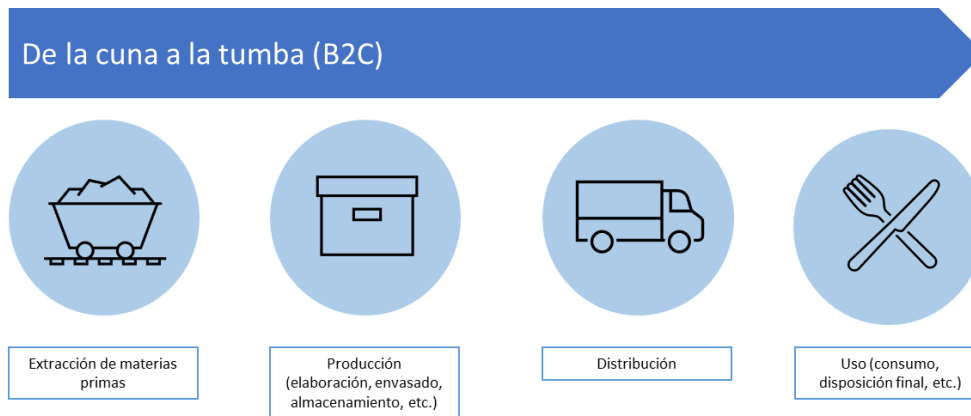


Figura 5. Esquema resumen de lo que supone el alcance B2C.

Como se ha indicado anteriormente, el objetivo del proyecto es analizar la producción de *microgreen* de rúcula para un consumo kilómetro cero, es decir, para un consumo local. La cámara de cultivo o zona de producción se sitúa en el edificio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de la Universidad Politécnica de Cartagena y la producción obtenida va dirigida a los restaurantes cercanos, tal y como se ha comentado anteriormente.

### 3.3.2. Unidad funcional

La unidad funcional (UF) se define como la principal función del sistema a analizar (Organización Internacional de Normalización, 2006a).

Por tanto, y como el producto final son los *microgreen* de rúcula, la unidad funcional del sistema se fija en 1 kg de *microgreen* de rúcula.

### 3.3.3. Análisis de inventario

Para poder analizar de manera más sencilla el sistema, se determinan los siguientes sistemas dentro del sistema principal:

- Estructura. Se ha tenido en cuenta el material necesario para la adecuación de la cámara de cultivo y para la estructura necesaria para la producción en bandejas en vertical (estanterías).
- Consumo eléctrico. Se tiene en cuenta el consumo eléctrico necesario para llevar a cabo el cultivo, tanto el consumo de las luminarias como el de los equipos de refrigeración.

- Elementos productivos del cultivo. Se incluyen tanto las semillas, la turba, el compost, así como el agua y fertilizante, y las prácticas de siembra, fertilización y riegos.
- Elementos auxiliares del cultivo. Compuesto por el material necesario para la elaboración de las bandejas de recogida de drenajes, así como las bandejitas de cultivo.
- Sistema climático. Hace referencia a los equipos de refrigeración y a la recarga de refrigerante de los equipos.
- Transporte. Se ha tenido en cuenta tanto el vehículo utilizado para realizar las entregas de producto, como el combustible empleado.
- Residuos. Se considera la gestión de todos los residuos generados tras el consumo del producto, considerando como residuo los restos de sustrato que no se reutilizan, así como las bandejitas de cultivo que han agotado su vida útil.

Una vez definidos los subsistemas, se realiza el diagrama de flujo del proceso de producción de *microgreen* de rúcula en condiciones controladas se muestra a continuación (Figura 6):

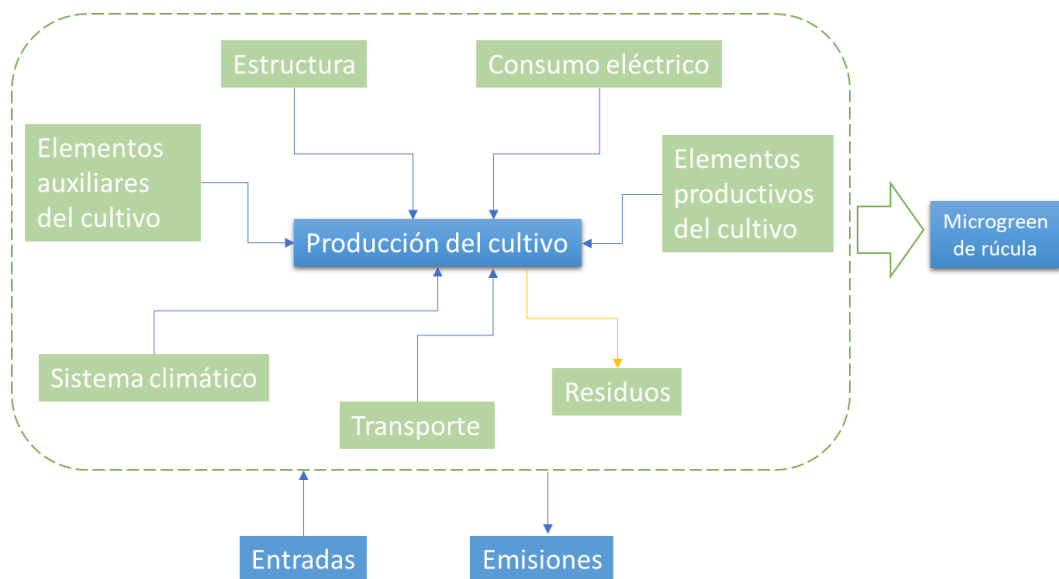


Figura 6. Diagrama de flujo de los sistemas secundarios de la producción de *microgreen* de rúcula bajo condiciones controladas.

En este caso, no se han tenido en cuenta los posibles impactos ambientales derivados de los drenajes de los cultivos (contaminación de aguas, suelos, etc.), ya que éstos se recogen en las bandejas grandes con el objetivo de ser reutilizados en otro proyecto.

#### 3.3.4. Evaluación del impacto

El método de cálculo utilizado para este estudio ha sido el método IPCC 2021 GTP100 (Allan et al., 2021).

Para analizar el impacto sobre el medio ambiente de este producto, se ha utilizado el indicador huella de carbono en kg de CO<sub>2</sub> equivalente por kg de *microgreen* de rúcula producido.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Experimento para la producción de *microgreen* de rúcula en condiciones controladas

De la experiencia de cultivo en cámara, se obtuvieron los siguientes resultados:

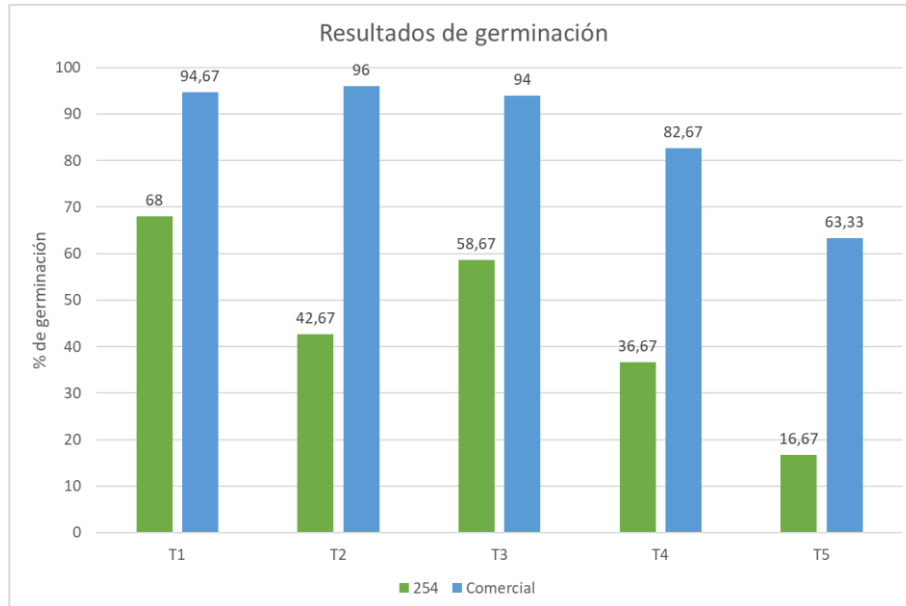


Figura 7. Porcentaje de germinación de semillas en los diferentes sustratos estudiados.

Según los datos obtenidos en el proceso de germinación, se puede comprobar (Figura 7) que la variedad de rúcula comercial tiene un porcentaje de germinación evidentemente mayor que la variedad local, destacando los tratamientos T1, T2 y T3. El poder de germinación es uno de los parámetros de calidad asociados a las semillas, y podemos comprobar que en la variedad comercial este es superior que el de la variedad local.

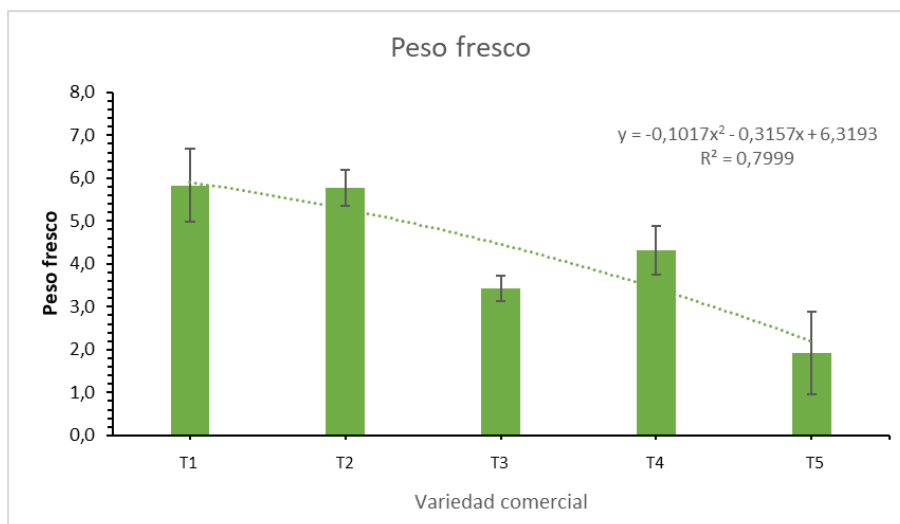


Figura 8. Peso fresco en los diferentes tratamientos de la variedad comercial de microgreen de rúcula.

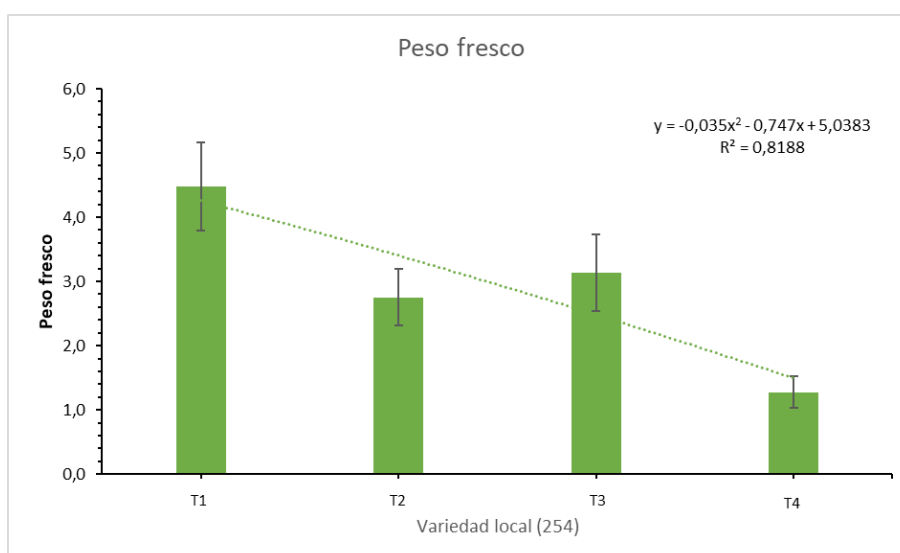


Figura 9. Peso fresco en los diferentes tratamientos de la variedad local de microgreen de rúcula.

En ambas variedades, se puede ver que T1 determinó un mayor peso fresco (Figura 8 y Figura 9), de lo que se puede deducir un mayor crecimiento y desarrollo de los *microgreen* de rúcula, obteniendo un mayor rendimiento y, por consiguiente, una producción mayor que en el resto de los tratamientos estudiados. En el caso de la variedad local, no fue posible estudiar el peso fresco de T5 debido a la insuficiente producción.

Si se comparan ambas variedades, la variedad comercial presenta un porcentaje superior de peso fresco que la variedad local en todos los tratamientos, destacando los tratamientos T1 y T2.

Tabla 3. Resultados de la producción de *microgreen* de rúcula para cada uno de los tratamientos estudiados.

	T1	T1	T2	T2	T3	T3	T4	T4	T5	T5
	V. comercial	V. local	V. comercial	V. local	V. comercial	V. local	V. comercial	V. local	V. comercial	V. local
Duración ciclo (días)	15	18	15	21	15	25	21	25	25	25
Producción (g)	17,49	13,42	17,31	8,26	10,27	9,4	12,96	3,18	5,78	0,58

Fuente: elaboración propia

Si se tiene en cuenta la producción final de *microgreen* de rúcula (Tabla 3), los tratamientos que mejor producción obtuvieron fueron los tratamientos T1, T2 y T3 con la variedad comercial de rúcula, ya que la producción de los tratamientos T4 y T5 resultó insuficiente y más retardada en el tiempo. Esto puede deberse a su escaso porcentaje de germinación en las primeras etapas del cultivo.

Considerando, por tanto, los tratamientos T1, T2 y T3, se puede observar que la variedad más productiva es la variedad comercial, puesto que la producción obtenida es mayor y en un ciclo productivo menor.

En cuanto a sustratos, se observa que la cantidad de producción de los tratamientos T1 y T2 son los más satisfactorios en comparación con el tratamiento T3.

Tras conocer todos los datos anteriormente presentados, se seleccionan los siguientes parámetros para proceder al estudio económico y análisis del ciclo de vida (Tabla 4):



Tabla 4. Parámetros seleccionados para el estudio económico y análisis del ciclo de vida derivados de la experiencia de producción de microgreen de rúcula en condiciones controladas.

Parámetro	Descripción
Variedad	Rúcula comercial
Sustrato	T1 (100% Turba / 0% Compost)
	T2 (75% Turba / 25% Compost)
Tiempo de cultivo (días)	15
Agua (L)	1
Solución nutritiva (L)	0,300
Semillas (n° semillas/bandejita)	50
Producción total de microgreen (g)	T1: 17,49
	T2: 17,31

Fuente: elaboración propia

#### 4.2. Cálculo de los costes de producción de *microgreen* de rúcula

El estudio económico se ha realizado en base al proyecto de producción de *microgreen* de rúcula en condiciones controladas, es decir, con los tratamientos T1 y T2 de la variedad de rúcula comercial. Para la obtención de los costes de producción se ha seguido el modelo del esquema de presupuesto empresarial, en el que los costes totales se consideran integrados por los costes variables, los costes fijos y los costes de oportunidad. La suma de los tres componentes fija el umbral de beneficio (Caballero et al., 2004).

Los costes asociados al proyecto de producción de *microgreen* de rúcula en condiciones controladas para su comercialización km 0 para cada uno de los tratamientos estudiados se presenta a continuación (Tabla 5):

Tabla 5. Resumen de los costes de un proyecto de producción de microgreen de rúcula en condiciones controladas para su comercialización km 0.

	Cultivo en turba (T1)		Cultivo Turba + Compost (T2)	
	Kg/año		Kg/año	
<b>PRODUCCIÓN</b>	362,67		358,94	
Perdidas en transporte (5%)	18,13		17,947	
Total	344,54		340,993	
Concepto	Importe(€/explot)	%	Importe (€/explot)	%
<b>1.- COSTES VARIABLES</b>				
1.1 Semillas	47,69	0,081	47,69	0,081
1.2 Agua	2,28	0,004	2,28	0,004
1.3 Fertilizantes	2073,60	3,501	2073,60	3,538
1.4 Sustrato o Turba	2935,57	4,956	2201,68	3,757
1.5 Energía	4962,85	8,378	4962,85	8,469
1.6 Bandejas pequeñas	1642,29	2,773	1642,29	2,802
1.7 Combustible	54,25	0,092	158,17	0,270
1.8 Operaciones de Cultivo	25344,00	42,787	25344,00	43,247
1.9 Limpieza	5184,00	8,752	5184,00	8,846
<b>Total de Costes Variables</b>	<b>42246,53</b>	<b>71,322</b>	<b>41616,56</b>	<b>71,014</b>
<b>2.- COSTES FIJOS</b>				
2.1 Amortizaciones	1438,58	2,429	1438,58	2,455
2.2 Mantenimiento	83,23	0,141	83,23	0,142
2.3 Renting de la Furgoneta	3905,88	6,594	3905,88	6,665
2.4 Seguros, asesoría, e impuestos	10977,86	18,533	10977,86	18,733
<b>Total de Costes Fijos</b>	<b>16405,54</b>	<b>27,696</b>	<b>16405,54</b>	<b>27,994</b>
<b>COSTES TOTALES SIN CO (1+2)</b>	<b>58652,07</b>	<b>99,018</b>	<b>58022,10</b>	<b>99,009</b>
<b>3. COSTES DE OPORTUNIDAD</b>				
3.1 Interés del capital circulante	40,51	0,068	39,91	0,068
3.2 Interés de los capitales fijos	541,03	0,913	541,03	0,923
<b>Total de costes de oportunidad</b>	<b>581,54</b>	<b>0,982</b>	<b>580,93</b>	<b>0,991</b>
<b>COSTES TOTALES (1+2+3)</b>	<b>59233,60</b>	<b>100,000</b>	<b>58603,03</b>	<b>100,000</b>
<b>Umbral de rentabilidad de la Ganancia</b>	<b>170,23</b>	<b>€/kg</b>	<b>170,16</b>	<b>€/kg</b>
<b>Umbral de rentabilidad del Beneficio</b>	<b>171,92</b>	<b>€/kg</b>	<b>171,86</b>	<b>€/kg</b>

Fuente: elaboración propia

Se puede comprobar que los costes asociados a cada una de las alternativas distan poco entre sí, obteniendo un umbral de rentabilidad de la ganancia y un umbral de rentabilidad del beneficio similares. Esto se debe a la pequeña diferencia de productividad

de cada uno de los tratamientos considerados, así como a la similitud de operaciones y prácticas necesarias para el desarrollo del cultivo con cada uno de los tratamientos estudiados.

Las pequeñas diferencias que se encuentran en los costes vienen dadas por la ligera diferencia productiva de cada uno de los tratamientos estudiados. Por un lado, se puede apreciar que las diferencias más notables en los porcentajes de costes de los tratamientos radican en el importe asociado a los sustratos, ya que el tratamiento T2 al utilizar un 25% de compost para la producción, genera un menor coste debido a la menor adquisición de turba. Por otro lado, el coste asociado al combustible es menor en el caso del tratamiento T1, ya que se ha considerado que en el tratamiento T2 es necesario desplazarse para recoger los materiales necesarios para el compost. El siguiente gráfico (Figura 10) representa la comparación de los porcentajes de costes asociados al combustible en cada caso:

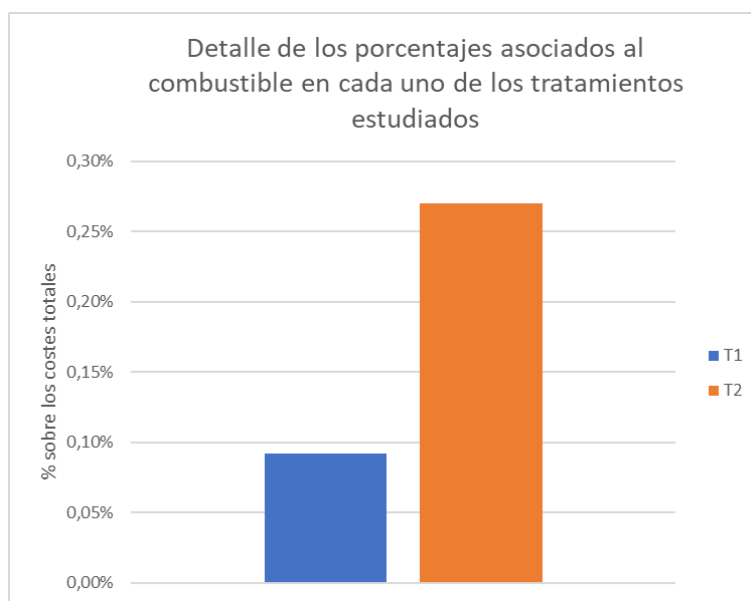


Figura 10. Detalle de los porcentajes asociados al combustible

El ahorro de costes que se ve reflejado en el tratamiento T2 debido a la diferencia en los sustratos, se ve compensado más tarde por el coste derivado del uso del combustible. Ya que el resto de los elementos del cultivo, tanto instalaciones como insumos, son los mismos para ambos tratamientos, las diferencias resultantes entre T1 y T2 son mínimas.

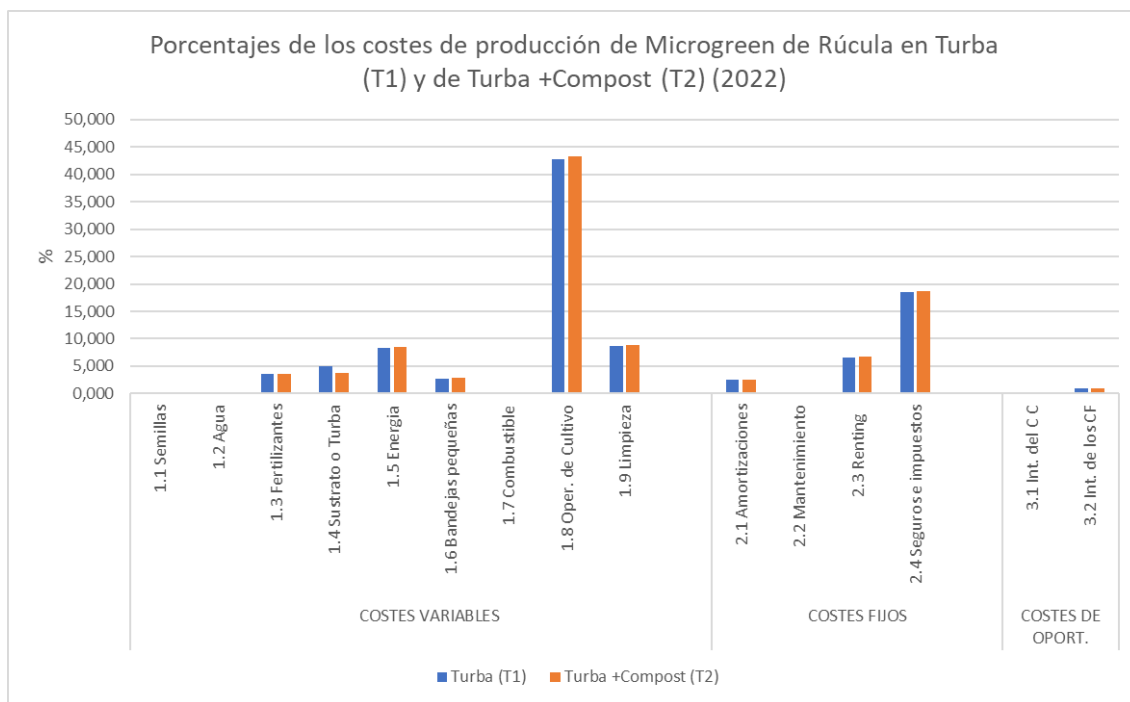


Figura 11. Porcentajes de los costes de producción de microgreen de rúcula en condiciones controladas para los dos tratamientos seleccionados (T1 y T2).

Teniendo en cuenta los costes variables obtenidos en ambos tratamientos (Figura 11), es apreciable que el mayor porcentaje de los costes de producción es el destinado a las operaciones de cultivo, es decir, a los empleados. Si bien no es un cultivo el cual precise de demasiadas operaciones culturales, es cierto que el riego manual por aspersión, así como la siembra y germinación de las semillas, la retirada de los drenajes, la recogida de los materiales utilizados para la preparación del compost o el despacho de la mercancía hasta los puntos de venta son elementos claves para el desarrollo del proyecto y de su operativa.

Se puede comprobar que el servicio de limpieza posee cierta importancia en los costes, ya que es un aspecto clave a la hora del desarrollo del proyecto. Debido a que se trata de un producto alimentario al que no se aplican fitosanitarios, es importante mantener una limpieza estricta en las instalaciones. La ESSA (European Sprouted Seeds Association, 2016) en su guía de Directrices de higiene para la producción de semillas y germinación, establece que los productores de brotes (o en este caso, micro brotes), deben contar con un plan de limpieza para garantizar la limpieza periódica de todas las zonas pertinentes de las instalaciones. Este aspecto es vital para la producción de los *microgreen* de forma segura.

Otro de los aspectos a tener en cuenta es la energía. Puesto que se trata de un producto el cual utiliza energía para la refrigeración, así como luz artificial, es notable el porcentaje que adquiere la energía en los costes de producción.

En relación con el coste de los fertilizantes, así como el derivado de la adquisición de las bandejas pequeñas de cultivo poseen un bajo porcentaje. A pesar de la reutilización de las bandejas de cultivo, se ha considerado que poseen una vida útil de únicamente 3 usos, por lo que la adquisición de estas bandejas a lo largo del año es recurrente. En el caso del fertilizante, y a pesar de que la cantidad de solución nutritiva no es muy elevada, su precio es superior al del resto de los insumos utilizados, lo que genera que tenga una mayor repercusión sobre los costes finales.

En cuanto al sustrato, como se ha señalado anteriormente, el porcentaje sobre el tratamiento T1 es superior, ya que se utiliza un 100% de turba, mientras que en el tratamiento T2 se utiliza un 75% de turba y un 25% de compost. El coste derivado de la adquisición de la turba es, por tanto, en el tratamiento T2 inferior al ser necesaria una menor cantidad para llevar a cabo el cultivo. En cuanto al compost, como se indicaba anteriormente, es procedente de restos de tomate de la elaboración de gazpacho de la empresa Alvalle, así como restos de viñedo de la Estación Experimental Tomás Ferro. Al tratarse de residuos de otros procesos, no generan coste para el proyecto.

Por otro lado, tanto el coste derivado de las semillas, del agua de riego como del combustible, es muy bajo. La baja densidad de siembra de semillas, la poca cantidad de agua a causa del corto ciclo de cultivo de los *microgreen* y la comercialización del producto en establecimientos km 0 hacen que estos aspectos generen unos porcentajes de costes mínimos.

En el caso de los costes fijos, y derivado del coste de los trabajadores, los seguros sociales generan un alto porcentaje sobre el total. Además, como se indicaba anteriormente, se ha considerado un seguro de multirriesgo empresarial, muy recomendable dado la pequeña dimensión del proyecto, puesto que ofrece coberturas sobre fallos en las instalaciones, daños en mercancías, etc. Este seguro empresarial varía su coste dependiendo de la producción y del sector, por lo que al ser los *microgreen* un cultivo “gourmet” se incrementa su precio.

Otro de los aspectos importantes de los costes fijos es el renting de la furgoneta prevista para el despacho de la mercancía (Alonso & Serrano, 2008). A pesar de que los kilómetros anuales realizados para la comercialización de los *microgreen* son escasos debido a la comercialización km 0 proyectada, se ha considerado que la utilización de un vehículo para el transporte de los *microgreen* supone el método más adecuado para la comercialización de este producto tan delicado.

Tanto las amortizaciones como el mantenimiento de las instalaciones generan unos bajos costes fijos.

#### 4.3. Análisis de la inversión para la producción de *microgreen* de rúcula

Debido a la similitud de los resultados de ambos tratamientos, para el análisis de viabilidad y rentabilidad del proyecto se ha elegido solo la opción del cultivo de *microgreen* de rúcula en sustrato, variedad comercial (T1), el cual genera un umbral de rentabilidad ligeramente superior, definiendo previamente los parámetros que caracterizan a esta inversión y que se detallan brevemente a continuación (Romero, 1998; Suárez, 2014):

- El pago de la inversión ( $K_0$ ), como las unidades monetarias necesarias para poner en funcionamiento la actividad productiva, compuesto por: estantería, bandejas grandes, equipo de refrigeración, luminarias blancas y rojas y panel sándwich. Los importes quedan recogidos en la siguiente tabla (Tabla 6):

Tabla 6. Cálculo del pago de la inversión

Elementos de la inversión	Importe total (€)	Vida útil (años)	Valor residual (10%) (€)	Momento de reposición (años)	Valor al final del proyecto (€)
	21641,04				14312,90
Estanterías	1258,56	20	125,86	-	125,86
Bandejas	792,00	5	79,20	5,10,15	79,20
Equipo de refrigeración	15186,00	18	1518,60	-	13667,4
Luminarias blancas	799,20	5	79,92	5,10,15	79,92
Luminarias rojas	1288,80	5	128,88	5,10,15	128,88
Panel sándwich	2316,48	20	231,65	-	231,65

Fuente: elaboración propia

El parámetro vida de la inversión se ha considerado en función de los elementos que mayor vida tienen y que integran el pago de la inversión, por lo que la inversión está comprometida durante unos 20 años.

Los cobros y pagos esperados en los que se incurren durante la vida asignada a este proyecto configuran los llamados flujos de caja que se reflejan en la siguiente tabla (Tabla 7):

Tabla 7. Cobros y pagos del proyecto de cultivo de microgreen de rúcula

<b>Cobros ordinarios (€) (desde año 1 hasta año 20)</b>	<b>Cobros extraordinarios (€) (en los años 5;10;15;18 y 20)</b>	<b>Pagos ordinarios (€) (desde el año 1 hasta el año 20)</b>	<b>Pagos extraordinarios (€) (en los años 5;10;15 y 18)</b>
60082,52	288; 1518,60 y 14312,90	57130,26	2880; 15186

Fuente: elaboración propia

Con estos datos de partida se ha realizado un primer análisis, en base a los siguientes criterios:

- VAN: valor actual neto de la inversión. Mide la ganancia absoluta que se obtiene a lo largo de la vida del proyecto. Señala la viabilidad del proyecto si este valor es positivo.
- TIR: tasa interna de rendimiento. Mide la rentabilidad que proporciona el propio proyecto y representa la rentabilidad de la inversión si supera al tipo de interés del mercado de capitales.
- Pay-back. Es el plazo de recuperación de la inversión, criterio que interesa que no sea muy prolongado.
- $B^0/K_0$ . Es la ganancia relativa y obtenida por cada unidad monetaria invertida en dicho proyecto.

Los resultados de un primer análisis con los datos de partida se recogen en la primera línea de la tabla 8. Se puede observar que el proyecto es viable, rentable, con un plazo de recuperación algo elevado y una alta ganancia relativa.

Para completar este apartado se ha procedido a realizar una serie de modificaciones en los parámetros que definen la inversión, para determinar los valores que alcanzan los criterios utilizados. Todos ellos se recogen en la siguiente tabla (Tabla 8):

Tabla 8. Análisis de sensibilidad de la inversión de microgreen de rúcula en condiciones controladas para el tratamiento T1 (2022).

Modificaciones	Parámetros de la Inversión				Tipo de interés (%)	Criterios de evaluación			
	Pago de la Inversión (€)	Vida del proyecto (años)	Cobros (€)	Pagos (€)		VAN (€)	TIR (%)	Pay-back (años)	B <sup>3</sup> /K <sub>0</sub> (%)
Se define la vida del proyecto en función de la vida de los elementos de mayor vida útil (estanterías + panel sándwich), sin pérdidas de producto en transporte	21641,04	20	60082,56	57130,26	5	9997,42	10	12	46,19
Se considera que el tipo de interés sufre un incremento	21641,04	20	60082,56	57130,26	8	3213,81	10	16	14,85
Se considera que la inflación afecta al proyecto en un 8%	21641,04	20	60082,56	57130,26	5	-3733,44	10	No se recupera	-17,25
Se considera la vida del proyecto en función del elemento de mayor coste de la inversión (Equipo de refrigeración)	21641,04	18	60082,56	57130,26	5	9464,85	10	12	43,73
El pago de la inversión se incrementa en un 10% del valor del K <sub>0</sub> , considerado en el valor de partida	21641,04	20	60082,56	57130,26	5	7833,32	9	13	32,91
El pago de la inversión se incrementa en un 10% del valor del K <sub>0</sub> , considerado en el valor de partida	23805,14	20	60082,56	57130,26	8	1049,7	9	20	4,41



Debido a un incremento de oferta los precios de los <i>microgreen</i> de Rúcula sufren un descenso del precio a 172€/kg	21641,04	20	59260,88	57130,26	5	-242,53	5	No se recupera	-1,12
Considerando que los pagos de los elementos que intervienen en el proceso se pueden reducir en un 5%	21641,04	20	56849,10	54273,75	5	35355,96	21	6	163,37
Además de la reducción de los pagos se considera que los precios de los <i>microgreen</i> sufren un descenso hasta alcanzar el valor de 165€/kg	21641,04	20	56849,10	54273,75	5	5299,85	8	20	24,49

Fuente: elaboración propia

Si tenemos en cuenta el TIR, se puede comprobar que el proyecto es aceptable en todas las situaciones estudiadas, puesto que en todos los casos es mayor que cero. Esto quiere decir, que la rentabilidad del proyecto es mayor que la rentabilidad mínima requerida (costes de oportunidad).

Si tenemos en cuenta el VAN, nos encontramos dos ocasiones en las que éste es negativo, es decir, en esos dos casos el proyecto genera pérdidas y, por tanto, no es viable.

Para poder comparar todas las opciones presentadas de una forma más práctica, se ha elaborado un árbol de decisión, en formato de gráfico en el que se representan las diferentes alternativas en las que se puede encontrar un proyecto de inversión y sirve para poder determinar cuál es la secuencia de decisiones más adecuadas con el fin de obtener la mayor rentabilidad posible, este árbol se presenta a continuación (Figura 12):

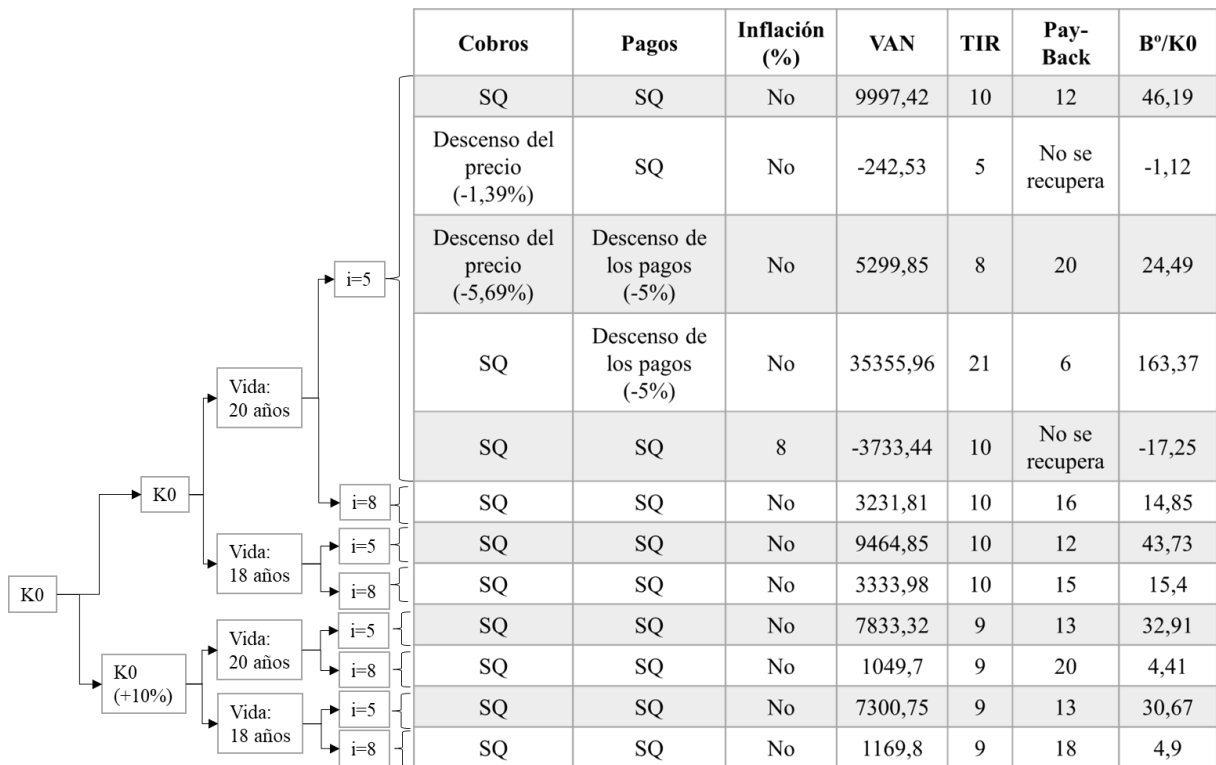


Figura 12. Árbol de decisión de la inversión de microgreen de rúcula sobre el tratamiento T1

Calculado en el pago de la inversión ( $K_0$ ) como las unidades monetarias necesarias para poner en funcionamiento la actividad productiva, este desembolso da lugar a la opción originaria que genera un VAN positivo, un TIR y corresponde a la rama en la que el pago de la inversión es el considerado inicialmente. Esto quiere decir que no sería adecuado para este proyecto aumentar en un 10% la inversión inicial.

Centrándonos, por tanto, en la rama superior del árbol de decisión, encontramos diferentes opciones a la hora de seleccionar los años de vida del proyecto. Estos años de vida se han determinado en función de los elementos fijos de la inversión con una vida útil más larga: 20 años para las estanterías de acero o el panel sándwich de las cámaras y 18 años de vida útil para los equipos de refrigeración.

Al examinar todos los escenarios estudiados de la rama de  $K_0$ , se puede comprobar que la opción que mayor beneficio genera para el proyecto, y, por tanto, la más adecuada para esta inversión ya que maximiza el beneficio es aquella en la que la vida del proyecto es de 20 años, el tipo de interés considerado es del 5% y los pagos se ven reducidos en un 5%, manteniendo los cobros estimados en la premisa inicial. Es, por tanto, la opción más

conveniente ya que genera el VAN más alto, así como el mayor TIR de entre las opciones estudiadas, y cuyo plazo de recuperación de la inversión es menor.

Sin embargo, el hecho de reducir los pagos un 5% es un escenario que puede resultar complicado debido a los continuos cambios económicos y sociales a nivel mundial que se han producido en los últimos años, lo que ha provocado el aumento del coste de las materias primas.

En relación con esto, se puede comprobar que, teniendo en cuenta una inflación de un 8%, el VAN del proyecto se hace negativo y, por tanto, dicho proyecto no sería viable. Es un hecho que la inflación muestra en la actualidad una tendencia al alza, la cual se ha podido comprobar en los últimos meses mediante el aumento de precios de bienes y alimentos.

A pesar de esto, y si tenemos en cuenta que los precios utilizados para realizar los cálculos son actuales (junio 2022), los cuales se considera que ya han sufrido una modificación al alza en los últimos meses, y consideramos que tanto los cobros como los pagos son aquellos estimados en el cálculo de costes, con una vida útil del proyecto de 20 años y un tipo de interés del 5%, se puede comprobar que el proyecto sería viable y rentable. El VAN se hace positivo en esta opción (9997,42), el TIR es uno de los más elevados de todas las situaciones estudiadas (10%), así como un Pay-back de 12 años que es un periodo aceptable, y un beneficio de 46,19 el cual es, también, uno de los más elevados de todos los escenarios previstos.

#### 4.4. Análisis del ciclo de vida de la producción de *microgreen* de rúcula

El análisis del ciclo de vida realizado, como bien se indicaba anteriormente, incluye los impactos ambientales de todos los elementos que intervienen en el proceso, desde la extracción de las materias primas, pasando por sus procesos productivos, transporte, uso en la producción de *microgreen* de rúcula y los residuos derivados del consumo del producto a estudiar.

El resultado de la huella de carbono para el proceso de producción de *microgreen* de rúcula en condiciones controladas de la variedad comercial bajo el tratamiento T1 es de 58,8 kg CO<sub>2</sub> equivalente por cada kg de *microgreen* de rúcula, mientras que para el

tratamiento T2 es de 58,6 kg de CO<sub>2</sub> equivalente por cada kg de *microgreen* de rúcula producido.

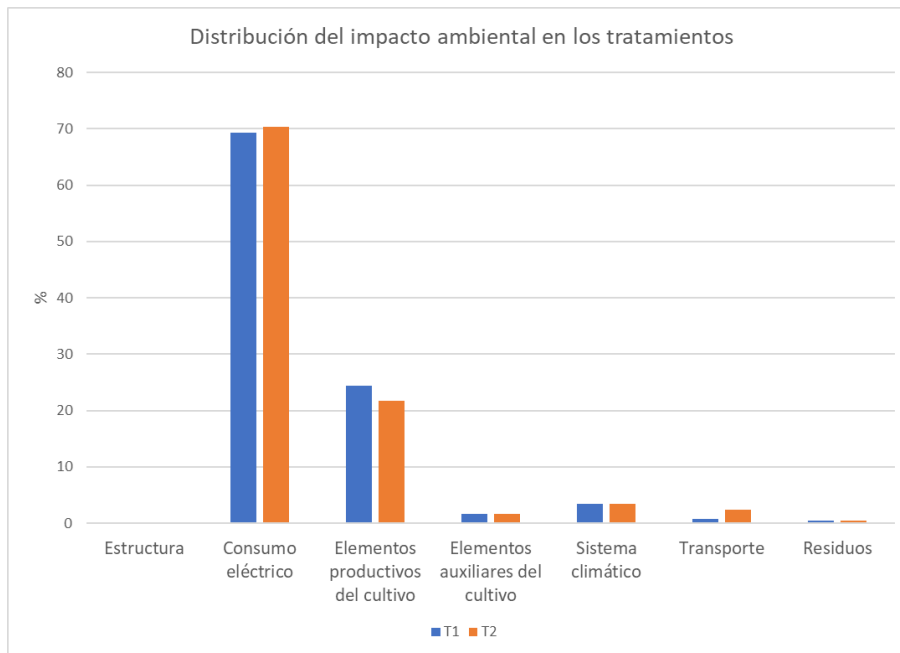


Figura 13. Distribución del impacto ambiental asociado a los tratamientos estudiados

Se puede ver que, en ambos casos, el impacto de la estructura de producción, es decir, la adecuación de las cámaras de cultivo es mínimo sobre el proceso. Esto se debe a que se ha considerado que las cámaras de cultivo se encontraban ya construidas, y únicamente era necesaria su adecuación para dicho proceso. Además, la larga vida útil de los materiales y de la propia cámara hace que ésta genere un impacto prácticamente despreciable sobre el producto final.

El mayor impacto que se genera con la producción de *microgreen* de rúcula variedad comercial es derivado del consumo eléctrico, debido a la gran importancia de las luminarias durante todo el proceso productivo, así como el consumo derivado de los equipos de refrigeración de las cámaras de cultivo. Se ha de tener en cuenta que este impacto viene proviene tanto del consumo eléctrico por el proceso como tal, así como el impacto medioambiental causado por la generación de energía eléctrica. La pequeña diferencia que podemos observar entre ambos tratamientos es debida a la productividad del cultivo, que bajo el tratamiento T2 es inferior.

También se puede ver que los elementos productivos del cultivo poseen un cierto peso medioambiental. La producción de fertilizantes, en este caso, la solución nutritiva,

genera un alto impacto derivado de las necesidades energéticas para su producción. En cuanto a las semillas, el impacto ambiental que genera deriva del uso del terreno necesario para la producción de dichas semillas.

Otro aspecto medioambientalmente importante, es el uso de la turba como sustrato. El sustrato empleado en el tratamiento T1 genera unas emisiones de 7,2 kg de CO<sub>2</sub> equivalente por kg de rúcula producido, mientras que el tratamiento T2 genera 5,56 kg de CO<sub>2</sub> equivalente por kg de producto. Como se puede ver, la sustitución de tan solo un 25% de turba por otro sustrato como es el compost, genera un beneficio medioambiental ya que permite reducir las emisiones (Figura 14):

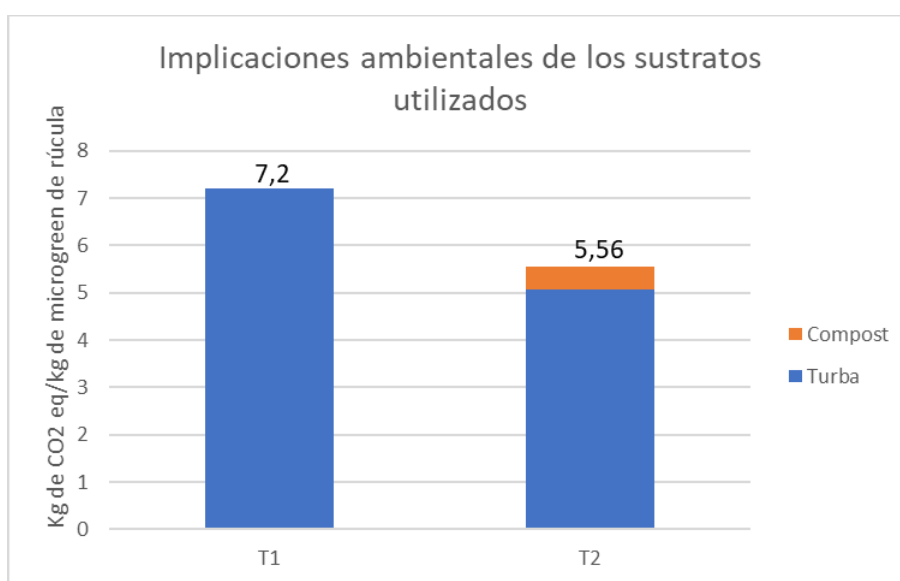


Figura 14. Implicaciones ambientales de los sustratos utilizados para la experiencia con microgreen de rúcula

Debido a que la turba es considerada por algunos autores como un recurso costoso y no renovable cuyo uso debe reducirse gradualmente, es preciso buscar sustitutos de alta calidad, disponibles localmente y de bajo coste. En este sentido, estudios han demostrado que la aplicación de una mezcla de turba y compost de desechos hortícolas como sustrato de crecimiento, permite reducir el pH de la turba, mejorar la aireación y retención de agua y aumentar la fertilidad del sustrato gracias al compost (Abdel-Razzak et al., 2019), por lo que la utilización de compost, así como otros materiales como el biochar o los residuos de hongos en los medios de cultivo para la sustitución de la turba resultan una alternativa viable (Sendi et al., 2013). Es, por tanto, lógico que el impacto asociado a los elementos del cultivo en el tratamiento T2 que utiliza turba y compost como sustrato, sea menor que el demostrado por el tratamiento T1 el cual únicamente utiliza turba.

En cuanto a los elementos auxiliares del cultivo, en los que se hace referencia a las bandejas de cultivo, así como a las bandejas de recogida de drenajes, se puede comprobar que poseen un bajo impacto, debido a la recuperación de estas y su reutilización en el proceso, lo que genera una menor necesidad de compra y, por tanto, un ahorro de recursos. En ambos tratamientos este impacto ambiental es similar.

Es importante recalcar el impacto generado por el sistema climático, es decir, por los equipos de refrigeración, derivado del gas refrigerante utilizado en los equipos, el R134a. Este gas refrigerante es uno de los más utilizados para los equipos de refrigeración, sin embargo, posee un potencial de calentamiento global (GWP) de 1430, con lo que se considera que ejerce un impacto considerable sobre el medio ambiente. Debido a que en ambos casos se ha considerado la misma cantidad de equipos, además de la misma capacidad de carga de refrigerante, el impacto asociado a este subsistema es igual para los dos tratamientos.

En relación con el transporte, se puede apreciar que no adquiere un gran porcentaje, debido a que la producción se dedica esencialmente a consumidores de proximidad, reduciendo por tanto el impacto del transporte del producto. Sin embargo, podemos apreciar cierta diferencia entre el tratamiento T1 y T2, adquiriendo mayor importancia en este último. Esto es porque a pesar de que la comercialización del producto es a nivel local, se ha considerado la recogida de los subproductos necesarios para la generación del compost utilizado como sustrato, lo que eleva el impacto del transporte en esta alternativa.

Por último, el porcentaje del impacto de los residuos derivados del proceso es muy bajo. Esto es debido a la premisa de recuperación de bandejas del proceso y su reutilización para el cultivo. Si bien es cierto que se producen residuos orgánicos procedentes del sustrato de cultivo el cual no se recupera tras su uso, se ha contemplado la gestión de este, generando, por tanto, un menor impacto sobre el proceso global.

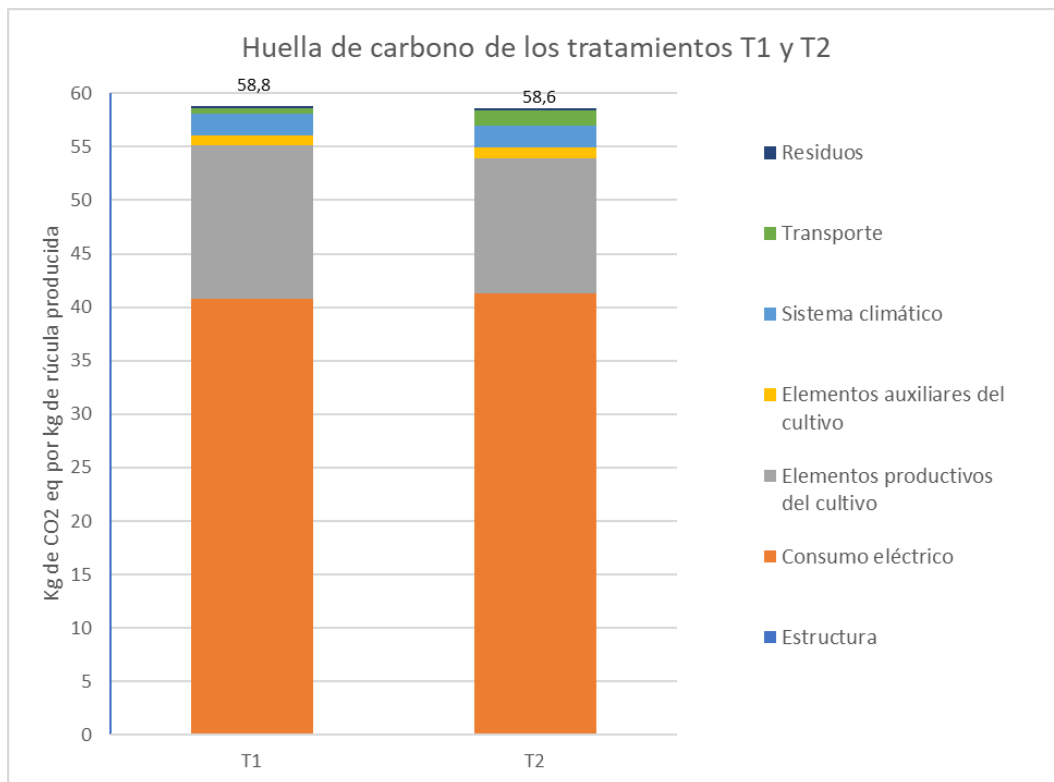


Figura 15. Comparación de la huella de carbono y su contribución por secciones en los tratamientos T1 y T2.

Se puede comprobar, por tanto, que existe una pequeña diferencia en la huella de carbono producida por los dos procesos (Figura 15). Esta pequeña diferencia reside en la elevada similitud de ambos procesos durante la producción de *microgreen* de rúcula.

Como se puede apreciar, en ambos tratamientos el consumo eléctrico es el que genera un mayor aporte a la huella de carbono global del proceso, así como los elementos productivos del cultivo. En ambos tratamientos, podemos comprobar que los residuos generan un bajo porcentaje.

A continuación, se muestra detalladamente las diferencias asociadas a los impactos generados de cada categoría para cada uno de los tratamientos (Figura 16):

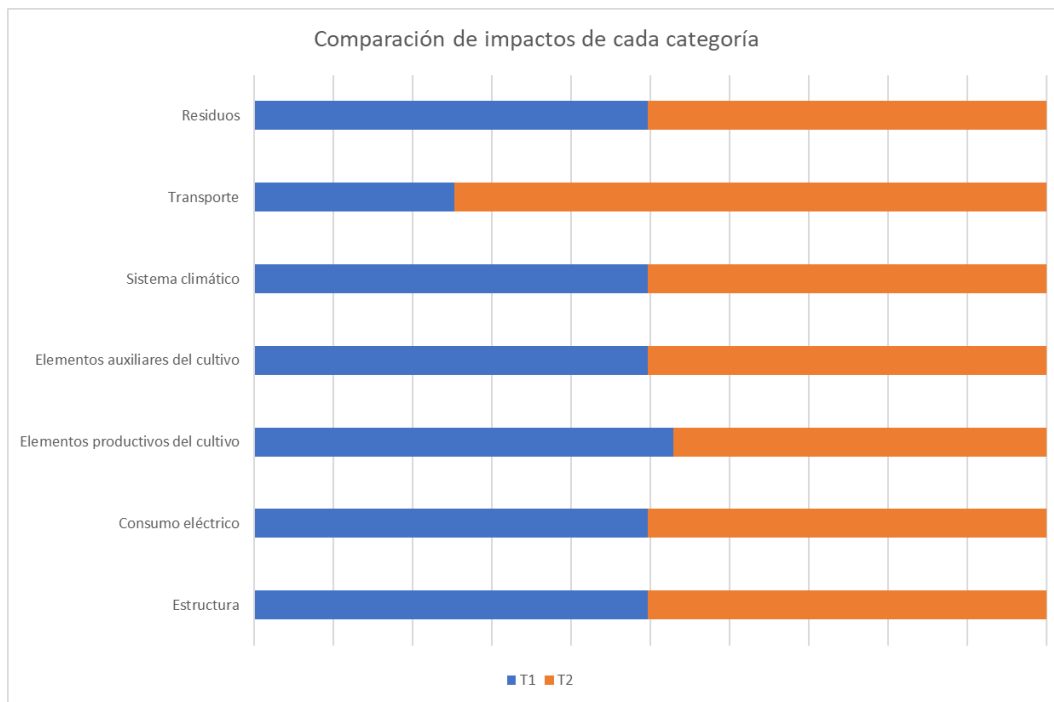


Figura 16. Comparación de los impactos asociados por cada una de las categorías en los tratamientos T1 y T2.

Los impactos generados por los residuos, sistema climático, elementos auxiliares del cultivo, consumo eléctrico y estructura son prácticamente similares en ambos tratamientos. Estos porcentajes son ligeramente superiores en el tratamiento T2, lo que se explica por la pequeña diferencia de producción entre ambos métodos, resultando en que a menor cantidad de producción (menos kg de *microgreen* de rúcula producidos), el impacto generado sea levemente superior.

Esta similitud de impacto en la mayoría de las categorías no es tan semejante en el transporte. En el tratamiento T2 el transporte ejerce un mayor impacto ambiental debido a la necesidad de recogida de los desechos de otros procesos para la elaboración del compost. Esto influye en el consumo de combustibles fósiles, que generan gases de efecto invernadero, así como por el uso de un vehículo en cuya producción, transporte y distribución.

En cuanto a los elementos productivos, se puede comprobar que en el tratamiento T1 generan un mayor impacto, debido al mayor consumo de turba en este método de producción, como se ha comentado anteriormente.



## 5. Conclusiones

Las conclusiones derivadas del presente estudio se exponen a continuación:

En primer lugar, y tras el estudio en condiciones controladas de *microgreen* de rúcula, se puede decir que la variedad de rúcula comercial es más productiva en comparación con la variedad local estudiada, ya que provoca un porcentaje de germinación mayor, y un mayor porcentaje de peso fresco en el producto final.

Además, se ha podido comprobar que el tratamiento T1 en el que se utilizó 100% de turba como sustrato, y el T2 en el que se utilizó 75% de turba y 25% de compost respondieron mejor al cultivo con la variedad comercial, obteniendo una mayor producción en un periodo de tiempo menor.

Con relación al estudio económico del proyecto, y partiendo de los datos obtenidos en la fase experimental, se ha podido comprobar que ambas opciones generan unos costes muy similares en su desarrollo. Si bien es cierto que en el tratamiento T1 se generan menores costes derivados del combustible, esta reducción se ve compensada con el coste de adquisición de la turba para el cultivo. En el tratamiento T2, el coste de la turba es menor pero esta reducción es compensada con el coste del combustible utilizado para la recogida de los residuos para la producción del compost.

Debido a esto, y a la similitud de producción de ambos tratamientos lo que genera unos ingresos análogos, se ha realizado el análisis de sensibilidad únicamente para la variedad comercial de rúcula bajo el tratamiento T1.

De este análisis, podemos extraer la conclusión de que el proyecto es viable y rentable en prácticamente la totalidad los escenarios estudiados. El proyecto no sería rentable en los casos en los que la inflación afectase al proyecto en un 8%, así como si el precio de los *microgreen* se redujese debido el aumento de oferta, alcanzando los 172 €/kg. Podemos decir, por tanto, que el proyecto producción de *microgreen* de variedad comercial es viable y rentable en las dos modalidades de cultivo estudiadas: con un sustrato compuesto por 100% turba (T1) y con un sustrato compuesto por 75% turba y 25% compost (T2).

Por otro lado, el análisis del ciclo de vida realizado para la producción de *microgreen* de rúcula, al tratarse de un análisis “de la cuna a la tumba”, ha mostrado una mayor cantidad de aspectos e impactos ambientales de los que se considerarían si únicamente se estudiase el proceso de producción del producto.

Gracias a este análisis hemos podido aproximarnos al impacto real que tiene la producción de *microgreen* de rúcula sobre el medio ambiente. Este estudio se puede considerar como un punto de referencia en el proceso, de modo que, teniendo en cuenta cada una de las categorías del proceso productivo y su impacto asociado, se puedan tomar decisiones para mejorar su desempeño ambiental. Se puede considerar, por tanto, el análisis del ciclo de vida como un proceso cíclico que busca la mejora continua de los procesos en materia medioambiental.

Tras estudiar ambos procesos, se ha podido demostrar que la huella de carbono derivada de procesos T1 y T2 es muy similar en ambas opciones, adquiriendo un valor de 58,8 kg de CO<sub>2</sub> equivalente el tratamiento T1 y 58,6 kg de CO<sub>2</sub> equivalente el tratamiento T2. El consumo eléctrico es, en ambos casos, el aspecto más importante en cuanto al impacto ambiental generado.

De las diferencias de impacto ambiental derivado del ciclo de cultivo, destaca el impacto asociado a los elementos productivos, en particular, el impacto generado por la utilización de turba debido al deterioro ambiental asociado a la explotación de las turberas. Este impacto es superior en el tratamiento T1, que únicamente utiliza turba, en comparación con el tratamiento T2, el cual utiliza una mezcla de turba y compost como sustrato. La sustitución, en cierta medida, de la turba por el compost como medio para la producción puede generar beneficios medioambientales ya que el compost posee un menor impacto sobre el calentamiento global, pudiendo llegar a conseguir con esta sustitución un ahorro de entre 70 y 150 kg de CO<sub>2</sub> equivalente mg<sup>-1</sup> (Boldrin et al., 2010).

De los análisis realizados podemos extraer que sería, por tanto, más interesante adoptar la opción de producción de *microgreen* en cultivo vertical *indoor* con rúcula de la variedad comercial y mediante el tratamiento T2, es decir, con un sustrato compuesto por 75% turba y 25% compost. Esto es debido a que, a pesar de que el rendimiento económico es similar en ambas opciones por lo que podría elegirse cualquiera de ellas indistintamente, el tratamiento T2 tiene unas implicaciones ambientales menos acusadas

que brindan más opciones para reducir la huella de carbono del proceso. Esto es así, principalmente, por el uso de un sustrato alternativo a la turba como es el compost, lo que hace que el impacto ambiental disminuya. Además, la utilización de residuos de otras industrias para la fabricación del compost contribuye a la aplicación de la Estrategia de la Economía Circular y a paliar el deterioro de la huella ecológica a nivel global. Por otro lado, y puesto que el combustible es una parte importante en las implicaciones ambientales del tratamiento T2, sería posible disminuir su impacto ambiental si se utilizaran residuos de otras industrias más cercanas al lugar de producción, lo que supondría un menor consumo de combustibles fósiles, beneficiando medioambientalmente al proceso.

Como conclusión final a este trabajo, se puede decir que este estudio reúne tres aspectos importantes a la hora del desarrollo de nuevos proyectos: el análisis experimental, en el que se ha estudiado la opción u opciones técnicas más adecuadas para la puesta en marcha de un proyecto alimentario; el dimensionamiento, análisis económico y de viabilidad del proyecto, en el que se tienen en cuenta los aspectos económicos asociados a la actividad y el desarrollo del proyecto en el tiempo, obteniendo los datos necesarios para saber si éste es rentable y viable; y por último, el estudio ambiental, en el que se obtiene una visión profunda mediante el análisis del ciclo de vida, del impacto sobre el medio ambiente del producto desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final.

Conocer, desde un punto de vista técnico, los aspectos agronómicos, económicos y ambientales de los proyectos a desempeñar es de vital importancia en la actualidad. La necesidad de adaptar procesos y productos a una incipiente economía circular, así como conocer en profundidad el panorama económico cambiante en el que vivimos en los últimos años, es imprescindible para desarrollar ideas de negocio que perduren en el tiempo.

## 6. Bibliografía

- Abdel-Razzak, H., Alkokaik, F., Rashwan, M., Fulleros, R., & Ibrahim, M. (2019). Tomato waste compost as an alternative substrate to peat moss for the production of vegetable seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, 42(3), 287-295. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1554682>
- Allan, R. P., Hawkins, E., Bellouin, N., & Collins, B. (2021). *IPCC, 2021: Summary for Policymakers*. <https://centaur.reading.ac.uk/101317/>
- Alonso, R., & Serrano, A. (2008). *Economía de la empresa agroalimentaria* (3.<sup>a</sup> ed.). Mundi-Prensa Libros.
- Bello, J., & López de Cerain, A. (2001). *Fundamentos de la ciencia toxicológica* (Reimpresión). Ediciones Díaz de Santos. <https://bit.ly/3ntzZdC>
- Berba, K., & Uchanski, M. (2012). Postharvest Physiology of Microgreens. *Journal of Young Investigators*, 24(1), 5. <https://bit.ly/3uEjyzl>
- Boldrin, A., Hartling, K. R., Laugen, M., & Christensen, T. H. (2010). Environmental inventory modelling of the use of compost and peat in growth media preparation. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1250-1260. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.04.003>
- Caballero, P., De Miguel, M., & Fernández-Zamudio, M. (2004). Técnicas de gestión empresarial de la producción agraria. *SPUPV-1440*.
- Comisión Europea. (2019). *De la Granja a la Mesa* (p. 2). <https://bit.ly/3yjb41h>
- Di Gioia, F., & Santamaria, P. (2015). *Microgreens*. Ministero delle Politiche Agricole Alimentare Forestal, Università degli di Bari ALDO MORO y Ortinnova.
- Ebert, A. W. (2022). Sprouts and Microgreens—Novel Food Sources for Healthy Diets. *Plants*, 11, 571. <https://doi.org/10.3390/plants11040571>
- European Sprouted Seeds Association. (2016). *Directrices de higiene para la producción de brotes y semillas para germinación*. <https://bit.ly/3NKGcmv>
- Fryda, L., Visser, R., & Schmidt, J. (2018). BIOCHAR REPLACES PEAT IN HORTICULTURE: ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF COMBINED BIOCHAR & BIOENERGY PRODUCTION. *Detritus*, 5, 1. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2019.13778>
- García, A. M. C. (2022). Economía circular versus economía lineal. Propuestas normativas en España y Francia relativas al uso de envases y a la información dirigida al consumidor sobre cualidades

- ambientales de los productos. *CESCO de Derecho de Consumo*, 42, 34.  
[https://doi.org/doi.org/10.18239/RCDC\\_2022.42.3064](https://doi.org/doi.org/10.18239/RCDC_2022.42.3064)
- García, S. N., Osburn, B. I., & Jay-Russell, M. T. (2020). One Health for Food Safety, Food Security, and Sustainable Food Production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 1.  
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00001>
- Haller, L. (2021). Producción ecológica y cómo alcanzar los objetivos «De la granja a la mesa». *Bio Eco Actual*, 27, 3. <https://bit.ly/3ODcZEP>
- Jin, W., Formiga Lopez, D., Heuvelink, E., & Marcelis, L. F. M. (2022). Light use efficiency of lettuce cultivation in vertical farms compared with greenhouse and field. *Food and Energy Security*, 00, e391. <https://doi.org/10.1002/fes3.391>
- Kyriacou, M. C., Rouphael, Y., Di Gioia, F., Kyrtziz, A., Serio, F., Renna, M., De Pascale, S., & Santamaria, P. (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.005>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2021). *Índices y salarios agrarios*.  
<https://bit.ly/3bTBP54>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). *Estrategia Española de Economía Circular -España Circular 2030*. <https://bit.ly/3yD1JTv>
- Organización Internacional de Normalización. (2006a). *UNE EN ISO 14040:2006*. <https://bit.ly/3yqhwnp>
- Organización Internacional de Normalización. (2006b). *UNE EN ISO 14044:2006*. <https://bit.ly/3IjJ0zw>
- Paraschivu, M., Cotuna, O., Sărățeanu, V., Durău, C. C., & Păunescu, R. A. (2021). Microgreens—Current status, global market trends and forward statements. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 21(3), 9.  
<https://bit.ly/3yrn00X>
- Rodríguez, R., Garrido, A., & Llamas, M. R. (2009). La huella hidrológica de la agricultura española. *Ingeniería del agua*, 16(1). <https://doi.org/10.4995/ia.2009.2943>
- Romero, C. (1998). *Evaluación financiera de inversiones agrarias* (6.ª ed.). Mundi-Prensa.
- Rufí-Salís, M., Petit-Boix, A., Villalba, G., Sanjuan-Delmás, D., Parada, F., Ercilla-Montserrat, M., Arcas-Pilz, V., Muñoz-Liesa, J., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2020). Recirculating water and nutrients in urban agriculture: An opportunity towards environmental sustainability and water

- use efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121213.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121213>
- Salavor, O. (2022). Environmental sustainability issues for Eastern European food production. En *Nutritional and Health Aspects of Traditional and Ethnic Foods of Eastern Europe* (pp. 233-249). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811734-7.00011-6>
- Sardi, E. M. L., & Cattaneo, M. P. (2013). Los indicadores ambientales como herramientas de la economía. *Ciencia y Tecnología*, 1(13), 279-292. <https://doi.org/10.18682/cyt.v1i13.111>
- Sendi, H., Mohamed, M. T. M., Anwar, M. P., & Saud, H. M. (2013). Spent Mushroom Waste as a Media Replacement for Peat Moss in Kai-Lan (*Brassica oleracea* var. *Alboglabra*) Production. *The Scientific World Journal*, 2013, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2013/258562>
- Sharma, S., Shree, B., Sharma, D., Kumar, S., Kumar, V., Sharma, R., & Saini, R. (2022). Vegetable microgreens: The gleam of next generation super foods, their genetic enhancement, health benefits and processing approaches. *Food Research International*, 155, 111038.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111038>
- Shibaeva, T. G., Sherudilo, E. G., Rubaeva, A. A., & Titov, A. F. (2022). Continuous LED Lighting Enhances Yield and Nutritional Value of Four Genotypes of Brassicaceae Microgreens. *Plants*, 11(2), 176. <https://doi.org/10.3390/plants11020176>
- Spreafico, C. (2022). An analysis of design strategies for circular economy through life cycle assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(3), 180. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09803-1>
- Suárez, A. S. S. (2014). *Decisiones óptimas de inversión y financiación en la empresa*. Ediciones Pirámide.
- van Paassen, M., Braconi, N., Kuling, L., Durlinger, B., & Gual, P. (2019). Agri-Footprint 5.0. *Blonk Consultants*, 134. <https://bit.ly/3yKTaGb>
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., & Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3: Overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(9), 1218-1230.
- Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., & Wang, Q. (2012). Assessment of Vitamin and Carotenoid Concentrations of Emerging Food Products: Edible Microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(31), 7644-7651. <https://doi.org/10.1021/jf300459b>

