



**UNIVERSITAT
JAUME·I**

Universidad Jaume I

Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales

Grado en Ingeniería Química

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Trabajo Fin de Grado

Autor

Paul V. Hudusan

Tutora

Carolina Clausell Terol

Castellón, Julio de 2023

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas las personas que me han acompañado en esta etapa universitaria. A Laura, con la que he pasado infinitas horas haciendo pomodoro, a Idoia, Mar y Ranya por el apoyo y ayuda mutua que nos hemos dado para sacar esta carrera adelante, a las Andreas por ser las primeras en acercarse a mi ese día en el que estaba solo en la cafetería cuando aún no conocía a nadie de la carrera y a Ramón, que aunque solo compartimos un par de años juntos aprendí mucho de ti.

También quisiera agradecer a todos los profesores que se implicaron activamente en la enseñanza de sus respectivas asignaturas, mostrando su interés en ayudar a los alumnos para convertirlos en futuros ingenieros.

Por otro lado, también quisiera mostrar mi agradecimiento a mi tutora Carolina Clausell por ayudarme en la realización de este proyecto, atendiéndome siempre por pequeña que fuera mi duda y también a Antonio Barba por ayudarme y darme las indicaciones necesarias para la resolución del biorreactor.

Por último, quiero dedicar este proyecto a mi madre, Ghizela Macarie, que con mi edad tuvo que emigrar a este maravilloso país, dejando atrás a su familia para poder ofrecerme una vida mejor. Una mujer que desde el principio tenía claro que haría todo lo posible para que yo tuviera la posibilidad que ella no pudo tener de una educación de calidad. Una mujer que siempre me ha apoyado en los momentos más difíciles de la carrera y siempre ha confiado en que lo lograría.

Gracias mamá.

0. RESUMEN

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

El tema elegido para realizar el Trabajo Fin de Grado es “Diseño de una planta para la obtención de microalgas”.

Este proyecto tiene la finalidad de diseñar una planta para una producción de 12 toneladas al año de polvo de microalga de la especie *Chlorella Vulgaris*, la cual se va a emplear en la industria alimentaria debido a la cantidad de nutrientes que posee como proteínas, ácidos grasos poliinsaturados, carbohidratos y vitaminas y en la industria farmacéutica y cosmética debido a las propiedades regenerativas y antiinflamatorias que se ha descubierto que poseen.

Para obtener dicha producción se emplea agua dulce la cual se debe filtrar para eliminar impurezas y pasar por ultravioleta para eliminar cualquier tipo de microorganismo que pueda contaminar el proceso. El agua purificada junto con la cepa de la especie, se introducen en un biorreactor de 2500L, compuesto de dos biorreactores de 1250L, para empezar el cultivo a una temperatura constante de 30 °C, un pH ligeramente alcalino y un fotoperiodo de luz/oscuridad adecuado para un crecimiento óptimo. También se debe introducir al biorreactor una corriente de aire enriquecido con CO₂ para que la microalga pueda realizar la fotosíntesis. La cantidad de CO₂ introducida ayudará a reducir en lo posible el impacto en el planeta de este gas de efecto invernadero.

Una vez obtenida la cantidad de microalga deseada al día en base húmeda, se vacía el biorreactor y como el proceso se realiza en discontinuo, se tendrá que realizar una limpieza a este para el siguiente uso. La cosecha del cultivo, al sacarla del biorreactor, se introduce a un atomizador adecuado para tratar la producción y eliminar el agua, obteniendo, de este modo, un polvo de microalga que se llevará a la línea de empaquetamiento y se almacenará hasta su venta.

Por último, además de la viabilidad técnica del proyecto también se realizará la viabilidad económica y medioambiental del mismo.

1. ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL

0. RESUMEN
1. ÍNDICE
2. MEMORIA
3. ANEXOS
4. PLANOS
5. PLIEGO DE CONDICIONES
6. ESTADO DE MEDICIONES
7. PRESUPUESTO

2. MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. OBJETIVO	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. ALCANCE	5
4. ANTECEDENTES	6
4.1 Microalgas	6
4.1.1 Propiedades nutricionales de las microalgas	8
4.1.2 Crecimiento celular de las microalgas	9
4.1.3 Factores que afectan al crecimiento celular	10
4.1.4 Sectores de interés en microalgas	13
4.1.5 Formatos de venta	15
4.2 Alga seleccionada: <i>Chlorella Vulgaris</i>	16
5. NORMAS Y REFERENCIAS	18
5.1 Normativa aplicada	18
5.2 Bibliografía	19
5.3 Programas informáticos	27
6. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	28
7. REQUISITOS DE DISEÑO	31
7.1 Tratamiento del agua del medio	32
7.1.1 Descalcificado	32
7.1.2 Filtro de partículas y UV	33
7.2 Recepción de la cepa, de los nutrientes y del dióxido de carbono	33
MEMORIA	1

7.3 Biorreactor	34
7.4 Secado por atomización	34
7.5 Empaquetado y almacenamiento	34
8. PLANIFICACIÓN	35
9. ORDEN DE PRIORIDAD DE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS	37
10. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA	38
10.1 Resumen del presupuesto	39
10.2 Presupuesto de explotación	41
10.2.1 Gastos directos	41
10.2.2 Gastos indirectos	44
10.2.3 Gastos totales	46
10.3 Ingresos	47
10.4 Beneficio	47
10.4.1 Beneficio bruto	47
10.4.2 Beneficio neto	48
10.5 Flujo de caja	48
10.6 Valor Actual Neto (VAN)	48
10.7 Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)	49
10.8 Periodo de Retorno (PR)	50
10.9 Índice de Rentabilidad (IR)	50
10.10 Análisis de sensibilidad	51
10.11 Resumen y conclusión de la viabilidad económica	53

1. OBJETIVO

El objetivo del presente proyecto es diseñar una planta para la producción de microalgas y su posterior comercialización en diversos sectores, como empresas alimentarias, cosméticas y farmacéuticas, entre otros.

La instalación tiene como objetivo producir anualmente 12 toneladas de la especie *Chlorella Vulgaris*. Para obtener las microalgas, se utiliza un biorreactor, que es fundamental para lograr un crecimiento controlado y óptimo a partir de un inóculo. Se tienen en cuenta las variables físicas y químicas que pueden afectar al crecimiento, como los fotoperiodos de luz y oscuridad, la agitación, la temperatura, los nutrientes, la aireación y el pH.

Una vez que el cultivo está listo para ser cosechado, se busca obtener el producto final en forma de polvo seco para su comercialización. Para lograr esto, el cultivo se introduce en un atomizador con el propósito de eliminar el 95% del agua presente en las microalgas. De esta manera, se obtiene un polvo de microalga con un contenido de humedad del 5%.

2. JUSTIFICACIÓN

La realización de este proyecto surge de la necesidad de desarrollar un trabajo de carácter profesional que refleje los conocimientos adquiridos a lo largo del Grado de Ingeniería Química y demuestre las habilidades de un Ingeniero Químico para enfrentar el mundo laboral. El objetivo principal es diseñar una planta para la obtención de microalgas.

El diseño de esta planta responde al crecimiento de la demanda de microalgas en diversos sectores, debido a la amplia variedad de propiedades de alto valor que poseen estos microorganismos.

3. ALCANCE

En este proyecto, la decisión de diseñar una planta de microalgas se fundamenta en la creciente importancia que han adquirido estos microorganismos en los últimos años, así como en las perspectivas de crecimiento para el futuro. Las notables propiedades de las microalgas han impulsado su aprovechamiento a nivel industrial en diversas aplicaciones, trascendiendo las escalas pequeñas y el consumo individual.

El enfoque principal de este proyecto se centra en el estudio de la producción de microalgas utilizando un biorreactor tipo RDTA (Reactor Discontinuo de Tanque Agitado).

Se optó por esta elección para evitar el uso de reactores tubulares transparentes expuestos a las condiciones ambientales, que son comúnmente utilizados por las empresas de producción de microalgas. El cultivo de microalgas en este tipo de reactores presenta una desventaja, ya que está sujeto a las condiciones diarias de temperatura y fotoperiodo luz-oscuridad, lo cual puede afectar la calidad y el crecimiento de las microalgas.

Asimismo, se descartó la opción de utilizar tanques abiertos a la atmósfera para la producción de microalgas, debido a que estos tanques también están sujetos a las condiciones diarias de temperatura y luz, lo que supone un alto riesgo de contaminación y pérdida de calidad y características del cultivo.

Al emplear un RDTA, se logra un control total de los factores de luz, temperatura y contaminación, permitiendo un crecimiento controlado en condiciones óptimas durante todo el año y con la máxima calidad. Este enfoque asegurará el valor agregado del producto resultante.

4. ANTECEDENTES

4.1 Microalgas

Las microalgas son unos microorganismos fotosintéticos y unicelulares que se pueden encontrar en diversos medios acuáticos de agua dulce y salada como lagos, ríos, océanos y hasta glaciares. Son unos microorganismos sencillos pero a la vez muy complejos, capaces de adaptarse al medio en el que se encuentran, lo que ha resultado en un aumento de su biodiversidad, con más de 100.000 especies identificadas. Dependiendo del tipo de especie, el tamaño de estas puede variar entre unos pocos micrómetros y cientos de micrómetros (D^a. Ruth Gabriela Ulloa Mercado, 2011) (Giovanni Antonio Lutz, 2011).

Estos microorganismos son unicelulares debido a que existen individualmente, pueden ser tanto células eucariotas (ADN almacenado en el núcleo y con estructuras complejas) como procariontas (ADN almacenado en el citoplasma) *Figura M4.1*¹, pero la gran mayoría de microalgas son células eucariotas (Liliana M. Gómez Luna, 2007).

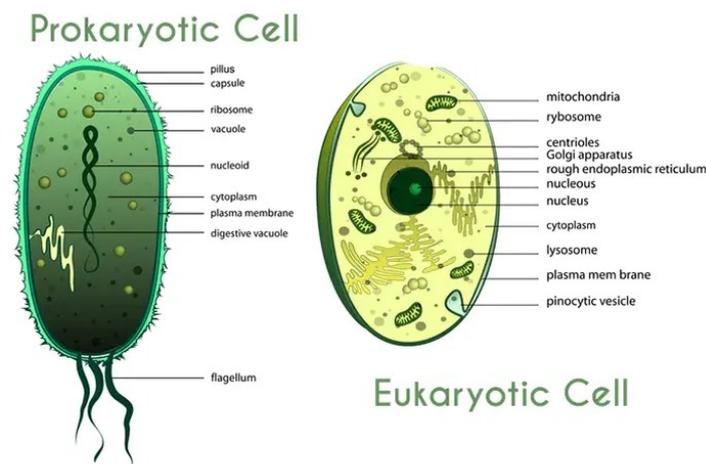


Figura M4.1. Diferencia entre célula eucariota y procarionta

¹ Figura extraída de: (Aron 2023)

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Estos microorganismos se reproducen por mitosis, es decir, la célula madre se divide en dos células hijas genéticamente idénticas, *Figura M4.2*¹ (*D^a. Ruth Gabriela Ulloa Mercado, 2011*) (Khan Academy, s.f.).

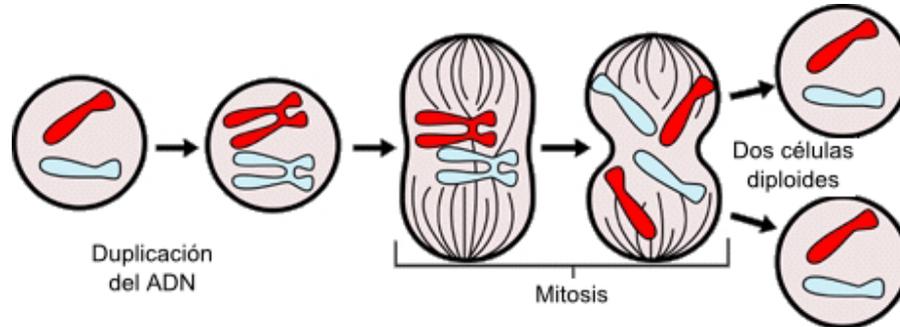


Figura M4.2. Proceso de la mitosis

Por otro lado, se dice que son fotosintéticos debido a que tienen la capacidad de realizar la fotosíntesis. En dicha fotosíntesis las microalgas utilizan la energía solar para transformar el CO_2 y el agua que se encuentra a su alrededor en azúcares y oxígeno. Estos azúcares los emplean para su alimentación, es decir, como fuente de energía para poder crecer, y el oxígeno producido lo liberan a la atmósfera (Khan Academy, s.f.). La fotosíntesis se llega a realizar gracias a unos pigmentos que poseen las plantas conocidos como pigmentos fotosintéticos, como la clorofila a y b (azul, verde), los carotenoides (rojo, naranja o amarillo) y las ficobilinas, que se dividen en ficoeritrina y ficocianina (rojo, marrón o verde-azul) *Figura M4.3*² (*Jaime López, 2013*).

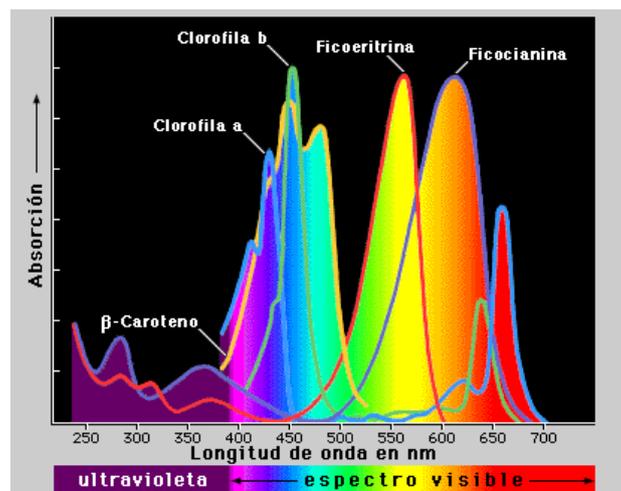


Figura M4.3. Diferentes pigmentos fotosintéticos

¹ y ² Figuras extraídas de: (Science Primer 2010) y (Biosfera s.f.)

4.1.1 Propiedades nutricionales de las microalgas

Varios estudios realizados sobre las microalgas han demostrado que son una fuente muy rica en propiedades nutricionales muy demandadas a nivel mundial con un gran potencial para sustituir alimentos del día a día, lo cual es muy importante debido al aumento progresivo de la población en el planeta, estimándose un aumento de 9000 millones de habitantes para el año 2050 (Paula Santiago Díaz, Milagros Ángeles Rico Santos, 2021). Por lo que la demanda de alimentos aumentará y se tendrá que recurrir a otros tipos de alimentos para satisfacer las necesidades nutricionales de la población sin que dañen el medio ambiente a la hora de su producción.

Las microalgas son una gran fuente de **proteínas**, de estas se puede extraer entre un 40% y un 70% de proteína en seco dependiendo de la especie y son muy ricas en aminoácidos esenciales que el propio cuerpo humano no puede producir (J.L.B del Alamo, 2021).

Por otro lado, también son muy abundantes en **lípidos** los cuales incluyen a los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) de cadenas largas como el Omega-3, el Omega-6, el Docosahexanoico (DHA) y el Elicosapentanoico (EPA). Estos PUFAs son muy importantes ya que tienen la capacidad de ayudar a prevenir trastornos cardiovasculares, diabetes y bajar la tensión, produciendo una respuesta antiinflamatoria al sistema inmunológico. Siendo esta propiedad una de las más cotizadas en los distintos sectores (Nuria Muñoz Tebar, 2022).

Además de los lípidos, las microalgas también son una fuente de **carbohidratos** presentes en forma de almidón, glucosa y otros polisacáridos, también de **minerales** y **vitaminas** tipo A, B1, B2, B6, B12, C y E y **polifenoles** los cuales son unos compuestos antioxidantes (Valeria Olmedo, 2019).

Se tiene que tener en cuenta que, dependiendo del tipo de especie, estas pueden presentar una mayor o menor cantidad de los nutrientes nombrados. Por otro lado, varios estudios han demostrado que se puede aumentar la cantidad de cierta propiedad nutricional, principalmente lípidos, si en el medio de cultivo se restringen ciertos factores para el crecimiento de la microalga los cuales se nombran en el apartado 4.1.3.

4.1.2 Crecimiento celular de las microalgas

El crecimiento celular de las microalgas se divide en cuatro fases (Enyoung Lee, 2015) (A. Barba Juan, C. Clausell Terol, 2014).

- Fase I o de adaptación → En esta fase las células se tienen que adaptar al entorno en el que se han introducido y se preparan para la reproducción. Esta fase depende del medio de crecimiento de donde se tomó el inóculo con respecto al medio de reacción donde se ha colocado. Si los medios son parecidos, esta fase es prácticamente inexistente, pero si son diferentes las células deberán readaptar su metabolismo para poder consumir los nutrientes de su nuevo entorno.
- Fase II o de crecimiento exponencial → En esta fase la velocidad de crecimiento celular es proporcional a la concentración de células. Estas se dividen a la máxima velocidad posible debido a que las células son capaces de utilizar los nutrientes con mucha eficiencia.
- Fase III o estacionaria → En esta fase la velocidad de crecimiento es cero debido a la disminución o agotamiento de nutrientes.
- Fase IV o de muerte → En esta fase se produce una disminución de la concentración de células vivas como consecuencia de la disminución del suministro de los nutrientes.

En la *Figura M4.4*¹ se muestra gráficamente la curva de las fases de crecimiento celular.

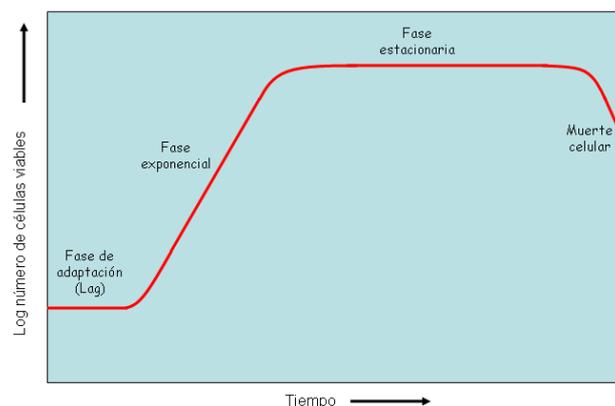


Figura M4.4. Fases del crecimiento celular

¹ Figura extraída de: (Wikipedia, 2013)

4.1.3 Factores que afectan al crecimiento celular

La **temperatura** es uno de los factores más importantes que afectan al crecimiento de las algas, por lo que la temperatura a la que se encuentre el medio es crucial y debe ser la óptima. La temperatura de crecimiento de las microalgas suele estar entre los 20°C y los 35°C . Este rango de temperatura es debido a que según el tipo de microalga que se quiere cultivar, la temperatura óptima de cada especie es diferente (E. Bermejo, et al., 2021) (Kamrul Hasan Chowdury, et al., 2020) (María Bermúdez Saúco, 2020).

Este factor debe estar bien controlado debido a que si la temperatura se encuentra por debajo de la óptima el crecimiento de las microalgas se reduce pero, por lo contrario, si la temperatura supera la óptima pueden dañar las células infiriendo en el crecimiento. Esto es un problema si la producción de las microalgas se realiza al aire libre ya que depende de la estación del año en la que se encuentre, pero en cambio, si la producción se hace en un biorreactor tipo discontinuo de tanque agitado con una temperatura controlada se puede obtener una producción óptima y deseada (Alexis Hernández Pérez, José I. Labbé, 2014).

Los **nutrientes** afectan mucho al crecimiento de las microalgas. Se tiene que tener en cuenta que las microalgas son microorganismos vivos y al igual que los seres humanos, necesitan alimentos para obtener la energía suficiente para poder crecer y reproducirse .

Los nutrientes más importantes que no pueden faltar en el medio de cultivo para obtener una producción óptima son el Nitrógeno (*N*) y el Fósforo (*P*), aparte del Carbono (*C*). Las cantidades de nutrientes que se introducen en el medio tiene que ser también las óptimas y depende del tipo de microalga que se quiera producir, del mismo modo que con la temperatura, una deficiencia o un incremento de la cantidad puede influir inhibiendo el crecimiento (Kamrul Hasan Chowdury, et al., 2020).

La **luz** y su **intensidad** son otros de los factores ha tener en cuenta, ya que como se ha comentado en el apartado 4.1 de la Memoria, las microalgas son microorganismos fotosintéticos y por lo tanto necesitan luz para poder obtener la energía necesaria para su crecimiento, a través de la fotosíntesis.

La intensidad con la que reciben las microalgas la luz es proporcional a su crecimiento pero, como con los otros factores, cada especie de microalga posee una capacidad máxima de crecimiento con respecto a la variación de la intensidad lumínica, por lo que si se supera dicha intensidad el crecimiento se verá afectado, produciendo una fotoinhibición, *Figura M4.5*¹ (Kamrul Hasan Chowdury, et al., 2020).

Por otro lado, en la *Figura M4.6*² se muestra una gráfica de la relación entre la intensidad lumínica y la tasa fotosintética, la cual es directamente proporcional al crecimiento del microorganismo (Kamrul Hasan Chowdury, et al., 2020).

Hay que tener en cuenta que las microalgas necesitan un fotoperiodo para su crecimiento, es decir, ciclos de luz y oscuridad. Estos ciclos de luz y oscuridad están relacionados con el metabolismo fotosintético del microorganismo. En el fotoperiodo de luz la energía lumínica se transforma en energía química y se almacena, mientras que en el fotoperiodo de oscuridad esa energía química almacenada se utiliza para la realización de la fotosíntesis (M. Manzoni Maroneze, et al., 2019).

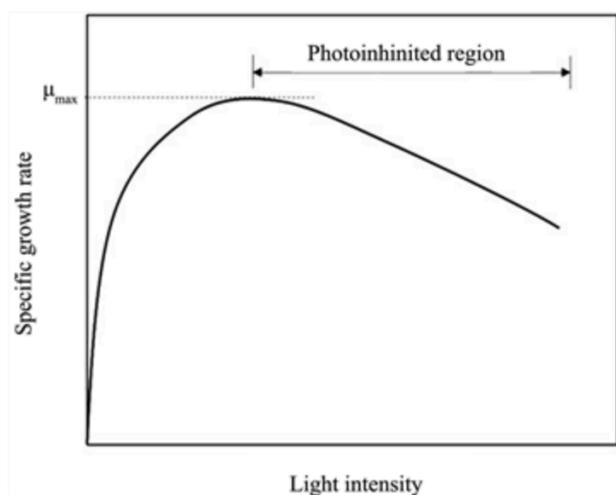


Figura M4.5. Fotoinhibición del crecimiento celular respecto a la intensidad lumínica

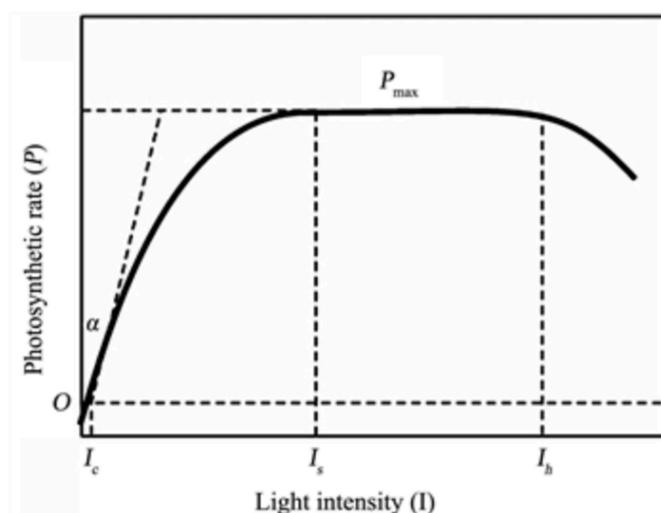


Figura M4.6. Tasa fotosintética respecto a la intensidad lumínica

¹ y ² Figuras extraídas de: (Kamrul Hasan Chowdury, et al., 2020)

El CO_2 es otro de los factores importantes a la hora de obtener un crecimiento óptimo de microalgas ya que para que se pueda producir un 1 kg de biomasa (microalgas) las microalgas necesitan consumir entre 1,8 y 2kg de CO_2 . El CO_2 que se encuentra en el aire no es suficiente por lo que se tiene que introducir de manera artificial, con aire rico en dióxido de carbono o con bicarbonato sódico (Kamrul Hasan Chowdury, et al., 2020).

Además, la inyección de CO_2 al medio y su procesado por las microalgas favorece la reducción de este gas de efecto invernadero, contribuyendo a la recuperación del medio ambiente (S.P. Singh, Priyanka Singh, 2014) (Kamrul Hasan Chowdury, et al., 2020).

El **pH** cobra una gran importancia ya que, en función de éste, las microalgas podrán absorber mejor o peor los nutrientes del medio y el CO_2 , afectando por tanto directamente al crecimiento de éstas. Cada especie de microalga tiene su rango óptimo de pH en el que puede metabolizar los nutrientes y el CO_2 . Aunque este suele variar entre los 7,5 y 8,5, hay especies que pueden tolerar amplios valores de pH, desde medios ácidos con pH de 3, hasta un medio más alcalino con un pH de 10.

Para controlar el pH y lograr que se encuentre entre los valores óptimos del cultivo de la especie a producir, la mejor opción es introducir directamente CO_2 al medio o realizar un ajuste ácido-base (Kamrul Hasan Chowdury, et al., 2020) (Renhe Qiu, et al., 2017).

Como se ha comentado, la gran mayoría de microalgas tienen una mayor productividad cuando se encuentran en medios neutros o ligeramente alcalinos, *Figura M4.7*¹.

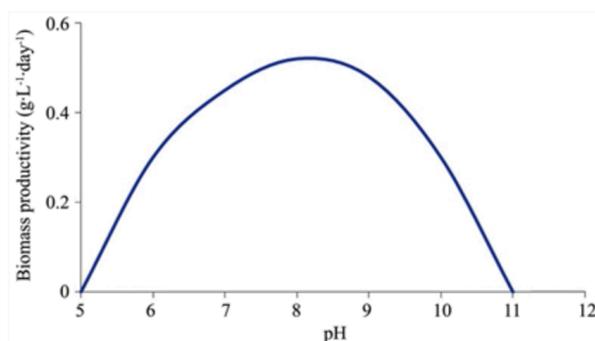


Figura M4.7. Influencia del pH en la productividad de las microalgas

¹ Figura extraída de: (Kamrul Hasan Chowdury, et al., 2020)

4.1.4 Sectores de interés en microalgas

En los últimos años las microalgas han adquirido una gran popularidad a nivel mundial debido al gran potencial que se ha descubierto que poseen, captando la atención de diversos sectores industriales por la amplia gama de aplicaciones que pueden desarrollar.

Entre ellos se encuentra el **sector alimentario**. Las microalgas se han utilizado durante siglos en la alimentación humana, pero debido al descubrimiento actual del gran aporte nutricional que proporcionan, como se ha comentado en el apartado 4.1.1, su empleo se ha disparado para cubrir las necesidades nutricionales de la población y también debido al gran potencial que tienen para prevenir enfermedades, comercializando el producto en forma de suplementos alimenticios (Aqualgae, 2020).

Los **sectores farmacéutico** y **cosmético** tienen gran interés en la extracción de los compuestos activos de las microalgas debido a sus propiedades. La industria farmacéutica tiene interés en las propiedades antioxidantes, anti-cancerígenas, anti-inflamatorias, antimicrobianas, etc. de las microalgas para el desarrollo de nuevos fármacos, mientras que la industria cosmética se centra en sus capacidades anti-envejecimiento, hidratante, regenerativa celular, estimulante etc., logrando una mejora en pieles intolerantes, rosáceas, atópicas, verrugas, etc., siendo estos sectores los que más valor añadido introducen al producto (Celia Delgado Tejera, 2020) (Cianoalgae, 2019).

Las microalgas también han ganado mucha popularidad en el **sector energético** ya que a partir de los lípidos de estos microorganismos se pueden emplear para la producción de biocombustibles y de este modo reducir el consumo de combustibles fósiles (I. C. Castellanos, et al., 2020).

Por otra parte, también son muy importantes en el **sector de la acuicultura** ya que son de las mejores fuentes de alimentación para los peces, bivalvos, camarones, etc., dado su alto contenido en ácidos grasos. A mayor cantidad y calidad de los ácidos grasos que ingieren, mayor calidad nutricional poseerán para el consumo humano (Aqua negocios S.A., s.f.).

Otras aplicaciones a destacar de las microalgas son en los sectores de **tratamiento de aguas residuales**, **agricultura** y en el **medio ambiente**, entre otras (Aqualgae, 2020).

Teniendo en cuenta todas las propiedades mencionadas en el apartado 4.1.1, y considerando los numerosos sectores en los que las microalgas pueden ser utilizadas debido a su amplia gama de aplicaciones, se está generando una gran expectativa global en el mercado de las microalgas, como se puede observar en la *Figura M4.8*¹.

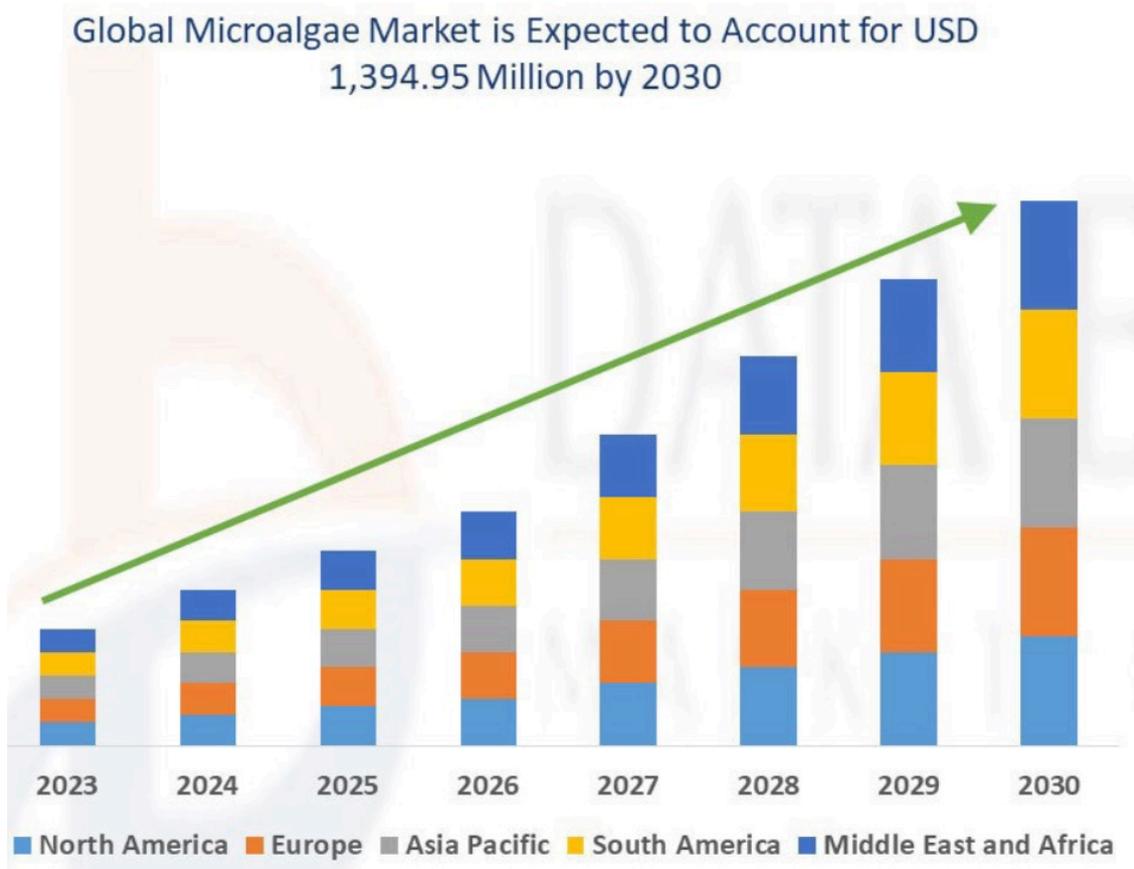


Figura M4.8. Expectativa del mercado global de las microalgas

¹ Figura extraída de: (Data Bridge Market Research, 2023)

4.1.5 Formatos de venta

Dependiendo del sector al que se vaya a comercializar la microalga, los formatos de venta de estos pueden variar.

Algunos de los formatos más utilizados son en **polvo seco** donde las microalgas se someten a un proceso de secado por atomización o por liofilización, obteniéndose una mayor vida útil al mantenerse en buen estado hasta dos años. También se pueden vender en forma de **pastas**, tanto frescas como congeladas. Esta pasta se obtiene sometiendo a la microalga a un proceso de centrifugación que le quitan gran parte del agua. La vida útil se reduce en este caso, la pasta fresca puede durar hasta un mes y la congelada hasta un año (Allmicroalgae, 2022).

En la *Figura M4.9*¹ se puede observar el formato de pasta fresca y en polvo.



Figura M4.9. Microalga en formato de pasta fresca y en polvo

¹ Figura extraída de: (Allmicroalgae, 2022)

4.2 Alga seleccionada: *Chlorella Vulgaris*

Para el presente proyecto se ha decidido trabajar con una única especie de microalga verde, dicha especie es la conocida como *Chlorella Vulgaris*.

La *C. Vulgaris* es una microalga con forma elipsoidal y de color verde debido a que contiene clorofila a y b, con un tamaño que ronda entre 2 y 10 μm como se puede observar en la *Figura M4.10*¹, con un crecimiento óptimo a una temperatura de 30 °C y un pH de 7-8 (I. Maruyama, et al., 1997, R. Moronta, et al., 2006). Esta microalga es capaz de crecer tanto en agua dulce como salada (J.A. Coronado-Reyes, et al., 2022), el cual es un factor muy importante a tener en cuenta a la hora de la localización de la actividad.



Figura M4.10. *Chlorella Vulgaris*

La *C. Vulgaris* es una especie con un valor nutricional muy alto la cual posee un 51,45% de proteína, un 11,86% de carbohidratos, un 12,18% de lípidos y un 9,18% de fibra; aunque estas composiciones pueden variar dependiendo del método de cultivo (A.G. Mohamed, et al., 2013).

Asimismo posee una considerable cantidad de alfa-tocoferol, luteína, alfa y beta caretono y una gran variedad de vitaminas como la C, D, E y K lo que les proporcionan una gran capacidad antioxidante (Universidad Panamericana, 2021). Varios estudios han demostrado que las propiedades de esta especie pueden ayudar a prevenir varias enfermedades dermatológicas, cardiovasculares, trastornos degenerativos, diabetes, anemia etc. (A. Rodrigues et al., 2023).

¹ Figura extraída de: (PhytoCode, s.f)

La selección de la especie *C. Vulgaris* se debe a su gran potencial de comercialización para su uso en criaderos marinos y en nutrición humana (por su alta composición de proteínas, carbohidratos y lípidos) y en las industrias cosméticas y farmacéuticas (por sus propiedades antioxidantes).

Además en futuras expansiones de mercado se ha considerado su uso potencial para la obtención de biocombustibles. Sin embargo, en el presente proyecto no se ha tenido en cuenta debido al encarecimiento de costes asociados a la introducción de un proceso adicional. Esto implica la ruptura de la estructura de la microalga, la extracción de los lípidos utilizando solventes como el hexano, seguido de una transesterificación y conversión posterior en biocombustible (C. Alba Quiñones, 2013).

Por lo tanto, como se ha mencionado anteriormente, la planta se enfocará a la producción de microalgas de la especie *Chlorella Vulgaris* con el propósito de comercializarlas en los sectores de acuicultura, nutrición humana, cosmética y farmacéutica. El producto se presentará en formato de polvo con un 5% de humedad, ya que este formato tiene una mayor vida útil en comparación con la presentación en forma de pasta.

Para poder llevar a cabo el crecimiento óptimo de la microalga, ésta se cultivará en un medio a una temperatura constante de $30^{\circ}C$ y un pH de 7-8, el cual se regulará con una corriente de aire enriquecida con un 6% de CO_2 como se ha comentado en el apartado 4.1.3, el CO_2 ayuda a controlar el pH del medio y favorece también el crecimiento de la especie (M. Anjos, et al., s.f.). Esta corriente gaseosa ayudará a la agitación del medio, incrementando la difusión del dióxido de carbono y del aire en el cultivo, y favoreciendo, por tanto, la fotosíntesis y la respiración de la microalga.

Asimismo, como se ha mencionado en el apartado 4.1.3, es importante seleccionar un fotoperiodo de luz:oscuridad adecuado para el crecimiento y la fotosíntesis de la especie *Chlorella Vulgaris*. Según la literatura (M. Belén Sathicq, 2017) un fotoperiodo adecuado para esta especie es de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad.

5. NORMAS Y REFERENCIAS

5.1 Normativa aplicada

Durante la realización del presente proyecto se han tenido en cuenta las siguientes normas.

- Norma UNE 157001:2014. Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.
- Norma UNE EN ISO 5455:1996. Dibujos técnicos. Escalas.
- Norma UNE 1026-2:1983 (ISO 5457). Dibujos técnicos. Formatos.
- Norma UNE 1035:1995 (ISO 7200). Dibujos técnicos. Cuadro de rotulación.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

5.2 Bibliografía

A. Abdulrahman, et al. "Study the Effect of Different Types Impellers on the Transfer Coefficient in Photobioreactor.", *Materials Science and Engineering* (2020). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/928/2/022144/pdf>.

A. Barba Juan. "Eq1041-Biotechnological Processes. Lesson 4. Microbial Kinetics." (s.f.).

A. Barba Juan. "Eq1041-Biotechnological Processes. Lesson 6. Gass-Liquid Mass Transfer Mixing." (s.f.).

A. Barba Juan, C. Clausell Terol. *Reactores Químicos Y Bioquímicos*, 2014.

A. Kazbar, et al. "Effect of Dissolved Oxygen Concentration on Microalgal Culture in Photobioreactors." *Algal Research* 39 (2019). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926418305216>.

A. Rodrigues et al. "Chlorella: Para Qué Sirve, Propiedades Y Contraindicaciones." 2023. <https://www.tuasaude.com/es/chlorella/>.

A.G. Mohamed, et al. "Quality of Novel Healthy Processed Cheese Analogue enhanced with Marine Microalgae *Chlorella Vulgaris* Biomass." (2013). <https://dx.doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.23.07.13122>.

Alexis Hernández Pérez, José I. Labbé. "Microalgas, Cultivo Y Beneficios." *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 49 (2014). <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>.

Alibaba. "Doypack Bags Filling Packing Machine Premade Bag De Remplissage Rotary Pouch Packing Machine." s.f. Accessed 19/06, 2023. https://www.alibaba.com/product-detail/Doypack-Bags-Filling-Packing-Machine-Premade_1600667508746.html?spm=a2700.7735675.0.0.3594nX0AnX0A9Q&s=p.

Alibaba. "Salt Resin Water Softening Water Softener System Automatic Electronic Industrial Agriculture Hard Water Softener for Boiler." s.f. Accessed 19/06, 2023.

Alibaba. "Tanque De Mezcla De Acero Inoxidable Personalizado,." s.f. Accessed 19/06, 2023. https://spanish.alibaba.com/p-detail/Customized-1600229672657.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.59bcd1f1SeqyUe&s=p.

Allmicroalgae. "Our Industrial Microalgae Species Production Process." 2022. <https://www.allmicroalgae.com/en/our-process-microalgae/>.

Aqua negocios S.A. "Industria Acuicola." s.f. https://www.industriaacuicola.com/nueva_version/index.php/blog/publicacion/10.

Aqualgae. "Sectores De Actividad." 2020. <https://aqualgae.com/es/sectores/>.

Aron. "What Is Algae | the Life Cycle of Algae." BOTNAM. 2023. https://botnam.com/life-cycle-of-algae/?utm_content=cmp-true.

B. Decostere. "Assessment of Microalgal Growth Kinetics through Respirometry and Titrimetry: Data Collection and Model Analysis." Ghent University, 2016. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi6jpiO_a7_AhVBTKQEHZ59AzQQFn0ECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fbackoffice.biblio.ugent.be%2Fdownload%2F7221885%2F7224368&usg=AOvVaw3f4rYnuUJv8mxrI0SuVgc-.

Bartosh, Y. "Physiological and Growth Responses of *Chlorella Vulgaris* and *Scenedesmus Subspicatus* to a Range of Environmental Factors." University of Southampton, 2004. <https://eprints.soton.ac.uk/465831/1/1000046.pdf>.

Biosfera. "Los Pigmentos Fotosintéticos." s.f. http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/Fisiologia_celular/activ12.htm.

Bombas hasa. "Bombas Hidráulicas." 2023. Accessed 03/07, 2023. <https://www.bombashasa.com/es/>.

Bupolsa. "Horizontal Elevado." s.f. Accessed 28/06, 2023. <https://www.bupolsa.com/producto/horizontal-elevado/#prettyPhoto>.

C. Alba Quiñones. "Extracción De Lípidos a Partir De La Microalga Chlorella Vulgaris." Universidad Del Valle, 2013. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/16752/0478812.pdf?sequence=1#:~:text=La%20extracción%20por%20solvente%20se,transesterificación%20y%20conversión%20a%20biodiesel>.

C. Enzing, et al. "Microalgae-Based Products for the Food and Feed Sector: An Outlook for Europe." (2014). <https://dx.doi.org/https://dx.doi.org/10.2791/3339>.

Calculadora Sueldo Neto. "Calculadora De Sueldo Neto En España." 2023. Accessed 25/06, 2023. <https://cincodias.elpais.com/herramientas/calculadora-sueldo-neto/>.

Celia Delgado Tejera. "Uso De Microalgas En La Industria Farmacéutica." Universidad de La Laguna, 2020. <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/21691/Uso%20de%20Microalgas%20en%20la%20Industria%20Farmaceutica.pdf?sequence=1>.

Cianoalgae. "Microalgas Para Su Uso En Cosmética Natural." 2019. <https://cianoalgae.com/ usos/cosmetica/>.

D. Manhaeghe, et al. "Experimental Assessment and Mathematical Modelling of the Growth of Chlorella Vulgaris under Photoautotrophic, Heterotrophic and Mixotrophic Conditions." *Water Research* 184 (2020). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135420306898#tbl5>.

D^a. Ruth Gabriela Ulloa Mercado. "Inducción De Productos Bioactivos En La Microalga Marina Tetraselmis Suecica." Universidad de Santiago de Compostela, 2011.

Data Bridge Market Research. "Global Microalgae Market - Industry Trends and Forecast to 2030." 2023. Accessed 06/06, 2023. <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-microalgae-market>.

E. Bermejo, et al. "Microalgae Culture Quality Indicators: A Review." *Critical Reviews in Biotechnology* 41 (2021). <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07388551.2020.1854672>.

Enyoung Lee. "Growth Kinetic Models for Microalgae Cultivation: A Review." *Algal Research* 12 (2015). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926415300783>.

Giovanni Antonio Lutz. "Analysis of the Growth of Microalgae in Batch and Semi-Batch Photobioreactors." Università degli Studi di Cagliari, 2011. <https://core.ac.uk/download/pdf/200221284.pdf>.

I. C. Castellanos, et al. "Microalgas Como Alternativa Sostenible Para La Producción De Biodiesel." *Revista ontare* 6 (2020). <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revistao/article/view/2425>.

I. Maruyama, et al. "Application of Unicellular Algae *Chlorella Vulgaris* for the Mass-Culture of Marine Rotifer *Brachionus*." 358 (1997). <https://dx.doi.org/10.1023/A:1003116003184>.

Imprenta Online. "Bolsas Doypack." 2023. Accessed 30/06, 2023. https://www.imprentaonline.net/bolsas-para-alimentacion?gclid=Cj0KCQjwnMWkBhDLARIsAHBOftopfw_7J_IeTqXzWaZzynSbo_as2VkiUcZ7XM5deevr_mvTrCOXv6bMaAgRoEALw_wcB.

Industrial Plankton. "Pbr 2500l." s.f. Accessed 19/06, 2023. <https://industrialplankton.com/photobioreactor/pbr-2500l/>.

J. Miñón Martínez. "https://www.ugr.es/~Mota/Qia_Seminario-1.Pdf." Universidad de Valladolid, s.f. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/1678/TFM-L34.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

J.A. Coronado-Reyes, et al. "Chlorella Vulgaris, a Microalgae Important to Be Used in Biotechnology: A Review." (2022). <https://dx.doi.org/https://doi.org/10.1590/fst.37320>.

J.L.B del Alamo. "Microalgas, La Nueva Fuente Proteica De Origen Vegetal Del Futuro." 2021. <https://fundacion-antama.org/microalgas-proteina-vegetal/>.

Jaime López. "Las Plantas Y Sus Pigmentos.", 2013. <http://universobotanico.blogspot.com/2013/08/las-plantas-y-sus-pigmentos.html>.

Kamrul Hasan Chowdury, et al. "The Growth Factors Involved in Microalgae Cultivation for Biofuel Production: A Review." *Computational Water, Energy and Environmental Engineering* 9 (2020). <https://dx.doi.org/10.4236/cweee.2020.94012>.

Khan Academy. "Introducción a La Fotosíntesis." s.f. <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/cellular-energetics/photosynthesis/a/intro-to-photosynthesis>.

Khan Academy. "Phases of Mitosis | Mitosis | Biology (Article)." s.f. <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/cell-communication-and-cell-cycle/cell-cycle/a/phases-of-mitosis>.

Leroy Merlin. "Codo 90° Pvc 25mm." s.f. Accessed 19/06, 2023. <https://www.leroymerlin.es/productos/jardin-y-terraza/piscinas/recambios-y-repuestos-para-piscinas/codo-90-hembra-hembra-25-mm-de-12164936.html?src=clk>.

Leroy Merlin. "Codo 90° Pvc 100mm." s.f. Accessed 19/06, 2023. <https://www.leroymerlin.es/productos/calefaccion-y-climatizacion/tubos-accesorios-y-mantenimiento/tubos-para-campanas-de-cocina-y-extractores-de-aire/codo-redondo-90o-d100-mm-81945598.html?src=clk>.

Leroy Merlin. "Tubo De Pvc 16mm." s.f. <https://www.leroymerlin.es/productos/electricidad-y-domotica/canalizar-y-ordenar-los-cables/tubos-rigidos/tubo-rigido-de-pvc-gris-de-16-mm-2-4-m-14003850.html?src=clk>.

Leroy Merlin. "Tubo De Pvc 25mm." s.f. https://www.leroymerlin.es/productos/electricidad-y-domotica/canalizar-y-ordenar-los-cables/tubos-rigidos/tubo-rigido-de-pvc-gris-de-25-mm-2-4-m-14003913.html?utm_campaign=LM_Conversion_AO_PerformanceMax_Todas_Categoria/final_Google_Conversion_OMD&gclid=CjwKCAjw44mlBhAQEiwAqP3eVtKjmsVSyCuz12BUzCcFZ0C9-uIAARZYi6SztbAOpE7YuxKIOIMSRoC6bkQAvD_BwE.

Leroy Merlin. "Tubo De Pvc 100mm." s.f. <https://www.leroymerlin.es/productos/jardin-y-terrazas/piscinas/recambios-y-repuestos-para-piscinas/tubo-de-evacuacion-de-pvc-diam-100-mm-1-1-m-64931454.html>.

Liliana M. Gómez Luna. "Microalgas: Aspectos Ecológicos Y Biotecnológicos." *Revista cubana de química* XIX (2007). <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543707001.pdf>.

Linde. "Carretillas Eléctricas." s.f. Accessed 19/06, 2023. <https://www.linde-mh.es/es/Productos/Carretillas-electricas/E16-E20-EVO/>.

M. Anjos, et al. "Influencia De La Concentración De Co₂ En El Crecimiento De Microalgas *Chlorella Vulgaris*." Universidad do Minho, s.f. https://smbb.mx/congresos_smbb/queretaro11/TRABAJOS/trabajos/VI/carteles/CVI-36.pdf.

M. Belén Sathicq. "Optimización De Un Cultivo De *Chlorella Vulgaris* En Función Del Fotoperíodo Y Del Control De Ph." *Biología Acuática* (2017). https://www.researchgate.net/publication/322576596_Optimizacion_de_un_cultivo_de_Chlorella_vulgaris_en_funcion_del_fotoperiodo_y_de_l_control_de_pH.

M. Manzoni Maroneze, et al. "The Role of Photoperiods on Photobioreactors – a Potential Strategy to Reduce Costs." *Bioresource Technology - Elsevier* 219 (2019). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416311245>.

M. Vinshu Priya, K. Ramesh. "Optimization of Process Parameters of the Growth of *Chlorella Vulgaris* for the Production of Biodiesel Feedstock (Microbial Lipid) Using Sago Wastewater as

Substrate." *Biomass Conversion and Biorefinery* 13 (2023). <https://dx.doi.org/https://doi.org/10.1007/s13399-021-01401-4>.

M^a D. Rodrigo Carbonell. *Operaciones Básicas De Flujo De Fluidos*. Edited by Publicaciones de la Universitat Jaume I, 2003.

María Bermúdez Saúco. "Revisión: Impacto De La Aplicación De Técnicas "Ómicas" En Microalgas En El Desarrollo De Nuevas Aplicaciones Biotecnológicas. Análisis De Las Potenciales Aplicaciones De *Nannochloropsis Gaditana*." Universidad de Cádiz, 2020. <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/23838/TFG%20-%20Mar%C3%ADa%20Bermúdez%20Saúco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Nuria Muñoz Tebar. "Nutrient Enrichment of Dairy Curd by Incorporation of Whole and Ruptures Microalgal Cells (*Nannochloropsis Salina*)."
Innovative Food Science & Emerging Technologies - Elsevier 82 (2022). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S146685642200296X>.

Paula Santiago Díaz, Milagros Ángeles Rico Santos. "Microalgas: Una Alternativa Frente a La Carne Y Los Ultraprocesados." 2021. <https://theconversation.com/microalgas-una-alternativa-frente-a-la-carne-y-los-ultraprocesados-171989>.

Phytocode. "Green Microalgae (*Chlorella Vulgaris*)."
s.f. <http://phytocode.net/phytoglossary/green-micro-algae-chlorella-vulgaris/>.

Precio Gas. "Precio Del Gas." 2023. Accessed 29/06, 2023. <https://precioagas.com/suministro-gas/tarifas-gas/precio-kwh>.

Primer, Science. "Mitosis." 2010. https://es.wikipedia.org/wiki/Mitosis#/media/Archivo:Événements_majeurs_de_la_Mitose_es.png.

R. Bustos Pariente. "Producción Y Cosechado De Biomasa De Microalgas Para Su Aprovechamiento Industrial." Universidad Complutense de Madrid, 2016.

R. Moronta, et al. "Respuesta De La Microalga *Chlorella* Sp. Al Ph, Salinidad Y Temperatura En Condiciones Axénicas Y No Axénicas." (2006). [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000100003#:~:text=En%20cultivos%20no%20axénicos%20de,4°C%20\(20%20y%2030\).](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000100003#:~:text=En%20cultivos%20no%20axénicos%20de,4°C%20(20%20y%2030).)

Ractem. "Estantería Maxplus." 2023. Accessed 30/06, 2023. <https://www.ractem.es/estanteria-maxplus.html>.

Ratioform. "Cjas Plegables De Cartón Ondulado." 2023. Accessed 30/06, 2023. <https://www.ratioform.es/p/cajas-plegables-de-carton-ondulado-de-600-hasta-799-mm-de-largo-6322352/>.

Renhe Qiu, et al. "Effects of Ph on Cell Growth, Lipid Production and Co₂ Addition of Microalgae *Chlorella Sorokiniana*." *Algal Research* 28 (2017). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926417305684>.

S.P. Singh, Priyanka Singh. "Effect of Co₂ Concentration on Algal Growth: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews - Elsevier* 38 (2014). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114003682>.

Tarifas de agua. "Precio Del Agua En España." 2023. Accessed 28/06, 2023. <https://tarifasdeagua.es/info/precio>.

Universidad de Granada. "Disolución De Gases En Agua. Procesos ácido Base Y Solubilidad." (s.f.). https://www.ugr.es/~mota/QIA_SEMINARIO-1.pdf.

Universidad Panamericana. "Superalimentos: *Chlorella*." 2021. <https://biblio.upmx.mx/boletin/documentos/2021/junio/cultura2.htm>.

Valeria Olmedo. "Carbohidratos Y Proteínas En Microalgas: Potenciales Alimentos Funcionales." *BRAZILIAN JOURNAL OF FOOD TECHNOLOGY* (2019). https://www.researchgate.net/publication/336283504_Carbohidratos_y_proteinas_en_microalgas_potenciales_alimentos_funcionales.

Vibrasec. "Plantas De Atomización." s.f. Accessed 28/06, 2023. <https://vibrasec.com/productos/plantas-de-secado-por-atomizacion/>.

Waterboards. "Oxígeno Disuelto." s.f. https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf.

Wikipedia. "Curva De Crecimiento Bacteriano." 2013. https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Curva_de_crecimiento_svg.svg).

Y. Boffill-Rodríguez, et al. "Estimación Cuantitativa Preliminar De Índices De Producción De Biomasa Microalgal a Partir De La Reacción De Fotosíntesis." (s.f.). <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v32n1/rtq04112.pdf>.

5.3 Programas informáticos

Para la realización del presente proyecto se han empleado los siguientes programas informáticos.

- Pages (versión 13.1)
- Microsoft Excel (versión 16.74)
- Microsoft Project
- Solid Works (versión 2022 - 2023)

6. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

En la Tabla M6.1 se presenta las abreviaturas y unidades empleadas en el presente proyecto para la ayuda de su comprensión.

Tabla M6.1. Símbolos y abreviaturas empleadas

SÍMBOLO /ABREVIATURA	DEFINICIÓN	UNIDADES
C. Vulgaris	Chlorella Vulgaris	-
c_X	Concentración de la microalga	$\frac{kg \text{ de } X}{m^3}$
c_S	Concentración del sustrato	$\frac{kg \text{ de } S}{m^3}$
c_{O_2}	Concentración de O_2	$\frac{kg \text{ de } O_2}{m^3}$
c_{CO_2}	Concentración de CO_2	$\frac{kg \text{ de } CO_2}{m^3}$
$C_{O_2}^*$	Concentración de O_2 de saturación	$\frac{kg \text{ de } O_2}{m^3}$
C_{O_2}	Concentración de O_2 disuelta	$\frac{kg \text{ de } O_2}{m^3}$
$C_{CO_2}^*$	Concentración de CO_2 de saturación	$\frac{kg \text{ de } CO_2}{m^3}$
C_{CO_2}	Concentración de CO_2 disuelta	$\frac{kg \text{ de } CO_2}{m^3}$
D	Diámetro de la conducción	m
FC	Flujo de caja	€/año
I	Inversión	€
IR	Índice de Rentabilidad	-
K_S	Constante del sustrato	-
$K_L a_{O_2}$	Coficiente de transferencia de entre la fase acuosa y gas del O_2	h^{-1}
$K_L a_{CO_2}$	Coficiente de transferencia de entre la fase acuosa y gas del CO_2	h^{-1}
m_{O_2}	Coficiente de mantenimiento de O_2	$\frac{kg \text{ de } O_2}{kg \text{ de } X \cdot h}$
	Masa de O_2	$kg \text{ de } O_2$

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

SÍMBOLO /ABREVIATURA	DEFINICIÓN	UNIDADES
m_{CO_2}	Coeficiente de mantenimiento de CO_2	$\frac{kg \text{ de } CO_2}{kg \text{ de } X \cdot h}$
	Masa de CO_2	$kg \text{ de } CO_2$
m_{oX}	Masa inicial de microalga	$kg \text{ de } X$
m_X	Masa de microalga	$kg \text{ de } X$
m_S	Masa de soluto	$kg \text{ de } S$
m_{agua}	Masa de agua	kg de agua
PR	Periodo de Retorno	Años
Q_{VA}	Caudal volumétrico de aire	$\frac{m^3}{h}$
Q_{VCO_2}	Caudal volumétrico de CO_2	$\frac{m^3}{h}$
Q_{Vo}	Caudal volumétrico de aire enriquecido con CO_2	$\frac{m^3}{h}$
Q_{vi}	Caudal volumétrico en las conducciones	$\frac{m^3}{h}$
R_X	Velocidad de crecimiento de la microalga	$\frac{kg \text{ de } X}{m^3 \cdot h}$
S	Sustrato	-
	Sección de la conducción	m^2
TIR	Tasa Interna de Retorno	%
$V_{\text{útil}}$	Volumen útil	$m^3 // L$
v_i	Velocidad del caudal	$\frac{m}{s}$
VAN	Valor Actual Neto	€
X	Microalga	-
$\frac{Y_{O_2}}{X}$	Cantidad de O_2 producido por cantidad de microalga producida	$\frac{kg \text{ de } O_2}{kg \text{ de } X}$
$\frac{Y_{CO_2}}{X}$	Cantidad de CO_2 consumido por cantidad de microalga producido	$\frac{kg \text{ de } CO_2}{kg \text{ de } X}$
$\frac{Y_S}{X}$	Cantidad de sustrato consumido por cantidad de microalga producida	$\frac{kg \text{ de } S}{kg \text{ de } X}$

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

SÍMBOLO /ABREVIATURA	DEFINICIÓN	UNIDADES
$\frac{Y_X}{S}$	Cantidad de microalga producida por cantidad de sustrato consumida	$\frac{kg \text{ de } X}{kg \text{ de } S}$
μ	Tasa específica de crecimiento	h^{-1}
μ_{max}	Tasa máxima específica de crecimiento	h^{-1}

7. REQUISITOS DE DISEÑO

A la hora de realizar el diagrama de flujo de la planta, se han considerado varias opciones, que difieren en los procesos aguas abajo del biorreactor, teniendo en cuenta los diferentes procedimientos para el tratamiento de la la microalga según el formato de venta seleccionado. En este caso, se ha elegido el formato de polvo, como se ha comentado en el apartado 4.2, y se seguirá el proceso descrito en la *Figura M7.1*.

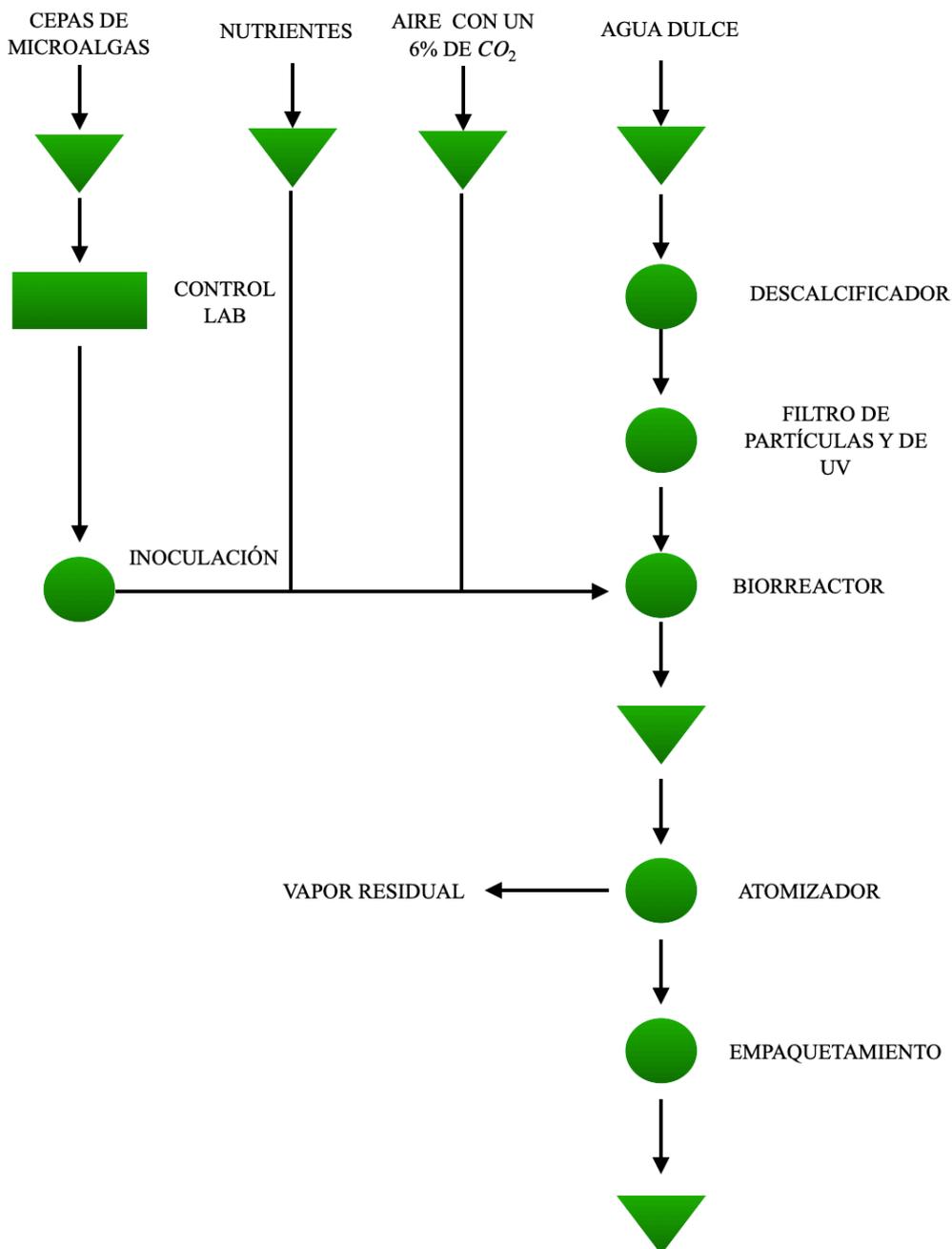


Figura M7.1. Diagrama de proceso para la obtención de las microalgas

Las otras configuraciones alternativas de la planta incluirían, tras el almacenamiento de las microalgas frescas obtenidas en el biorreactor, la centrifugación del producto para eliminar una gran parte del agua, obteniendo así la pasta de microalga. Esta pasta podría ser enviada directamente al proceso de empaquetado o, alternativamente, congelada y luego empacada, almacenándose posteriormente en una cámara frigorífica .

Se ha decidido no realizar estas dos líneas adicionales debido a que los productos frescos y/o congelados poseen una vida útil menor, por lo que es menos atractivo para las empresas. Además, la congelación supondría un gasto energético adicional que encarecería el producto acabado.

7.1 Tratamiento del agua del medio

Como se ha comentado en el apartado 4.2 la microalga seleccionada puede proliferar tanto en agua dulce como en agua salada, por lo que para el proceso de este proyecto se ha decidido emplear agua dulce como medio de cultivo.

Esta decisión ha sido tomada debido a la mayor facilidad de acceso a agua dulce con respecto al agua salada, de este modo la planta se puede ubicar en cualquier localización. No obstante, con la configuración con agua salada (la cual también es posible) la planta estaría condicionada a emplazarse en una localización cercana a la costa para poder extraer el agua de mar.

7.1.1 Descalcificado

Para el proceso, se debe recoger un volumen determinado de agua de la red y almacenarse en un depósito adecuado. Cuando se necesite agua para empezar el cultivo, se extraerá la cantidad necesaria del depósito y se introducirá en un descalcificador. Se utiliza un descalcificador debido a que al emplear agua dulce directamente de la red de suministro, y dependiendo de la ubicación en la que se lleve a cabo la actividad, esta agua puede contener grandes cantidades de cal. Esta cal puede convertirse en un problema grave durante el proceso, especialmente en las tuberías de los equipos,

ya que existe la posibilidad de que se formen incrustaciones en su interior, lo cual afectaría al flujo del caudal, obstruiría bombas, etc.

Por otro lado, es importante poseer un depósito para el agua, ya que se podrían ocurrir cortes de suministro debido a razones externas a la actividad. De este modo, siempre se dispondrá de una cantidad con la que poder continuar el proceso .

7.1.2 Filtro de partículas y UV

Tras el descalcificador el agua debe pasar por un filtro de partículas y un filtro de UV para eliminar sedimentos y otros tipos de partículas en suspensión, además de eliminar cualquier tipo de microorganismo que pueda poseer el agua y pueda afectar al crecimiento de la microalga.

Al realizar el proceso a gran escala, no es necesario someter el agua a esterilización mediante autoclave, ya que ello implicaría un alto consumo de energía y tiempo .

7.2 Recepción de la cepa, de los nutrientes y del dióxido de carbono

Tras recibir la cepa de la microalga *C. Vulgaris*, ésta se envía al laboratorio donde se realiza un control de calidad para verificar que la especie está en las condiciones óptimas para su uso en el biorreactor, observando el color, la movilidad y la concentración. Una vez que se han verificado las condiciones de la especie, estará lista para ser inoculada en el biorreactor.

Además, tras recibir la cepa también se realiza un cultivo en un biorreactor de laboratorio, de este modo se autoproduce la cantidad necesaria para inocular cada semana el biorreactor por lo que se evita de este modo comprar la cepa cada mes.

Por otra lado, se recibe el sustrato para el crecimiento de las microalgas y el CO_2 y se almacenan hasta que sean necesario utilizarlos.

7.3 Biorreactor

Una vez que el agua ha sido descalcificada y ha pasado por los filtros respectivos, se introduce la cantidad necesaria dentro del biorreactor. Tras el llenado, y una vez aclimatada el agua a la temperatura óptima, se añade el inóculo y el sustrato necesario para el crecimiento de la especie.

Tras una adecuada agitación, la inyección de la corriente de aire enriquecida con CO_2 y el fotoperiodo de programado luz:oscuridad, se obtendrá la cantidad deseada de biomasa tras el tiempo necesario.

7.4 Secado por atomización

Tras el crecimiento del cultivo, el contenido del biorreactor se vacía y se almacena en un depósito con agitación adecuado para su posterior procesamiento a través del atomizador, que opera con una temperatura del aire de $150\text{ }^{\circ}C$ con el fin de eliminar el 95% del contenido en agua del cultivo. De este manera, se obtiene un polvo de *Chlorella Vulgaris* con un 5% de humedad .

7.5 Empaquetado y almacenamiento

Una vez obtenido el polvo de *Chlorella Vulgaris*, éste se envía a la zona de empaquetado donde se procede a realizar paquetes de 1kg cerrados herméticamente para que no se alteren las propiedades ni la humedad de la microalga.

Tras el empaquetado, se envía el producto a la zona de almacenamiento y se guarda hasta realizar el suministro a la empresa correspondiente.

8. PLANIFICACIÓN

Para poder realizar el presente proyecto de manera correcta se tiene que llevar a cabo la planificación de las tareas que se tiene que realizar para estimar la duración y la relación de dependencia entre estas. A continuación, en la Tabla A8.1 se presentan las tareas necesarias que se tiene que realizar junto a la duración de estas.

Tabla A8.1. Listado de las tareas del proyecto y su duración

TAREA	ACTIVIDAD	DURACIÓN (días)	INICIO	FIN	TAREA PREDECESORA
A	Compra de la parcela	10	12/02/2024	23/02/2024	-
B	Adecuación de la parcela	20	26/02/2024	22/03/2024	A
C	Obra civil	110	25/03/2024	23/08/2024	B
D	Instalación eléctrica y de fontanería	20	26/08/2024	20/09/2024	C
E	Compra de los equipos y materia prima	30	23/09/2024	01/11/2024	D
F	Instalación de los equipos	20	04/11/2024	29/11/2024	E
G	Conexión entre los equipos	15	02/12/2024	20/12/2024	F
H	Formación de los operarios y pruebas	10	23/12/2024	03/01/2024	G
I	Puesta en marcha	-	06/01/2025	-	H

Una vez establecidas las actividades y la duración de éstas, se procede a realizar el diagrama de Gantt o diagrama de barras (*Figura A8.1*) donde se muestra de manera gráfica la duración de cada actividad para completar el presente proyecto.

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

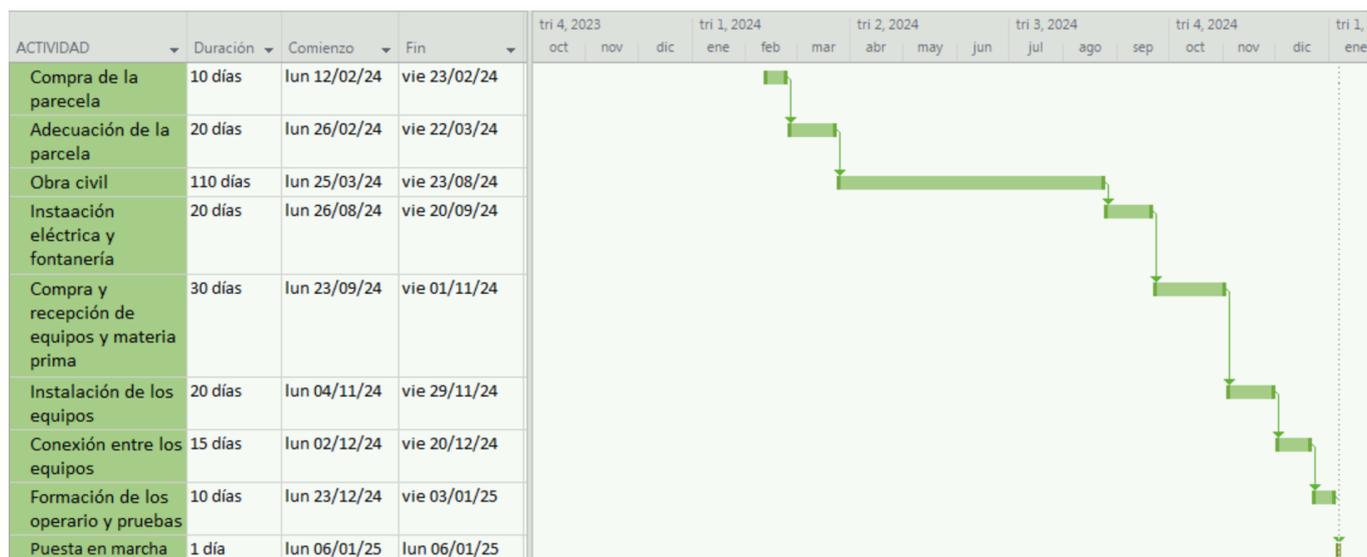


Figura A8.1. Diagrama de Gantt del proyecto

Dentro de la actividad de pruebas que se realiza al proceso, se distinguen tres fases:

- * Precomisionado (estático) y comisionado (dinámico) de la planta: Comprobación de que lo instalado coincide con los planos y prueba de equipos e instalaciones.
- * Puesta en marcha propiamente dicha (“performance test” y “test run”): Entrada de materias primas, establecimiento de las condiciones de operación y obtención de productos.
- * Pruebas de garantía de la planta: comprobación de la capacidad de producción y de la calidad y rendimiento de los productos. Determinación de los costes de producción y comprobación del correcto funcionamiento de los equipos.

La duración de los plazos de cada actividad tienen una duración aproximada debido a que cabe la posibilidad de que se produzcan ciertos retrasos ajenos. Como se puede observar a partir del diagrama de Gantt, desde el inicio de la planificación del proyecto hasta su finalización transcurrirán 225 días laborales con una jornada laboral de 8h al día durante cinco días a la semana.

Tras la finalización de todas las actividades necesarias para poner en marcha la planta de producción de microalgas, se estima que la fase de explotación empiece el Lunes 06/01/2025, de este modo se cumple con la producción estimada de 45 cosechas al año como se ha indicado en el Anexo I. Cálculos, del documento Anexos.

9. ORDEN DE PRIORIDAD DE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS

Según la normal UNE 157001:2014 “Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico”, establece el orden de prioridad de los documentos los cuales se presentan a continuación.

1. Memoria
2. Anexos
3. Planos
4. Pliego de Condiciones
5. Estado de Mediciones
6. Presupuesto

10. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

En los siguientes apartados se recoge toda la información obtenida sobre los gastos y la inversión de la planta para poder estudiar la viabilidad económica de esta y de este modo comprobar su rentabilidad.

Para determinar el presupuesto de operación, es necesario calcular tanto los ingresos como los gastos directos e indirectos del proyecto. A continuación, se presentará una proyección a lo largo de un período de 25 años.

Para llevar a cabo estos cálculos se debe tener en cuenta como el valor del dinero varía con el tiempo, de modo que para determinar el valor de cada año se emplea la ecuación M10.1.

$$C_n = C_o \cdot \left(1 + \frac{IPC}{100}\right)^{n-1} \quad (M10.1)$$

Donde, los valores actualizados para el año 2023 son:

$IPC = 1,9\%$ (Índice de Precios al Consumo)

$i_n = 3,25\%$ (Interés nominal)

$i_r = 1,35\%$ (Interés real)

El interés real se calcula de la siguiente manera.

$$i_r = i_n - IPC = 3,25 - 1,9 = 1,35\%$$

10.1 Resumen del presupuesto

En este apartado se recogen todos los datos calculados en el documento Presupuesto del presente proyecto en forma de resumen. En la Tabla M10.1 se presenta el valor de cada partida junto con el valor total del PEM.

Tabla M10.1. Presupuesto de Ejecución de Material (PEM)

PARTIDA	COSTE (€)
Parcela	872.720,00
Obra civil	853.335,64
Maquinaria	416.620,67
Conducciones y accesorios	96,68
Mano de obra	62.493,10
PEM	2.205.266,10

Tras conocer el PEM, se realiza el cálculo del Presupuesto de Ejecución Material (PEM), para ello una vez obtenido el PEM, se aplican un 20% adicional por concepto de gastos generales y cargas fiscales, así como un 6% por beneficio industrial, como se muestra en la Tabla M10.2.

Tabla M10.2. Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)

CONCEPTO	COSTE (€)
PEM total	2.205.266,10
Gastos generales (20%)	441.053,22
Beneficio industrial (6%)	132,315,97
PEC	2.778.635,29

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Por último, la determinación del presupuesto total, que representa la inversión inicial, se realiza aplicando el 3% de honorarios por la elaboración del proyecto y el 21% de IVA (Impuesto sobre el Valor Añadido) al PEC, como se muestra en la Tabla M10.3.

Tabla M10.3. Presupuesto total

CONCEPTO	COSTE (€)
PEC	2.778.635,29
Elaboración del proyecto (3%)	83.359,06
IVA (21%)	583.513,41
Presupuesto	3.445.507,76

El presupuesto total del proyecto “*Diseño de una planta para la obtención de microalgas*” asciende a **TRES MILLONES CUATROCIENTOS CUARENTA Y CINCO MIL QUINIENTOS SIETE EUROS CON SETENTA Y SEIS CÉNTIMOS.**

10.2 Presupuesto de explotación

Como se puede observar en el apartado 3.2.11 del Anexo III. del documento Anexos, el gasto total de la planta es de 652.424,46 €. Este gasto total se representa como la suma de gastos directos e indirectos, como se puede observar a partir de la ecuación M10.2.

$$G_T = G_D + G_I \quad (M10.2)$$

Donde:

G_T = Gastos totales (€/año)

G_D = Gastos directos (€/año)

G_I = Gastos indirectos (€/año)

10.2.1 Gastos directos

Los gastos directos son los gastos que están directamente relacionados con la producción, los cuales se muestran a continuación.

*Coste de materia prima

*Coste del consumo de agua

*Coste del consumo de gas natural

*Coste eléctrico de la maquinaria

*Coste del personal

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

A continuación se va a detallar el coste de la materia prima calculado en el apartado 3.2.2 del Anexo III. del documento Anexos. En la Tabla M10.4. se presentan los costes de la materia prima.

Tabla M10.4. Coste de la materia prima anual

COSTE DE LA MATERIA PRIMA	COSTE TOTAL (€/año)
	146.116,03

A continuación se va a detallar el coste del consumo de agua calculado en el apartado 3.2.3 del Anexo III. del documento Anexos. En la Tabla M10.5. se presentan los costes del consumo de agua.

Tabla M10.5. Coste del consumo de agua

COSTE DEL CONSUMO DE AGUA	COSTE TOTAL (€/año)
	210,10

A continuación se va a detallar el coste del consumo de gas natural calculado en el apartado 3.2.4 del Anexo III. del documento Anexos. En la Tabla M10.6. se presentan los costes de gas natural.

Tabla M10.6. Coste del consumo de gas natural

COSTE DE GAS NATURAL	COSTE TOTAL (€/año)
	12.026,40

A continuación se va a detallar el coste del consumo eléctrico de la maquinaria calculado en el apartado 3.2.6 del Anexo III. del documento Anexos. En la Tabla M10.7. se presentan los costes del consumo eléctrico de la maquinaria .

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tabla M10.7. Coste del consumo eléctrico de la maquinaria

COSTE DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LA MAQUINARIA	COSTE TOTAL (€/año)
	28.903,39

A continuación se va a detallar el coste del personal calculado en el apartado 3.2.7 del Anexo III. del documento Anexos. En la Tabla M10.8. se presentan los costes del personal.

Tabla M10.8. Coste del personal

COSTE DEL PERSONAL	COSTE TOTAL (€/año)
	244.440,00

En la Tabla M10.9. se presenta el resumen de todos los gastos directos mencionados anteriormente.

Tabla M10.9. Gasto directo de la planta

GASTO DE LA PLANTA	
TIPO DE COSTE	COSTE ANUAL (€/año)
Materia prima	146.116,03
Consumo eléctrico de la maquinaria	28.903,39
Consumo de agua	210,10
Consumo de gas natural	12.026,40
Personal	244.440,00
GASTO DIRECTO DE LA PLANTA	431.695,92

10.2.2 Gastos indirectos

Los gastos indirectos son los gastos que no están directamente relacionados con la producción, los cuales se muestran a continuación.

*Coste del consumo de agua del personal

*Coste eléctrico de la planta

*Coste de servicios

*Coste del seguro

*Amortización

A continuación se va a detallar el coste del consumo de agua del personal calculado en el apartado 3.2.3 del Anexo III. del documento Anexos. En la Tabla M10.10 se presentan los costes del consumo de agua del personal.

Tabla M10.10. Coste del consumo de agua del personal

COSTE DEL CONSUMO DE AGUA DEL PERSONAL	COSTE TOTAL (€/año)
	420,20

A continuación se va a detallar el coste del consumo eléctrico de la planta calculado en el apartado 3.2.5 del Anexo III. del documento Anexos. En la Tabla M10.11 se presentan los costes del consumo eléctrico de la planta.

Tabla M10.11. Coste del consumo eléctrico de la planta

COSTE DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LA PLANTA	COSTE TOTAL (€/año)
	55.531,87

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

A continuación se va a detallar el coste de servicios calculado en el apartado 3.2.8 del Anexo III. del documento Anexos. En la Tabla M10.12. se presentan los costes de servicios.

Tabla M10.12. Coste de servicios

COSTE DE SERVICIOS	COSTE TOTAL (€/año)
	33.183,60

A continuación se va a detallar el coste del seguro calculado en el apartado 3.2.9 del Anexo III. del documento Anexos. En la Tabla M10.13. se presentan los costes del seguro.

Tabla M10.13. Coste del seguro

COSTE DEL SEGURO	COSTE TOTAL (€/año)
	35.000,00

A continuación se va a detallar el coste de la amortización calculado en el apartado 3.2.10 del Anexo III. del documento Anexos. En la Tabla M10.14. se presentan los costes de la amortización.

Tabla M10.14. Coste de la amortización

COSTE DE LA AMORTIZACIÓN	COSTE TOTAL (€/año)
	96.592,87

La amortización se ha calculado de la siguiente manera.

$$\text{Amortización} = \frac{I_{\text{Maquinaria}}}{15 \text{ años}} + \frac{I_{\text{Edificación}} + I_{\text{Conducciones y accidentes}} + I_{\text{Instalación eléctrica}}}{25 \text{ años}}$$

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

En la Tabla M10.15. se presenta el resumen de todos los gastos indirectos mencionados anteriormente.

Tabla M10.15. Gasto indirecto de la planta

GASTO DE LA PLANTA	
TIPO DE COSTE	COSTE ANUAL (€/año)
Consumo de agua del personal	420,20
Consumo eléctrico de la planta	55.531,87
Servicios	33.183,60
Seguro	35.000,00
Amortización	96.592,87
GASTO INDIRECTO DE LA PLANTA	220.728,54

10.2.3 Gastos totales

En la Tabla M10.16. se presenta el resumen de la suma de los gastos mencionados anteriormente.

Tabla M10.16. Gastos totales

GASTO TOTAL DE LA PLANTA	
GASTO	COSTE ANUAL (€/año)
Gasto directo	431.695,92
Gasto indirecto	220.728,54
GASTO TOTAL DE LA PLANTA	652.424,46

Para los cálculos de la viabilidad económica, el gasto total y la amortización poseen un valor negativo debido a que se producen salidas de dinero de la planta.

10.3 Ingresos

Los ingresos corresponden a las ganancias monetarias generadas por la planta en el marco de este proyecto. Teniendo en cuenta que el producto a comercializar tiene un rango de valor entre 30 €/kg y 100 €/kg, se ha establecido un precio de 85,5 €/kg para el polvo de *C. Vulgaris*. Esta elección se fundamenta en el alto valor añadido que se obtiene al producir este producto en condiciones altamente controladas y tecnológicas, lo que garantiza la obtención de un polvo de microalga de excelente calidad.

Por lo tanto, sabiendo que al año se producen 12 toneladas de *C. Vulgaris* en polvo con un 5% de humedad, se obtiene un ingreso de 1.027.282,5 €/año.

10.4 Beneficio

10.4.1 Beneficio bruto

Una vez que se conocen los valores de los ingresos y los gastos totales de la empresa, se realiza el cálculo de los beneficios generados, teniendo en cuenta que el beneficio bruto se define como la suma entre los ingresos, los gastos totales y la amortización, como se muestra en la ecuación M10.3.

$$B_B = I + G_T + A \quad (\text{M10.3})$$

Donde:

B_B = Beneficio bruto (€/año)

I = Ingresos (€/año)

A = Amortización (€/año)

10.4.2 Beneficio neto

El beneficio neto se define como el beneficio restante después de reducir los impuestos del beneficio bruto, según se muestra en la ecuación M10.4. Se estima que los impuestos representan el 25% del beneficio bruto.

$$B_N = B_B \cdot 0,75 = B_B - B_B \cdot 0,25 \quad (\text{M10.4})$$

Donde:

B_N = Beneficio neto (€/año)

10.5 Flujo de caja

El flujo de caja representa el flujo de efectivo que entra y sale en un periodo determinado de tiempo. Este se define como la resta del beneficio neto y la amortización como muestra la ecuación M10.5.

$$FC = B_N - A \quad (\text{M10.5})$$

Donde:

FC = Flujo de caja (€/año)

10.6 Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es un método de evaluación de inversiones que implica calcular el valor actualizado de los flujos de entrada y salida de efectivo de un proyecto, con el fin de determinar la ganancia o pérdida resultante de cada inversión. Este se calcula a partir de la ecuación M10.6.

$$VAN = -I_o + \sum_{n=1}^n \frac{FC_n}{(1 + i_r)^n} \quad (\text{M10.6})$$

Donde:

VAN = Valor Actual Neto (€)

I_o = Inversión inicial (€)

FC_n = Flujo de cajad del año n (€/año)

n = Año

Hay que tener en cuenta que dependiendo del valor del VAN el proyecto se puede clasificar de las siguientes maneras.

* $VAN > 0$ → El proyecto genera ganancias, por lo tanto, el proyecto es rentable.

* $VAN = 0$ → El proyecto no genera ganancias ni pérdidas.

* $VAN < 0$ → El proyecto no es rentable para el periodo de tiempo determinado.

10.7 Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés que una inversión ofrece, en otras palabras, es el porcentaje de pérdida o ganancia que una inversión generará para las cantidades que permanecen invertidas en el proyecto. Por esta razón, se busca un proyecto con una TIR superior a la tasa de interés convencional del dinero. Este se calcula mediante la ecuación M10.7.

$$0 = -I_o + \sum_{n=1}^n \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n} \quad (M10.7)$$

10.8 Periodo de Retorno (PR)

El Periodo de Retorno es una estimación del tiempo que llevará en recuperar la inversión inicial del proyecto. Esta predicción se calcula mediante la ecuación M10.8.

$$PR = \frac{I_0}{FC_{medio}} \quad (M10.8)$$

10.9 Índice de Rentabilidad (IR)

El Índice de Rentabilidad es un valor que indica la cantidad monetaria que se gana por cada unidad monetaria invertida. Esta valor se calcula mediante la ecuación M10.9.

$$IR = \frac{\sum_{n=1}^n \frac{FC}{(1 + \frac{i_r}{100})^n}}{I_0} \quad (M10.9)$$

Hay que tener en cuenta que dependiendo del valor del IR el proyecto se puede clasificar de las siguientes maneras.

*IR < 1 → El proyecto no es viable. La empresa invierte mas de lo necesario por lo que el proyecto no debe continuar.

*IR = 1 → Significa que es probable que el proyecto se pueda recuperar.

*IR > 1 → El proyecto debe continuar porque es probable que se recupere.

10.10 Análisis de sensibilidad

En el siguiente apartado se analiza la variación del Valor Actual Neto en relación al precio por kilo que se asignará al producto. En la Tabla M10.17 se presentan los distintos precios del producto junto con los ingresos correspondientes y el VAN asociado a cada uno.

Tabla M10.17. Variación del VAN en función del precio del producto

PRECIO (€/kg)	INGRESO (€/año)	VAN (€)
30	360.450	-8.835.236,25
35	420.525	-7.648.355,31
40	480.600	-6.461.474,36
45	540.675	-5.274.593,417
50	600.750	-4.087.712,471
55	660.825	-2.900.831,525
60	720.900	-1.713.950,58
65	780.975	-527.069,634
70	841.050	659.811,3117
75	901.125	1.846.692,257
80	961.200	3.033.573,203
85	1.021.275	4.220.454,15
90	1.081.350	5.407.335,094
95	1.141.425	6.594.216,04
100	1.201.500	7.781.096,986

A continuación en la *Figura M10.1* se muestra la gráfica de la evolución del VAN con respecto al precio impuesto al producto.

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

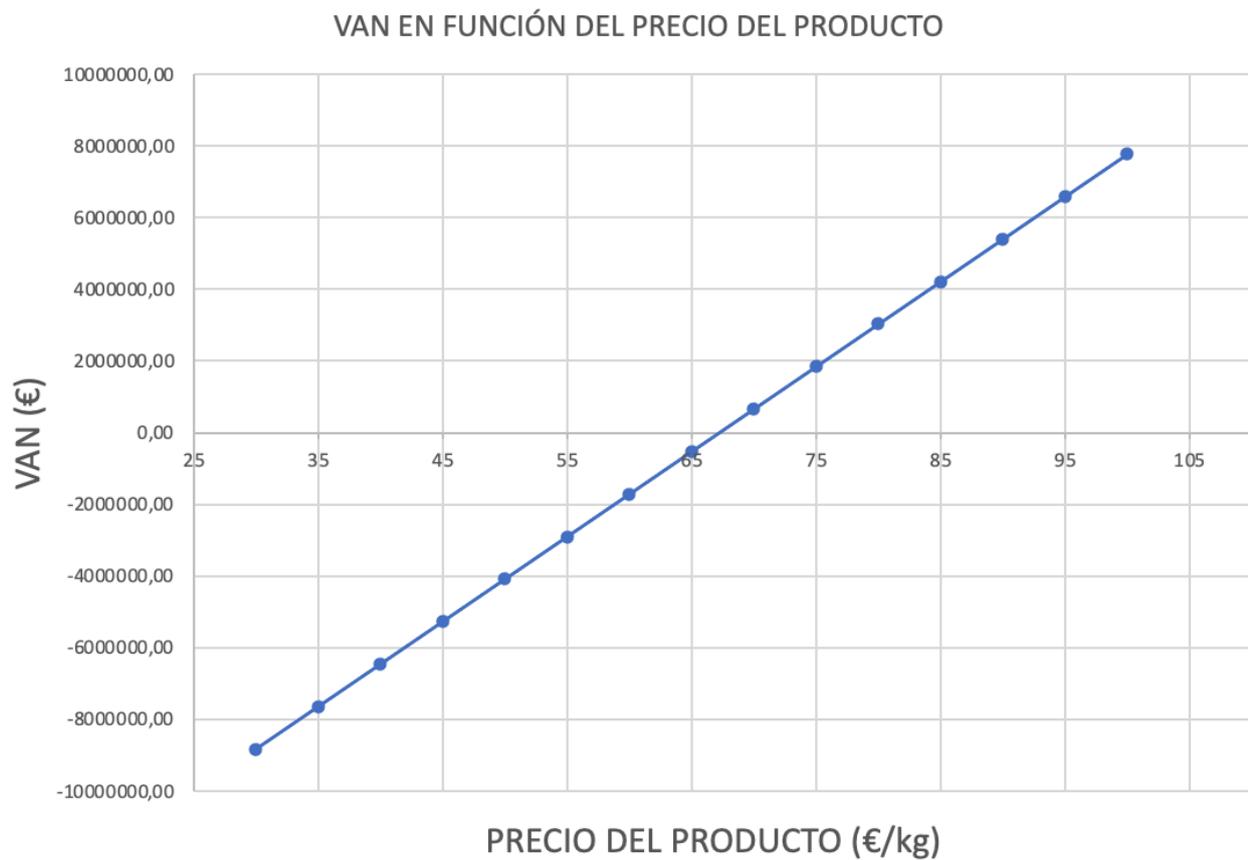


Figura M10.1. Gráfica de la evolución del VAN en función del precio del producto

En consecuencia, luego de realizar un análisis de sensibilidad y considerando el coste de producción, así como la tecnología utilizada, se puede concluir que el precio seleccionado de 85,5 €/kg para la venta del producto es óptimo para garantizar un beneficio positivo para la planta.

10.11 Resumen y conclusión de la viabilidad económica

Tras realizar el estudio de viabilidad económica y obtener todos los indicadores económicos, siendo estos el VAN, TIR, PR e IR, en la Tabla M10.18 se muestran los valores obtenidos de los indicadores económicos.

Tabla M10.18. Indicadores económicos tras el estudio de viabilidad económica

VAN (€)	4.339.132,4
TIR (%)	3,94
PR (AÑOS)	9,24
IR	2,26

Como se puede observar, el valor del VAN es muy alto con un valor de 4.339.132,4 € lo que nos indica la cantidad del dinero generado tras 25 años de actividad. Al ser mayor que cero, nos indica que proyecto genera ganancias y por consiguiente es rentable.

En cuanto al TIR, este tiene un valor del 3,94% siendo el valor que hace que el VAN sea cero, superando el valor del interés real empleado de 1,35%.

Además, se obtiene un PR de 9,24 años, lo que nos indica el periodo en el que se recupera toda la inversión inicial empleada en el proyecto. El tiempo de recuperación de la inversión inicial es corto teniendo en cuenta la magnitud de la planta, lo que nos indica que el proyecto es viable.

Por último, en cuanto al IR este tiene un valor de 2,26, mayor a 1, lo que nos indica que el proyecto debe continuar con la actividad ya que hay gran probabilidad de que se recupere de la inversión inicial.

A continuación en la Tabla M10.19 se muestra el estudio de viabilidad económica realizado.

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tabla M10.19. Estudio de viabilidad económica

AÑO	COSTES (€)	INGRESOS (€)	AMORTIZACIÓN (€)	B. BRUTO (€)	B. NETO (€)	FC (€)	$\frac{FC_n}{(1+i_r)^n}$ (€)
1	-652.424,46	1.027.282,00	-96592,87	278.264,67	208.698,50	305.291,37	301.224,84
2	-664.820,52	1.046.800,36	-96592,87	285.386,96	214.040,22	310.633,09	302.412,83
3	-677.452,11	1.066.689,56	-96592,87	292.644,58	219.483,44	316.076,31	303.613,22
4	-690.323,70	1.086.956,67	-96592,87	300.040,09	225.030,07	321.622,94	304.826,00
5	-703.439,86	1.107.608,84	-96592,87	307.576,12	230.682,09	327.274,96	306.051,15
6	-716.805,21	1.128.653,41	-96592,87	315.255,33	236.441,50	333.034,37	307.288,66
7	-730.424,51	1.150.097,83	-96592,87	323.080,44	242.310,33	338.903,20	308.538,53
8	-744.302,58	1.171.949,68	-96592,87	331.054,24	248.290,68	344.883,55	309.800,74
9	-758.444,33	1.194.216,73	-96592,87	339.179,53	254.384,65	350.977,52	311.075,30
10	-772.854,77	1.216.906,85	-96592,87	347.459,21	260.594,41	357.187,28	312.362,18
11	-787.539,01	1.240.028,08	-96592,87	355.896,20	266.922,15	363.515,02	313.661,40
12	-802.502,25	1.263.588,61	-96592,87	364.493,49	273.370,12	369.962,99	314.972,94
13	-817.749,79	1.287.596,79	-96592,87	373.254,13	279.940,60	376.533,47	316.296,80
14	-833.287,04	1.312.061,13	-96592,87	382.181,22	286.635,92	383.228,79	317.632,98
15	-849.119,49	1.336.990,29	-96592,87	391.277,93	293.458,45	390.051,32	318.981,47
16	-865.252,76	1.362.393,11	-27774,71	469.365,64	352.024,23	379.798,94	306.459,93
17	-881.692,57	1.388.278,58	-27774,71	478.811,30	359.108,48	386.883,19	308.017,97
18	-898.444,72	1.414.655,87	-27774,71	488.436,44	366.327,33	394.102,04	309.585,87
19	-915.515,17	1.441.534,33	-27774,71	498.244,45	373.683,34	401.458,05	311.163,65
20	-932.909,96	1.468.923,49	-27774,71	508.238,81	381.179,11	408.953,82	312.751,36
21	-950.635,25	1.496.833,03	-27774,71	518.423,07	388.817,30	416.592,01	314.349,03
22	-968.697,32	1.525.272,86	-27774,71	528.800,83	396.600,62	424.375,33	315.956,70
23	-987.102,57	1.554.253,04	-27774,71	539.375,76	404.531,82	432.306,53	317.574,39
24	-1.005.857,52	1.583.783,85	-27774,71	550.151,62	412.613,72	440.388,43	319.202,16
25	-1.024.968,81	1.613.875,75	-27774,71	561.132,22	420.849,17	448.623,88	320.840,04
						\overline{FC}	$\sum \frac{FC_n}{(1+i_r)^n}$
						372.906,33	7.784.640,12

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

3. ANEXOS

ÍNDICE DEL ANEXO

1. ANEXO I. CÁLCULOS	4
1.1 Biorreactor	5
1.1.1 Balance de materia a X	6
1.1.2 Balance de materia a O_2	6
1.1.3 Balance de materia a CO_2	7
1.1.4 Balance de materia a S	8
1.2 Cálculo de la corriente de aire enriquecida con CO_2	9
1.2.1 Absorción de CO_2	10
1.2.2 Producción de O_2	13
1.3 Producción	16
1.3.1 Cálculo de la masa del biorreactor	16
1.3.2 Cálculo del sustrato	19
1.3.3 Cálculo del agua para el cultivo	23
1.3.4 Cálculo de la cosecha	23
1.4 Conducciones	24
1.4.1 Longitud y diámetro de las conducciones	25
1.4.2 Cálculo de las bombas	26
1.5 Material de almacenamiento	32
1.5.1 Cálculo de la cantidad de almacenamiento del producto acabado	32
1.5.2 Cálculo de la cantidad de almacenamiento de sustrato, CO_2 y bolsas herméticas	33
ANEXOS	1

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

1.6 Superficies de la planta	34
1.6.1 Cálculo de la superficie del almacén de producto acabado	34
1.6.2 Cálculo de la superficie de almacén del sustrato y del CO_2	35
1.6.3 Cálculo de la superficie de almacén del material de empaquetamiento	36
1.6.4 Cálculo de la superficie que ocupa la línea de producción	36
1.7 Cálculos de la instalación eléctrica	38
2. ANEXO II. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA	40
2.1 Tabla Racional de Actividades (TRA)	40
2.2 Selección de la parcela	42
2.3 Distribución de la planta	49
3. ANEXO III. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA	50
3.1 Equipos y material de la planta	50
3.1.1. Depósito de agua	50
3.1.2 Descalcificador	51
3.1.3 Biorreactor	52
3.1.4 Depósito con agitación para el cultivo	54
3.1.5 Atomizador	55
3.1.6 Empaquetamiento	56
3.1.7 Bombas	57
3.1.8 Carretilla elevadora	58
3.1.9 Conducciones	59
3.1.10 Estanterías y cajas de almacenaje	61
ANEXOS	2

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

3.1.11 Bolsas herméticas de almacenaje	63
3.2 Presupuesto de explotación	64
3.2.1 Ingresos	64
3.2.2 Coste de la materia prima	64
3.2.3 Coste del consumo del agua	65
3.2.4 Coste del consumo de gas natural	65
3.2.5 Coste del consumo eléctrico de la planta	66
3.2.6 Coste del consumo eléctrico de la maquinaria	67
3.2.7 Coste del personal	69
3.2.8 Coste del servicios	70
3.2.9 Coste del seguro	71
3.2.10 Amortización	71
3.2.11 Gastos de la planta	72
4. ANEXO IV. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	73
5. ANEXO V. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	79
5.1 Descripción del proceso	79
5.2 Impacto ambiental del proceso	79
5.2.1 Medidas	80
5.2.1.1 Medidas contra los contaminantes sólidos	80
5.2.1.2 Medidas contra los contaminantes líquidos	80
5.2.1.3 Medidas contra los contaminantes gaseosos	80
6. ANEXO VI. RÁTIOS ECONÓMICOS	82
ANEXOS	3

1. ANEXO I. CÁLCULOS

Para el presente proyecto, se va a trabajar con un biorreactor con un volumen útil de $1,25 m^3$, de este modo obtener una cuota de mercado del 0,6 % de la producción de Europa la cual es de 2000 toneladas al año de *C. Vulgaris* (C. Enzing, et al., 2014). Por otro lado, se ha decidido que el tiempo de cultivo dentro del biorreactor sea de 72 horas.

Para este proceso se ha decidido realizar una cosecha a la semana, por lo que la planta va a funcionar de Lunes a Viernes con dos turnos, uno de mañana (06:00 h → 14:00 h) y otro de tarde (14:00 h → 22:00 h).

Los ciclos de trabajo se detallan a continuación:

*Lunes 06:30h a 10:30h se realiza la preparación inicial del biorreactor la cual dura 4h.

*Lunes 10:30h a Jueves 10:30h se produce el cultivo del biorreactor el cual dura 72h.

*Jueves 10:30h a 14:30h vaciado, limpieza y esterilización el biorreactor para la semana siguiente, la cual dura 4h.

*Jueves 10:30 a Jueves 18:00 h se seca por atomización el cultivo y de 18:00h a 22:00h se empaqueta y se almacena.

*Viernes 06:30h a 14:00h otras actividades.

Como se ha comentado solo se trabaja entre semana, no se trabaja los fines de semana y tampoco estará funcionando la planta la última semana de Diciembre, la primera semana de Enero y todo el mes de Agosto. Por lo tanto la planta no estará en funcionamiento durante 7 semanas, lo que nos deja con 45 semanas de trabajo al año, es decir, 45 cosechas del biorreactor al año.

En los siguientes apartados se detallan los cálculos necesarios para llevar a cabo el diseño de la planta para la obtención de microalgas.

1.1 Biorreactor

El biorreactor es el equipo más importante de la planta sin el cual no sería posible la realización de la actividad. Este equipo se va a encargar de mantener el cultivo en las condiciones óptimas para el crecimiento de las microalgas.

Para que sea posible el cultivo de las microalgas, hay que especificar primero las reacciones de crecimiento y respiración de la microalga (B. Decostere, 2016).

Crecimiento de microalgas: $CO_2 + S \rightarrow X + O_2$

Respiración de microalgas: $O_2 + X \rightarrow X + CO_2$

Dado que en el proceso se va a retirar el cultivo cuando se encuentre en la fase exponencial, no se toma en cuenta la reacción de decaimiento de las microalgas. A partir de estas reacciones se procede a realizar los balances de materia a cada componente, los cuales se detallan en los siguientes apartados.

Todos los cálculos y valores fueron obtenidos para una temperatura óptima de 30 °C.

1.1.1 Balance de materia a X

Para el balance de materia a X, se parte de la cinética de crecimiento de Monod (ecuación A1.1) (A. Barba Juan, s.f.).

$$R_X = \mu \cdot c_X = \frac{\mu_{max} \cdot c_S}{K_S + c_S} \cdot c_X \quad (A1.1)$$

La ecuación A1.1 se puede aproximar de la siguiente manera (ecuación A1.2) si el sustrato se encuentra siempre en exceso sin llegar a la inhibición (B. Decostere, 2016).

$$R_X \simeq \mu_{max} \cdot c_X \quad (A1.2)$$

Por lo tanto, la ecuación para el balance de materia a X se queda de la siguiente manera (ecuación A1.3).

$$\frac{dc_X}{dt} = \mu_{max} \cdot c_X \quad (A1.3)$$

Donde:

$$\mu_{max} = 0,078 \text{ h}^{-1} \text{ (R. Bustos Pariente, 2016).}$$

1.1.2 Balance de materia a O_2

El balance de materia al O_2 se describe con la ecuación A1.4.

$$\frac{dc_{O_2}}{dt} = Y_{O_2} \cdot R_X + (K_L a_{O_2} \cdot (C_{O_2}^* - C_{O_2})) + m_{O_2} \cdot c_X \quad (A1.4)$$

Donde:

$$Y_{O_2/X} = 1,5 \left(\frac{kg \text{ de } O_2}{kg \text{ de } X} \right) \text{ (A. Kazbar, et al., 2019).}$$

$$K_L a_{O_2} = (16,3 \cdot 1,026^{(T-20)}) \cdot 24 = 505,67 \text{ h}^{-1}. \text{ (D. Manhaeghe, et al., 2020)}$$

$$C_{O_2}^* = (14,161 + 0,3943 \cdot T + 0,0077144 \cdot T^2 - 0,0000646 \cdot T^3) \cdot 10^{-3} = 0,00753 \left(\frac{kg \text{ de } O_2}{m^3} \right)$$

(A. Barba Juan, s.f.)

$$C_{O_2} = 0,0076 \left(\frac{kg \text{ de } O_2}{m^3} \right) \text{ (Waterboards s.f)}$$

$$m_{O_2} = 0,0114 \left(\frac{kg \text{ de } O_2}{kg \text{ de } X \cdot h} \right) \text{ (Y. Bartosh 2004)}$$

1.1.3 Balance de materia a CO_2

El balance de materia al CO_2 se describe con la ecuación A1.5.

$$\frac{dc_{CO_2}}{dt} = -Y_{CO_2/X} \cdot R_X + (K_L a_{CO_2} \cdot (C_{CO_2}^* - C_{CO_2})) + m_{CO_2} \cdot c_X \quad (A1.5)$$

Donde:

$$Y_{CO_2/X} = 1,83 \left(\frac{kg \text{ de } CO_2}{kg \text{ de } X} \right) \text{ (Y. Boffill-Rodríguez, et al., s.f.)}$$

$$K_L a_{CO_2} = 0,9 K_L a_{O_2} \text{ según (A. Abdulrahman, et al., 2020), por lo tanto } K_L a_{CO_2} = 455,103 \text{ h}^{-1}.$$

$$C_{CO_2}^* = 1,46 \left(\frac{kg \text{ de } CO_2}{m^3} \right) \text{ (Universidad de Granada, s.f.)}$$

$$C_{CO_2} = 1,35 \left(\frac{kg \text{ de } CO_2}{m^3} \right) \text{ (J. Miñón Martínez, s.f.)}$$

$$m_{CO_2} = 0,0084 \left(\frac{kg \text{ de } CO_2}{kg \text{ de } X \cdot h} \right)$$

El valor de m_{CO_2} se obtuvo teniendo en cuenta la reacción de respiración de la siguiente manera:



$$m_{CO_2} = 0,0084 \left(\frac{kg \text{ de } CO_2}{kg \text{ de } X \cdot h} \right)$$

1.1.4 Balance de materia a S

El balance de materia al S se describe con la ecuación A1.6.

$$\frac{dc_S}{dt} = -Y_{\frac{S}{X}} \cdot R_X \quad (A1.6)$$

Donde:

$$Y_{\frac{S}{X}} = 1,026 \left(\frac{kg \text{ de } S}{kg \text{ de } X} \right)$$

Obtenida a partir de $Y_{\frac{X}{S}} = 0,975 \text{ (Kg } X/\text{Kg } S)$ (M. Vinshu Priya, K. Ramesh, 2023) de la siguiente manera:

$$Y_{\frac{S}{X}} = \frac{1}{Y_{\frac{X}{S}}} = \frac{1}{0,975} = 1,026 \left(\frac{kg \text{ de } S}{kg \text{ de } X} \right)$$

1.2 Cálculo de la corriente de aire enriquecida con CO_2

Como se ha comentado en el apartado 4.2 de la Memoria, al biorreactor se le introducirá una corriente de aire enriquecida con un 6% de CO_2 (Figura A1.1).

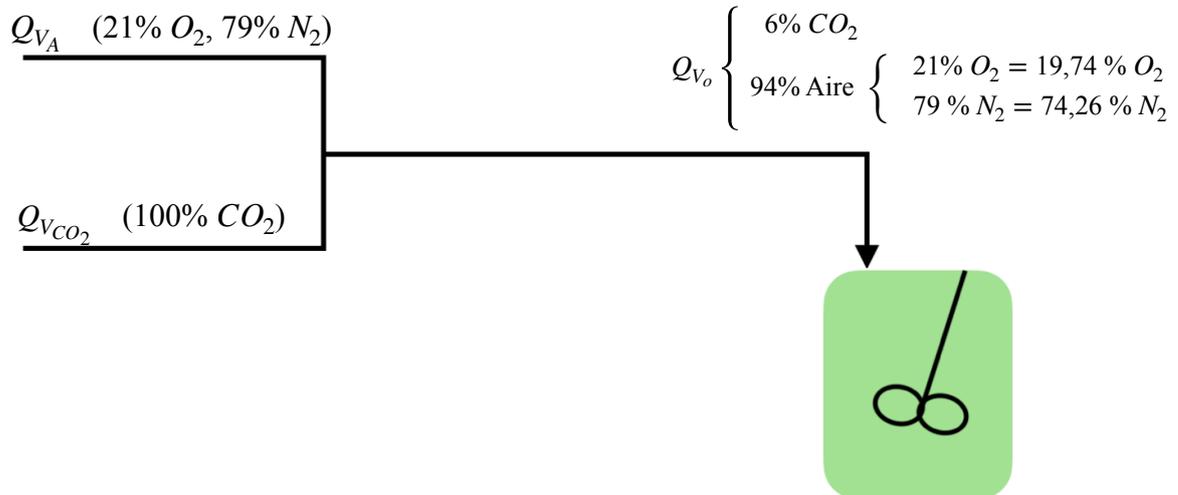


Figura A1.1. Esquema simplificado de la corriente de entrada al biorreactor

Realizando un balance de materia a las corrientes y después a los componentes se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones.

$$\left. \begin{array}{l} Q_o = Q_{V_A} + Q_{V_{CO_2}} \\ Q_o \cdot 0,06 = Q_{V_A} \cdot 0 + Q_{V_{CO_2}} \cdot 1 \\ Q_o \cdot 0,1974 = Q_{V_A} \cdot 0,21 + Q_{V_{CO_2}} \cdot 0 \\ Q_o \cdot 0,7426 = Q_{V_A} \cdot 0,79 + Q_{V_{CO_2}} \cdot 0 \end{array} \right\} \text{ Si } Q_{V_A} = 0,01 \left(\frac{m^3}{h} \right) \rightarrow Q_o = \frac{0,01 \cdot 0,21}{0,1974} = 0,010638 \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

$$Q_o = Q_{V_A} + Q_{V_{CO_2}} \rightarrow Q_{V_{CO_2}} = 0,010638 - 0,01 \rightarrow Q_{V_{CO_2}} = 6,38 \cdot 10^{-4} \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

Sabiendo la cantidad de CO_2 que se necesita a la hora, se calcula la cantidad necesaria durante el funcionamiento del biorreactor.

$$6,38 \cdot 10^{-4} \left(\frac{m^3}{h} \right) \cdot 72 \text{ (h)} = 4,6 \cdot 10^{-2} \left(\frac{m^3}{\text{cosecha}} \right)$$

1.2.1 Absorción de CO_2

Como la cantidad máxima de CO_2 que hay en el medio es de $1,45 \left(\frac{kg \text{ de } CO_2}{m^3} \right)$, se ha empleado ese valor como concentración inicial para la ecuación A1.5, por lo que los datos de la evolución de la absorción de CO_2 se muestran en la Tabla A1.1.

Tabla A1.1. Evolución de la absorción de CO_2

Tiempo (h)	$C_{CO_2} \left(\frac{kg \text{ de } CO_2}{m^3} \right)$
0	1,45
1	658,25
2	1315,04
3	1971,83
4	2628,61
5	3285,40
6	3942,18
7	4598,95
8	5255,73
9	5912,49
10	6569,26
11	7226,01
12	7882,76
13	8539,51
14	9196,25
15	9852,98
16	10509,70
17	11166,42
18	11823,13
19	12479,82
20	13136,51

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tiempo (h)	$C_{CO_2} \left(\frac{kg \text{ de } CO_2}{m^3} \right)$
21	13793,18
22	14449,85
23	15106,49
24	15763,13
25	16419,75
26	17076,35
27	17732,93
28	18389,50
29	19046,04
30	19702,56
31	20359,05
32	21015,52
33	21671,95
34	22328,36
35	22984,73
36	23641,07
37	24297,36
38	24953,61
39	25609,82
40	26265,97
41	26922,07
42	27578,11
43	28234,09
44	28890,00
45	29545,83
46	30201,58
47	30857,25
48	31512,82
49	32168,29

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tiempo (h)	$C_{CO_2} \left(\frac{kg \text{ de } CO_2}{m^3} \right)$
50	32823,65
51	33478,89
52	34134,00
53	34788,97
54	35443,79
55	36098,45
56	36752,93
57	37407,22
58	38061,31
59	38715,18
60	39368,80
61	40022,16
62	40675,25
63	41328,03
64	41980,48
65	42632,57
66	43284,29
67	43935,58
68	44586,43
69	45236,80
70	45886,64
71	46535,91
72	47184,57

Como se puede observar, tras 72h de funcionamiento del biorreactor las microalgas han absorbido una concentración de CO_2 de $47184,57 \left(\frac{kg \text{ de } CO_2}{m^3} \right)$. Para conocer la cantidad de CO_2 absorbido se realiza el siguiente cálculo:

$$m_{CO_2} = 47184,57 \left(\frac{kg \text{ de } CO_2}{m^3} \right) \cdot 1,25 \text{ (m}^3\text{)} = 58980,71 \text{ kg de } CO_2$$

1.2.2 Producción de O_2

Como la cantidad de O_2 que posee el medio es de $0,076 \left(\frac{kg \text{ de } O_2}{m^3} \right)$, se ha empleado ese valor como concentración inicial para la ecuación A1.4, por lo que los datos de la evolución de la producción de O_2 se muestran en la Tabla A1.2.

Tabla A1.2. Evolución de la producción de O_2

Tiempo (h)	$C_{O_2} \left(\frac{kg \text{ de } O_2}{m^3} \right)$
0	0,01
1	0,00
2	-0,01
3	-0,01
4	-0,01
5	-0,01
6	0,00
7	0,01
8	0,02
9	0,04
10	0,06
11	0,08
12	0,11
13	0,15
14	0,19
15	0,24
16	0,29

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tiempo (h)	$C_{O_2} \left(\frac{kg \text{ de } O_2}{m^3} \right)$
17	0,35
18	0,42
19	0,50
20	0,58
21	0,68
22	0,79
23	0,91
24	1,04
25	1,18
26	1,34
27	1,52
28	1,71
29	1,92
30	2,15
31	2,40
32	2,68
33	2,98
34	3,31
35	3,67
36	4,05
37	4,48
38	4,94
39	5,44
40	5,99
41	6,58
42	7,22
43	7,92
44	8,68
45	9,50

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tiempo (h)	$C_{O_2} \left(\frac{kg \text{ de } O_2}{m^3} \right)$
46	10,39
47	11,36
48	12,41
49	13,54
50	14,77
51	16,11
52	17,55
53	19,12
54	20,81
55	22,65
56	24,63
57	26,78
58	29,11
59	31,63
60	34,36
61	37,31
62	40,51
63	43,96
64	47,70
65	51,75
66	56,12
67	60,86
68	65,98
69	71,52
70	77,51
71	83,99
72	91,00

Como se puede observar, tras 72h de funcionamiento del biorreactor las microalgas han producido una concentración de O_2 de $91 \left(\frac{kg \text{ de } O_2}{m^3} \right)$. Para conocer la cantidad de O_2 producida se realiza el siguiente cálculo:

$$m_{O_2} = 91 \left(\frac{kg \text{ de } O_2}{m^3} \right) \cdot 1,25 \text{ (m}^3\text{)} = 113,75 \text{ kg de } O_2$$

1.3 Producción

1.3.1 Cálculo de la masa del biorreactor

Para obtener el 0,6 % de la cuota de mercado se parte de una concentración inicial de la cepa de microalga de $0,23 \left(\frac{kg \text{ de } X}{m^3} \right)$, por lo que para un volumen útil de $1,25 \text{ m}^3$ se introduce dentro del biorreactor la siguiente masa de *C. Vulgaris*.

$$\text{masa inicial } m_{oX} = 0,23 \left(\frac{kg \text{ de } X}{m^3} \right) \cdot 1,25 \text{ (m}^3\text{)} = 0,288 \text{ kg de } X$$

A partir de la ecuación A1.3 se obtienen los datos de la concentración de *C. Vulgaris*, los cuales se muestran en la Tabla A1.3.

Tabla A1.3. Evolución de la concentración de *C. Vulgaris*

Tiempo (h)	$C_X \left(\frac{kg \text{ de } X}{m^3} \right)$
0	0,23
1	0,25
2	0,27
3	0,29
4	0,31
5	0,34

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tiempo (h)	$C_X \left(\frac{\text{kg de } X}{\text{m}^3} \right)$
6	0,37
7	0,40
8	0,43
9	0,46
10	0,50
11	0,54
12	0,59
13	0,63
14	0,69
15	0,74
16	0,80
17	0,87
18	0,94
19	1,01
20	1,09
21	1,18
22	1,28
23	1,38
24	1,50
25	1,62
26	1,75
27	1,89
28	2,04
29	2,21
30	2,39
31	2,58
32	2,79
33	3,02
34	3,26

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tiempo (h)	$C_X \left(\frac{\text{kg de } X}{\text{m}^3} \right)$
35	3,53
36	3,81
37	4,12
38	4,46
39	4,82
40	5,21
41	5,63
42	6,09
43	6,58
44	7,12
45	7,69
46	8,32
47	8,99
48	9,72
49	10,51
50	11,36
51	12,28
52	13,28
53	14,36
54	15,52
55	16,78
56	18,14
57	19,62
58	21,21
59	22,93
60	24,79
61	26,80
62	28,97
63	31,32

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tiempo (h)	$C_X \left(\frac{kg \text{ de } X}{m^3} \right)$
64	33,86
65	36,61
66	39,58
67	42,79
68	46,26
69	50,02
70	54,07
71	58,46
72	63,20

Como se puede observar, tras 72 horas de cultivo dentro del biorreactor se obtiene una concentración final de la microalga de $63,2 \left(\frac{kg \text{ de } X}{m^3} \right)$, obteniendo la masa final de la siguiente manera.

$$masa \text{ final } m_X = 63,2 \left(\frac{kg \text{ de } X}{m^3} \right) \cdot 1,25 \text{ (m}^3\text{)} = 79 \text{ kg de } X \text{ (0\% de humedad)}$$

1.3.2 Cálculo del sustrato

Para que el cultivo crezca con una tasa máxima de crecimiento hay que conocer que cantidad de sustrato se necesita para poder satisfacer dicho crecimiento. Teniendo en cuenta la tasa de la cantidad de sustrato que se consume por cantidad de microalga que se produce ($Y_{\frac{S}{X}}$) y la cantidad que se quiere producir, se obtiene la cantidad de sustrato que se necesita de la siguiente manera.

$$masa \text{ de sustrato } m_S = 79 \text{ (kg } X\text{)} \cdot 1,026 \left(\frac{kg \text{ de } S}{kg \text{ de } X} \right) = 81,1 \left(\frac{kg \text{ de } S}{cosecha} \right)$$

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Para conocer la concentración de sustrato que se tiene que introducir en el biorreactor para satisfacer este crecimiento, se calcula de la siguiente manera.

$$c_s = \frac{81,1}{1,25} = 64,88 \approx 65 \left(\frac{\text{kg de } S}{\text{m}^3} \right)$$

A partir de la ecuación A1.6 se muestra los datos de la evolución del consumo del sustrato en la Tabla A1.4

Tabla A1.4. Evolución del consumo del sustrato

Tiempo (h)	$C_S \left(\frac{\text{kg de } S}{\text{m}^3} \right)$
0	65,00
1	64,98
2	64,96
3	64,94
4	64,91
5	64,89
6	64,86
7	64,83
8	64,80
9	64,76
10	64,72
11	64,68
12	64,63
13	64,59
14	64,53
15	64,48
16	64,41
17	64,35
18	64,28

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tiempo (h)	$C_S \left(\frac{kg \text{ de } S}{m^3} \right)$
19	64,20
20	64,11
21	64,02
22	63,92
23	63,82
24	63,70
25	63,58
26	63,44
27	63,30
28	63,14
29	62,97
30	62,79
31	62,59
32	62,37
33	62,14
34	61,89
35	61,62
36	61,32
37	61,01
38	60,66
39	60,29
40	59,89
41	59,46
42	58,99
43	58,48
44	57,94
45	57,34
46	56,70
47	56,01

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tiempo (h)	$C_S \left(\frac{\text{kg de } S}{\text{m}^3} \right)$
48	55,26
49	54,45
50	53,58
51	52,63
52	51,61
53	50,50
54	49,31
55	48,02
56	46,62
57	45,11
58	43,48
59	41,71
60	39,80
61	37,74
62	35,51
63	33,10
64	30,49
65	27,67
66	24,63
67	21,33
68	17,77
69	13,92
70	9,76
71	5,26
72	0,39

1.3.3 Cálculo del agua para el cultivo

Para obtener la cantidad de agua necesaria para el proceso, se parte del volumen útil del biorreactor, la cantidad de masa que se quiere producir y la cantidad correspondiente de sustrato que hay que emplear. Teniendo en cuenta la densidad del agua, podemos afirmar que:

$$V_{\text{útil}} = 1,25m^3 = 1250 \text{ L} \approx 1250 \text{ kg}$$

Por otro lado, se puede considerar que la densidad del nutriente es parecida a la del agua debido a que es una disolución acuosa concentrada. Por lo tanto la cantidad de agua necesaria para la producción de cultivo es:

$$m_{\text{agua}} = 1250 - 79 - 81,1 = 1089,9 \text{ kg de agua}$$

1.3.4 Cálculo de la cosecha

Como se ha comentado en el apartado 7.4 del documento Memoria, tras pasar por el atomizador el polvo de microalga contiene un 5% de humedad, por lo que se calcula la cantidad de agua correspondiente a ese porcentaje y se le añade a la cantidad de biomasa que se produce por cosecha.

$$5 \% \text{ de } 1089,9 \text{ kg de agua} = 54,5 \text{ kg de agua}$$

$$79 \text{ kg de X (0\% de humedad)} + 54,5 \text{ kg de agua} = 133,5 \text{ kg de X (5\% de humedad)}$$

Empleando 2 biorreactores en la planta, se obtiene la siguiente producción semanal:

$$133,5 \left(\frac{\text{kg de X}}{\text{cosecha}} \right) \cdot 2 \text{ Biorreactores} = 267 \left(\frac{\text{kg de X}}{\text{cosecha}} \right)$$

Sabiendo que se cosecha 45 veces al año, se obtiene la siguiente producción anual:

$$267 \left(\frac{\text{kg de X}}{\text{cosecha}} \right) \cdot 45 \left(\frac{\text{cosecha}}{\text{año}} \right) = 12015 \left(\frac{\text{kg de X}}{\text{año}} \right) \approx 12 \left(\frac{\text{ton de X}}{\text{año}} \right)$$

1.4 Conducciones

En los siguientes apartados se detalla la selección del diseño de las conducciones para el proceso y el cálculo de la potencia necesaria de las bombas.

Durante el proceso, se transporta agua, por lo que se ha decidido emplear PVC como material de las conducciones debido a que es un material muy resistente, con gran durabilidad, soporta el paso de agua a alta presión, es inerte y muy económico en comparación con otros tipos de materiales. Por otro lado, es posible transportar el agua por los distintos puntos de la planta gracias al empleo de bombas.

En la *Figura A1.2* se muestran el diagrama de flujo del proceso con sus respectivos tramos. Los tramos en los que se va a detallar el diseño de las conducciones son, el tramo 1 a 2, del 4 al 5 y del 8 al 13. Para la conducción 3 no se va a realizar los cálculos debido a que el depósito se encuentra en altura por lo que no se requiere emplear una bomba para impulsar el agua, y por otro lado la conducción 7 y 8 al biorreactor tampoco se van a estudiar debido a que el biorreactor empleado lleva incluido su propio sistema de filtración de partículas y UV que están conectados entre sí, por lo que no hace falta añadir ninguna corriente para unir los filtros al biorreactor. La adición de las corrientes 7 y 8 en el diagrama de flujo son meramente ilustrativas.

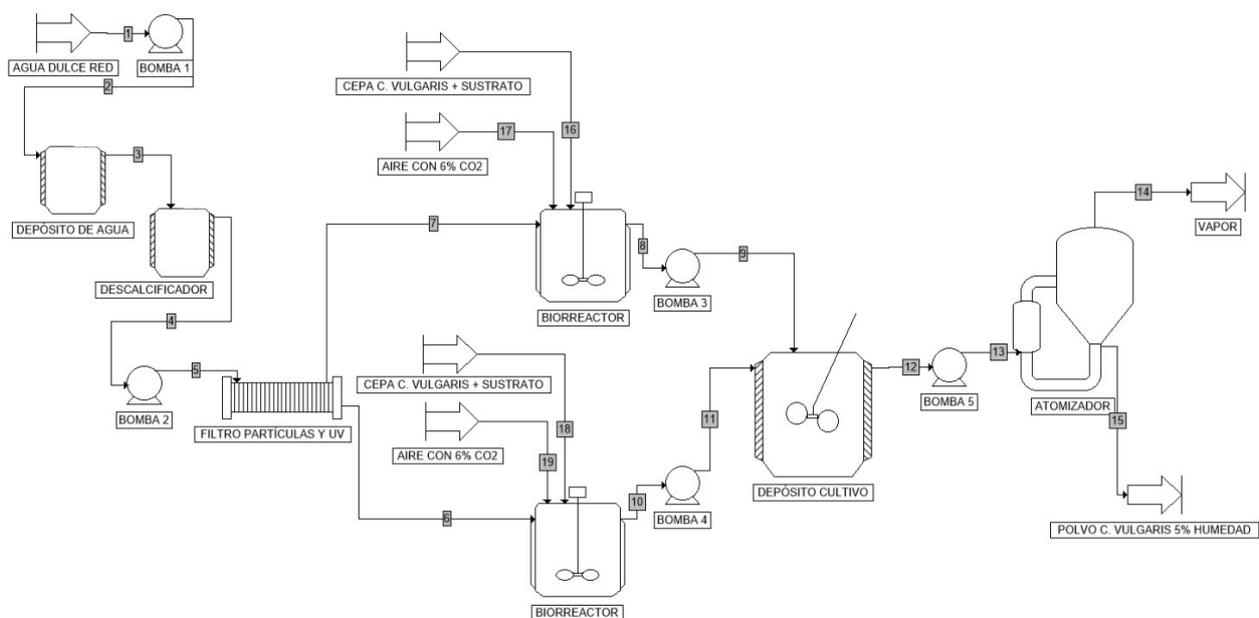


Figura A1.2. Diagrama de flujo del proceso

1.4.1 Longitud y diámetro de las conducciones

Como se ha comentado en el apartado 1.4 del Anexo, los tramos del proceso que se van a estudiar son del 1 al 2, del 4 al 5 y del 8 al 13, ya que a través de estos se transporta el agua hacia el biorreactor y el cultivo hacia el atomizador. A continuación, en la Tabla A1.5 se muestran las longitudes seleccionadas para las conducciones.

Tabla A1.5. Longitudes de las conducciones para cada tramo del proceso

Tramo	Longitud (m)
Tramo 1 (Red de agua → Bomba 1)	1
Tramo 2 (Bomba 1 → Depósito de agua)	4
Tramo 3 (Depósito de agua → Descalcificador)	2
Tramo 4 (Descalcificador → Bomba 2)	2
Tramo 5 (Bomba 2 → Filtros/Biorreactor)	10
Tramo 8 (Filtros/Biorreactor → Bomba 3)	1
Tramo 9 (Bomba 3 → Depósito del cultivo)	5
Tramo 10 (Filtros/Biorreactor → Bomba 4)	1
Tramo 11 (Bomba 4 → Depósito del cultivo)	5
Tramo 12 (Depósito del cultivo → Bomba 5)	1
Tramo 13 (Bomba 5 → Atomizador)	6

La selección de las longitudes de los tramos han sido estudiadas para satisfacer un tamaño adecuado entre los distintos equipos del proceso, de este modo hay espacio suficiente para trabajar y maniobrar alrededor de ellos.

Por otro lado en cuanto al diámetro de las conducciones se ha decidido emplear un diámetro interno normalizado de 100, 25 y 16 mm.

1.4.2 Cálculo de las bombas

Para obtener la potencia de las bombas se parte de la ecuación del balance de energía mecánica para líquidos que circulan por conducciones (ecuación A1.7).

$$g(z_2 - z_1) + \left(\frac{V_2^2}{2\alpha_2} - \frac{V_1^2}{2\alpha_1} \right) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Delta F = \hat{W} \quad (\text{A1.7})$$

donde:

z = Altura (m)

P = Presión (Pa)

v = Velocidad $\left(\frac{m}{s} \right)$

g = Gravedad $\left(9,81 \frac{m}{s^2} \right)$

ρ = Densidad $\left(\frac{kg}{m^3} \right)$

ΔF = Pérdida de energía mecánica por unidad de masa $\left(\frac{J}{kg} \right)$

\hat{W} = Energía suministrada por unidad de masa $\left(\frac{J}{kg} \right)$

Para obtener la pérdida de carga de una conducción la cual es la pérdida de presión que se produce en el fluido cuando circula por dentro de las conducciones en los tramos rectos y en los accidentes, se calcula mediante la ecuación A1.8.

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_a \quad (\text{A1.8})$$

donde:

$$\Delta F_r = \text{Pérdida de carga en los tramos rectos} \quad \left(\frac{J}{kg} \right)$$

$$\Delta F_a = \text{Pérdida de carga en los accidentes} \quad \left(\frac{J}{kg} \right)$$

La pérdida de carga en los tramos rectos (ΔF_r) se calcula mediante la ecuación A1.9 y la pérdida de carga en los accidentes (ΔF_a) se calcula mediante la ecuación A1.10 .

$$\Delta F_r = 2 \cdot f \cdot v^2 \cdot \frac{L}{D} \quad (A1.9)$$

$$\Delta F_a = \sum_{i=1}^n K_i \cdot \frac{v_i^2}{2} \quad (A1.10)$$

donde:

f = Coeficiente de rozamiento

L = Longitud del tramo (m)

D = Diámetro de la conducción (m)

K = Constante característica de cada accidente

Para poder calcular el valor del coeficiente de rozamiento, si el número de Reynolds nos indica que el régimen es turbulento, es necesario emplear la gráfica de Moody (*Figura A1.3*¹) en la cual se relaciona el número de Reynolds (Re) con la rugosidad relativa de la conducción (cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la conducción) (ecuación A1.11). Al emplear tubos de PVC la rugosidad absoluta del material es de 0,0015 mm, al ser tan pequeña se puede despreciar y considerar la conducción como tubos lisos. En cambio, si el régimen es laminar, se emplea la ecuación A1.12.

$$\left. \begin{array}{l} Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \\ \text{Moody (tubos lisos)} \end{array} \right\} \rightarrow 4f \rightarrow f \text{ Turbulento (A1.11)}$$

$$\left. \begin{array}{l} Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \\ f = \frac{16}{Re} \end{array} \right\} \rightarrow f \text{ Laminar (A1.12)}$$

¹ Figura extraída de: (*M^a D. Rodrigo Carbonell,; Publicaciones de la Universitat Jaume I 2003*)

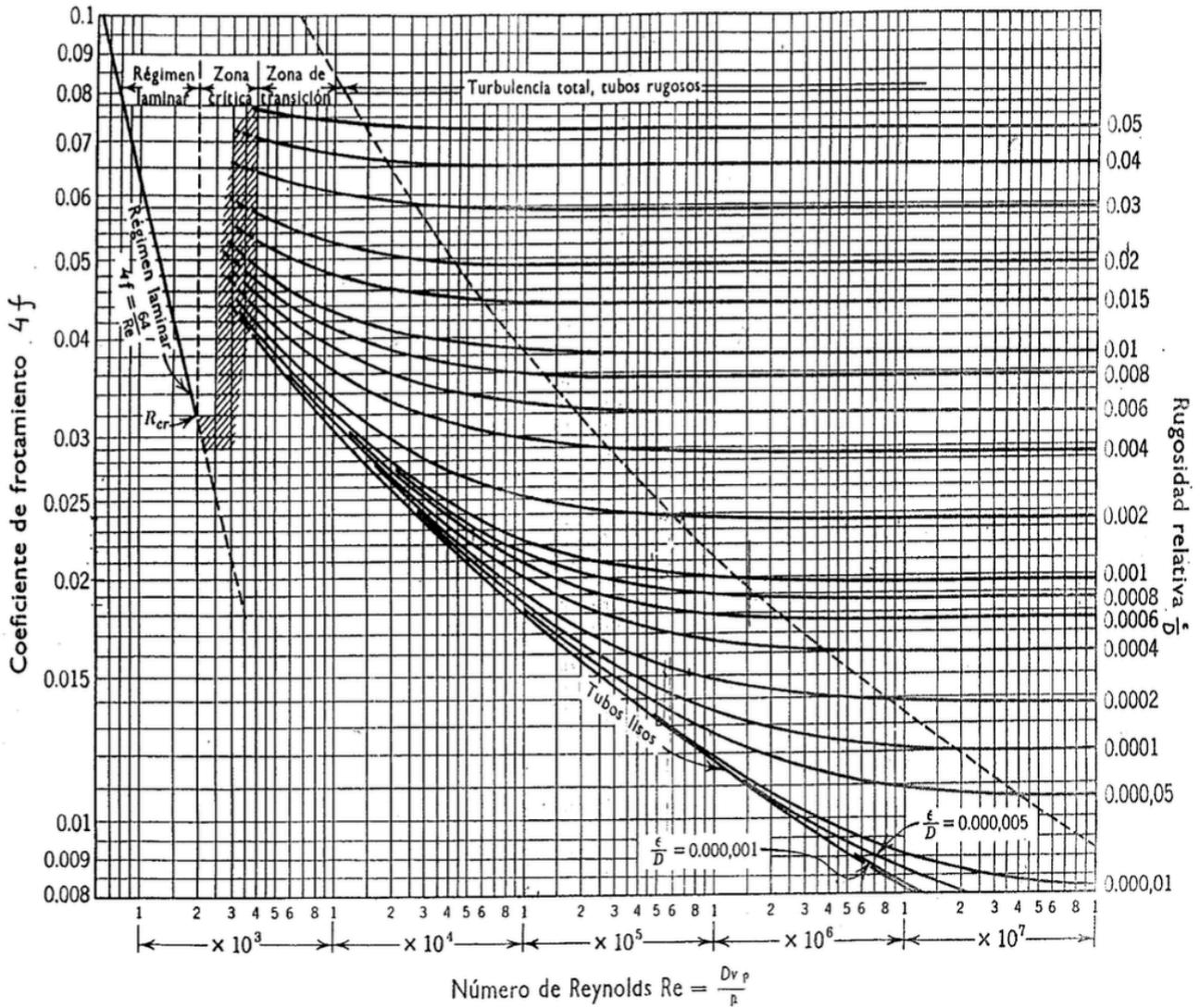


Figura A1.3. Gráfico de Moody

Tras obtener el valor de la energía suministrada por unidad de masa, para conocer la potencia necesaria que tiene que poseer la bomba se emplean las ecuaciones A1.13 y A1.14.

$$h = \frac{\hat{W}}{g} \quad (A1.13)$$

$$P = \frac{Q_i \cdot h \cdot \rho \cdot g}{\eta} = \frac{Q_i \cdot \hat{W} \cdot \rho}{\eta} \quad (A1.14)$$

Donde:

h = Carga de la bomba

P = Potencia de la bomba (W)

η = Rendimiento de la bomba (0,5)

Para poder realizar los cálculos de la potencia de las bombas hay que especificar el caudal volumétrico que circula por cada tramo, teniendo en cuenta que es constante, al igual que la velocidad de este.

A continuación se realiza el cálculo para el tramo 1→2.

La cantidad de agua que se quiere extraer de la red para almacenarla en el depósito es de 10 m³ de este modo hay agua suficiente para mantener el funcionamiento de la planta durante un mes en caso de que se produzca algún corte de suministro.

Para llenar el depósito de agua se requiere de un caudal volumétrico de 10 m³/h y a partir de la ecuación A1.15 se calcula la velocidad del caudal dentro de la conducción.

$$v_i = \frac{Q_{v_i}}{S_i} = \frac{4 \cdot Q_{v_i}}{\pi \cdot D_i^2} \quad (\text{A1.15})$$

Por lo tanto,

$$v_1 = \frac{Q_{v_1}}{S_1} = \frac{4 \cdot 10}{\pi \cdot 0,025^2 \cdot 3600} = 5,66 \left(\frac{m}{s} \right)$$

A partir de la velocidad, se puede calcular el número de Reynolds y junto con la gráfica de Moody de la *Figura A1.3* se obtiene el coeficiente de rozamiento, de modo.

$$\left. \begin{aligned} Re = \frac{1000 \cdot 5,66 \cdot 0,025}{0,001} = 141471 \\ \text{Gráfica de Moody (tubos lisos)} \end{aligned} \right\} \rightarrow 4f = 0,017 \rightarrow f = 0,00425$$

Calculando la pérdida de carga en los tramos rectos con la ecuación A1.9 se obtiene.

$$\Delta F_r = 2 \cdot 0,00425 \cdot 5,66^2 \cdot \frac{5}{0,025} = 54,44 \left(\frac{J}{kg} \right)$$

Calculando la pérdida de carga en los accidentes con la ecuación A1.10, sabiendo que hay dos codos de 90° de gran curvatura ($K=0,45$), se obtiene.

$$\Delta F_a = \left(0,45 \cdot \frac{5,66^2}{2} \right) + \left(0,45 \cdot \frac{5,66^2}{2} \right) = 14,41 \left(\frac{J}{kg} \right)$$

Por lo tanto la pérdida de carga tiene un valor de:

$$\Delta F = 54,44 + 14,41 = 68,85 \left(\frac{J}{kg} \right)$$

Sabiendo que la toma de red se encuentra a una altura de $z_1= 0,5$ m y la entrada de agua del depósito se encuentra a una altura de $z_2= 4,5$ m, a partir de la ecuación A1.7 obtenemos el valor de la energía suministrada por unidad de masa.

$$\hat{W} = 9,81 \cdot (4,5 - 0,5) + \left(\frac{1,01 \cdot 10^5 - 1,01 \cdot 10^5}{1000} \right) + 68,85 = 108,09 \left(\frac{J}{kg} \right)$$

Empleando la ecuación A1.13 y A1.14 se calcula la potencia necesaria para la bomba 1.

$$P = \frac{\frac{10}{3600} \cdot 108,09 \cdot 1000}{0,5} = 0,60 \text{ (kW)}$$

En la realización de los cálculos, el propio biorreactor posee su propio sistema de bombeo del cultivo, con un caudal máximo de $0,36 \text{ m}^3/\text{h}$. Para poder mantener una continuidad industrial del proceso se ha decidido realizar una sustitución de las bombas de fábrica del biorreactor por unas con mayor flujo de caudal.

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Por otro lado, la presión con la que tiene que llegar el agua a la boquilla del atomizador es de 25 atm. En la Tabla A1.6 se presenta un resumen de los cálculos de los tramos del proceso.

Tabla A1.6. Resumen de los cálculos para la potencia de las bombas

<i>Tramo</i>	$Q_v \left(\frac{m^3}{h} \right)$	$D_{Conducción} (m)$	$v \left(\frac{m}{s} \right)$	Re	$f_{Turbulento}$	$f_{Laminar}$	$\Delta F_r \left(\frac{J}{kg} \right)$	<i>Accidente</i>
1 → 2	10	0,025	5,66	141471	0,00425	-	54,55	2x Codo 90° gran curvatura
4 → 5	1,2	0,025	0,68	16977	0,00663	-	2,93	3x Codo 90° gran curvatura
8 → 9	5,5	0,016	7,60	121577	0,00438	-	189,45	2x Codo 90° gran curvatura
10 → 11	5,5	0,016	7,60	121577	0,00438	-	189,45	2x Codo 90° gran curvatura
12 → 13	0,26	0,1	0,01	920	-	0,01739	2,06E-04	4x Codo 90° gran curvatura

Tabla A1.X. Resumen de los cálculos para la potencia de las bombas (continuación)

<i>Tramo</i>	K	$\Delta F_a \left(\frac{J}{kg} \right)$	$\Delta F \left(\frac{J}{kg} \right)$	$z_2/z_1 (m)$	$P_2 (Pa) 10^5$	$P_1 (Pa) 10^5$	$\hat{w} \left(\frac{J}{kg} \right)$	$P (kW)$
1 → 2	0,45	14,41	68,85	4,5 / 0,5	1,01	1,01	108,09	0,6
4 → 5	0,45	0,31	3,24	1,8 / 0,3	4,10	1,01	326,63	0,22
8 → 9	0,45	25,98	215,43	2 / 0,3	1,01	1,01	232,11	0,71
10 → 11	0,45	25,98	215,43	2 / 0,3	1,01	1,01	232,11	0,71
12 → 13	0,45	7,61E-05	2,82E-04	8 / 0,3	25,3	1,01	2507,21	0,36

1.5 Material de almacenamiento

1.5.1 Cálculo de la cantidad de almacenamiento del producto acabado

Como se ha comentado, una vez que se obtiene el polvo de microalga se debe empaquetar y almacenar. Teniendo en cuenta los materiales del almacenamiento (estanterías, cajas y bolsas herméticas) que se detallan en el apartado 3.1.1 del Anexo III, se calcula que cantidades se necesitan para cubrir dos meses de almacenamiento.

Teniendo en cuenta que por cosecha (a la semana) se producen 267 kg de *C. Vulgaris*, a los dos meses (8 cosechas) se producen 2136 kg de la microalga.

Conociendo las dimensiones (Alto x Largo x Ancho) de las estanterías (3,05x1,2x0,6 m), de las cajas (0,45x0,6x0,4 m) y (0,25x0,6x0,4 m) con una capacidad de 85 kg y 43 kg por caja y de las bolsas herméticas que pueden contener hasta 1,4 kg de producto, se realizan los siguientes cálculos teniendo en cuenta que se venderán cajas con 70 bolsas en las cajas más grandes y 35 bolsas en las cajas más pequeñas.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Largo de la estantería} = 1,2 \text{ (m)} \\ \text{Largo de la caja} = 0,6 \text{ (m)} \end{array} \right\} \longrightarrow \frac{\text{Largo de la estantería}}{\text{Largo de la caja}} = \frac{1,2}{0,6} = 2 \text{ Cajas por nivel de la estantería}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{n}^\circ \text{ de cajas por nivel de la estantería} = 2 \\ \text{n}^\circ \text{ de niveles de la estantería} = 4 \end{array} \right\} \longrightarrow 2 \cdot 4 = 8 \text{ Cajas por estantería}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{n}^\circ \text{ de cajas grandes por estantería} = 8 \\ \text{n}^\circ \text{ de estantería} = 3 \\ \text{Bolsas de 1kg por caja} = 70 \end{array} \right\} \longrightarrow 3 \cdot 8 \cdot 70 = 1680 \text{ bolsas}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{n}^\circ \text{ de cajas pequeñas por estantería} = 7 \\ \text{n}^\circ \text{ de estantería} = 2 \\ \text{Bolsas de 1kg por caja} = 35 \end{array} \right\} \longrightarrow 2 \cdot 7 \cdot 35 = 490 \text{ bolsas}$$

$$\text{Bolsas totales} = 1680 + 490 = 2170 \text{ Bolsas}$$

$$\text{Cajas totales} = 24 + 14 = 38 \text{ Cajas}$$

1.5.2 Cálculo de la cantidad de almacenamiento de sustrato, CO_2 y bolsas herméticas

A continuación se calcula la cantidad de sustrato necesario para cubrir un mes de producción.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Sustrato por cosecha} = 81,1 \frac{\text{kg}}{\text{cosecha}} \approx 81,1 \frac{\text{L}}{\text{cosecha}} \\ \text{Cantidad de sustrato por botella} = 5 \text{ L} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{81,1}{5} = 16,22 \approx 17 \text{ Botellas por cultivo}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Cultivos al mes} = 4 \\ \text{Cantidad de botellas por cultivo} = 17 \end{array} \right\} \rightarrow 4 \cdot 17 = 68 \text{ Botellas al mes}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Cantidad de botellas por caja} = 4 \\ \text{Cantidad de botellas al mes} = 68 \end{array} \right\} \rightarrow \frac{68}{4} = 17 \text{ Cajas de botellas de sustrato al mes}$$

A continuación se calcula la cantidad de CO_2 necesario para cubrir un mes de producción.

$$\left. \begin{array}{l} CO_2 \text{ por cosecha} = 4,6 \cdot 10^2 \frac{m^3}{\text{cosecha}} \approx 46 \frac{\text{L}}{\text{cosecha}} \\ \text{Cantidad de } CO_2 \text{ por botella} = 50 \text{ L} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{46}{50} = 0,92 \approx 1 \text{ Botella por cultivo}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Cultivos al mes} = 4 \\ \text{Botellas de } CO_2 \text{ por cultivo} = 1 \\ \text{n}^\circ \text{ de biorreactores} = 2 \end{array} \right\} \rightarrow 4 \cdot 1 \cdot 2 = 8 \text{ Botellas al mes}$$

A continuación se calcula la cantidad de cajas de bolsas herméticas necesario para cubrir dos meses de producción.

$$\left. \begin{array}{l} \text{n}^\circ \text{ de bolsas herméticas} = 2170 \\ \text{n}^\circ \text{ de bolsas por caja} = 550 \end{array} \right\} \rightarrow \frac{2170}{550} = 3,95 \approx 4 \text{ Cajas cada dos meses}$$

1.6 Superficies de la planta

En la Tabla A1.7 se muestran las zonas de la planta con sus superficies base, el factor del coeficiente de ocupación y la superficie final. Las zonas marcadas de color rojo han tenido que ser calculadas.

Tabla A1.7. Superficies de la planta

Zona	Superficie base (m^2)	Coeficiente de ocupación	Superficie final (m^2)
Nave	3100	1	3100
Oficinas	355	1	355
Laboratorio	100	1	100
WC y vestuarios	100	1	100
Parking	1518	1	1518
Caseta de seguridad	6	1	6
Almacén S y CO_2	6,5	2	50
Almacén material empaquetamiento	1,2	2	50
Almacén producto acabado	3,6	2	100

1.6.1 Cálculo de la superficie del almacén de producto acabado

Conociendo las dimensiones de las estanterías se puede calcular cuanto van a ocupar dentro del almacén, por lo tanto.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Largo de la estantería} = 1,2 \text{ (m)} \\ \text{Ancho de la estantería} = 0,6 \text{ (m)} \\ \text{n}^\circ \text{ de estanterías} = 5 \text{ (m)} \end{array} \right\} \longrightarrow 1,2 \cdot 0,6 \cdot 5 = 3,6 \text{ (m}^2\text{) Superficie base}$$

Aplicando un factor de coeficiente de ocupación de 2 debido a que es un almacén, se obtiene la superficie final del almacén del producto acabado.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Superficie base} = 3,6 \text{ (m}^2\text{)} \\ \text{Coeficiente de ocupación} = 2 \end{array} \right\} \longrightarrow 3,6 \cdot 2 = 7,2 \text{ (m}^2\text{) Superficie final mínima}$$

La superficie final obtenida para almacenar el producto acabado supone la superficie mínima necesaria, por lo que se decide emplear una superficie final para el almacén de 100 m^2 .

1.6.2 Cálculo de la superficie de almacén del sustrato y del CO_2

Sabiendo las dimensiones de las cajas en las que viene el sustrato y el número que hace falta al mes se puede calcular cuanto van a ocupar dentro del almacén. En este caso no es necesario emplear estanterías ya que las cajas se pueden depositar en el suelo del almacén.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Largo de la caja} = 0,6 \text{ (m)} \\ \text{Ancho de la caja} = 0,4 \text{ (m)} \\ \text{n}^\circ \text{ de cajas} = 4 \text{ (m)} \end{array} \right\} \longrightarrow 0,6 \cdot 0,4 \cdot 4 = 0,96 \text{ (m}^2\text{) Superficie base}$$

A continuación se calcula la superficie para las botellas de CO_2

$$\left. \begin{array}{l} \text{Diámetro de la botella} = 0,2 \text{ (m)} \\ \text{Altura de la botella} = 1 \text{ (m)} \\ \text{n}^\circ \text{ de botellas} = 8 \text{ (m)} \end{array} \right\} \longrightarrow \left(2 \cdot \pi \frac{0,2}{2} \cdot 1 + 2 \cdot \pi \frac{0,2^2}{2} \right) \cdot 8 = 5,53 \text{ (m}^2\text{) Superficie base}$$

Aplicando un factor de coeficiente de ocupación de 2, se obtiene la superficie final del almacén del sustrato y de las botellas de CO_2 .

$$\left. \begin{array}{l} \text{Superficie base} = 0,96 + 5,53 = 6,5 \text{ (m}^2\text{)} \\ \text{Coeficiente de ocupación} = 2 \end{array} \right\} \longrightarrow 6,5 \cdot 2 = 13 \text{ (m}^2\text{) Superficie final}$$

La superficie final obtenida para almacenar el sustrato y el CO_2 supone la superficie mínima necesaria, por lo que se decide emplear una superficie final para el almacén de 50 m^2 .

1.6.3 Cálculo de la superficie de almacén del material de empaquetamiento

Sabiendo las dimensiones de las cajas en las que vienen las bolsas herméticas y el número que hace falta para dos meses se puede calcular cuanto van a ocupar dentro del almacén aplicando un factor de coeficiente de ocupación de 2. En este caso no es necesario emplear estanterías ya que las cajas se pueden depositar en el suelo del almacén.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Largo de la caja} = 0,6 \text{ (m)} \\ \text{Ancho de la caja} = 0,5 \text{ (m)} \\ \text{n}^\circ \text{ de cajas} = 4 \text{ (m)} \end{array} \right\} \longrightarrow 0,6 \cdot 0,5 \cdot 4 = 1,2 \text{ (m}^2\text{) Superficie base}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Superficie base} = 1,2 \text{ (m}^2\text{)} \\ \text{Coeficiente de ocupación} = 2 \end{array} \right\} \longrightarrow 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ (m}^2\text{) Superficie final}$$

La superficie final obtenida para almacenar el material de empaquetamiento supone la superficie mínima necesaria, por lo que se decide emplear una superficie final para el almacén de 50 m².

1.6.4 Cálculo de la superficie que ocupa la línea de producción

*Depósito de agua

Para calcular la superficie cuadrada que ocupa el depósito de agua se calcula de la siguiente manera, aplicando un factor de coeficiente de ocupación de 2.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Diámetro del depósito} = \text{Anchura del depósito} = 2 \text{ (m)} \\ \text{Largo del depósito} = 6,06 \\ \text{Coeficiente de ocupación} = 2 \end{array} \right\} \longrightarrow 2 \cdot 6,06 \cdot 2 = 24,24 \text{ (m}^2\text{) Superficie final}$$

* Descalcificador

Para calcular la superficie cuadrada que ocupa el descalcificador se calcula de la siguiente manera, aplicando un factor de coeficiente de ocupación de 4 debido a que es un proceso.

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

$$\left. \begin{array}{l} \text{Ancho de descalcificador} = 0,9 \text{ (m)} \\ \text{Largo de descalcificador} = 0,5 \text{ (m)} \\ \text{Coeficiente de ocupación} = 4 \end{array} \right\} \longrightarrow 0,9 \cdot 0,5 \cdot 4 = 1,8 \text{ (m}^2\text{) Superficie final}$$

* Biorreactor

Para calcular la superficie cuadrada que ocupan los biorreactores se calcula de la siguiente manera, aplicando un factor de coeficiente de ocupación de 4.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Ancho del biorreactor} = 4,52 \text{ (m)} \\ \text{Largo de biorreactor} = 1,98 \text{ (m)} \\ \text{Coeficiente de ocupación} = 4 \end{array} \right\} \longrightarrow 4,52 \cdot 1,98 \cdot 4 = 36 \text{ (m}^2\text{) Superficie final}$$

* Depósito del cultivo

Para calcular la superficie cuadrada que ocupa el depósito del cultivo se calcula de la siguiente manera, aplicando un factor de coeficiente de ocupación de 2.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Diámetro del depósito} = 1,4 \text{ (m)} \\ \text{Coeficiente de ocupación} = 2 \end{array} \right\} \longrightarrow 1,4 \cdot 1,4 \cdot 2 = 3,98 \text{ (m}^2\text{) Superficie final}$$

* Atomizador

Para calcular la superficie cuadrada que ocupa el atomizador se calcula de la siguiente manera, aplicando un factor de coeficiente de ocupación de 4.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Ancho del atomizador} = 5 \text{ (m)} \\ \text{Largo de atomizador} = 5 \text{ (m)} \\ \text{Coeficiente de ocupación} = 4 \end{array} \right\} \longrightarrow 5 \cdot 5 \cdot 4 = 100 \text{ (m}^2\text{) Superficie final}$$

* Máquina de empaquetado

Para calcular la superficie cuadrada que ocupa la máquina de empaquetado se calcula de la siguiente manera, aplicando un factor de coeficiente de ocupación de 4.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Ancho de empaquetamiento} = 1,14 \text{ (m)} \\ \text{Largo de empaquetamiento} = 1,5 \text{ (m)} \\ \text{Coeficiente de ocupación} = 4 \end{array} \right\} \longrightarrow 1,14 \cdot 1,5 \cdot 4 = 6,84 \text{ (m}^2\text{) Superficie final}$$

Teniendo en cuenta la superficie que ocupan los equipos del proceso, las conducciones entre los equipos, los almacenamientos y el laboratorio, se ha decidido emplear una superficie para la nave de 3100 m^2 .

La superficie de la planta se muestra con mayor detalle en el documento Planos.

1.7 Cálculos de la instalación eléctrica

Para poder realizar los cálculos de la instalación eléctrica para el alumbrado interior de las distintas zonas, la instalación eléctrica de la maquinaria y el alumbrado de la planta hay que realizar los siguientes cálculos.

Para la instalación eléctrica del alumbrado de las distintas zonas de la planta se parte del ratio del alumbrado interior que se muestra en el Anexo VI, el cual tiene un valor de 5 W/m^2 . A continuación se realiza el cálculo de la potencia necesaria para el alumbrado interior de la nave.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Superficie de la nave} = 3100 \text{ m}^2 \\ \text{Ratio del alumbrado interior} = 5 \text{ (W/m}^2\text{)} \end{array} \right\} \longrightarrow 3100 \cdot 5 = 1550 \text{ (W)}$$

A continuación en la Tabla A1.8 se presentan la potencia necesaria para alumbrar las zonas de la planta que necesiten alumbrado según su superficie.

Tabla A1.8. Potencia de cada zona

Zona	Superficie (m ²)	Potencia (W)
Iluminación nave	3100	15500
Almacén producto acabado	100	500
Almacén S y CO₂	50	250
Almacén material empaquetamiento	50	250
Oficina	355	1775
Parking	1518	7590
Caseta seguridad	6	30

Para calcular la instalación eléctrica de las máquinas es necesario realizar el siguiente cálculo.

$$\text{Potencia de la instalación eléctrica máquinas} = \sum \text{Potencia de cada máquina} = (W)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Potencia de todas las máquinas} = 3082 (W) \\ \text{Coeficiente de simultaneidad} = 0,8 \end{array} \right\} \longrightarrow 3082 \cdot 0,8 = 2465,60 (W)$$

2. ANEXO II. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

2.1 Tabla Racional de Actividades (TRA)

En los siguientes apartados se detallan los cálculos realizados para realizar la distribución de la planta utilizando el método SLP (Systematic Layout Planning). Este es un método de organización entre las distintas zonas de actividades de la planta en el que se indica la proximidad a la que se deben encontrar dependiendo de la importancia entre ellas.

En la Tabla A2.1 se muestra una lista de las zonas de la planta y en la Tabla A2.2 se muestra un código para identificar la relación entre las zonas de la fábrica según su importancia.

Tabla A2.1. Zonas de la planta

Código de la zona	Zona de la planta
1	Proceso
2	Almacén de sustrato y CO_2
3	Almacén del material de empaquetación
4	Almacén del producto acabado
5	Laboratorio
6	Vestuarios y WC
7	Oficinas
8	Parking

Tabla A2.2. Código de relación de las distintas zonas

Código	Zona de la planta
A	Absolutamente importante
E	Especialmente importante
I	Importante
U	Sin importancia
X	Rechazable

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Por otro lado, también hay que especificar los motivos por los que se decide la relación correspondiente. A continuación se muestra los tipos de motivos existentes.

- * 1 → Necesidad del proceso.
- * 2 → Facilidad de acceso.
- * 3 → Intercambio de información.
- * 4 → Economía de transporte.
- * 5 → Molestias y peligros.
- * 6 → Higiene y confort.

Una vez determinada la lista de las zonas de la planta, la lista del código de relaciones de importancia de la proximidad de las zonas y los motivos, en la Tabla A2.3 se realiza la TRA (Tabla Relacional de Actividades) donde se recogen las relaciones de las zonas de la planta y su importancia según el criterio establecido.

Tabla A2.3. Tabla Relacional de Actividades de la planta

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	A	A1	E1	A4	I3	I6	X	X
2		A	X	U	U	X	X	X
3			A	I	U	X	X	X
4				A	E3	X	X	X
5					A	U	I3	X
6						A	U	X
7							A	E4
8								A

Una vez obtenida la tabla relacional de actividades (TRA) se procede a realizar el diagrama relacional de actividades (DRA) el cual se muestra en la *Figura A2.1*, empleando el código de colores de la Tabla A2.2 para facilitar el proceso de construcción del diagrama.

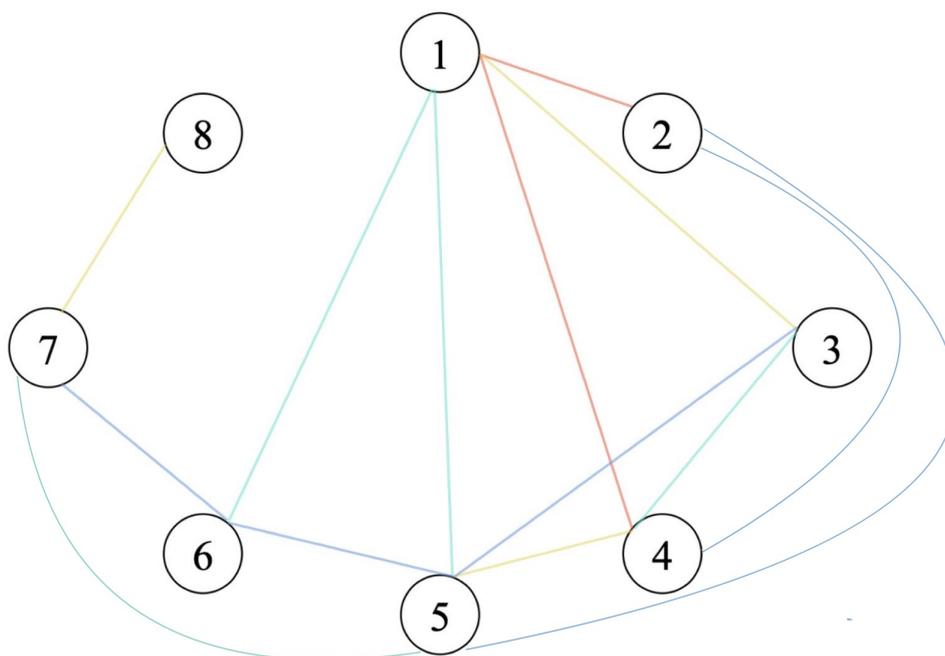


Figura A2.1. Diagrama Relacional de Actividades

A partir del DRA se presenta la distribución de la planta la cual se muestra en detalle en el documento Planos.

2.2 Selección de la parcela

En el siguiente apartado se va a elegir justificadamente la parcela en la que se va a ubicar la planta para la obtención de microalgas. Como se ha comentado en el apartado 7.1 del documento Memoria, la planta emplea en el proceso agua dulce proveniente de la red en vez de agua salada, por lo que no es necesario ubicar la actividad a pocos metros de la costa y se puede emplazar en cualquier polígono industrial.

Se ha decidido emplazar la actividad en la Provincia de Castellón dentro de la Comunidad Valenciana, España. En la *Figura A2.2¹* se muestra un mapa de la zona.

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

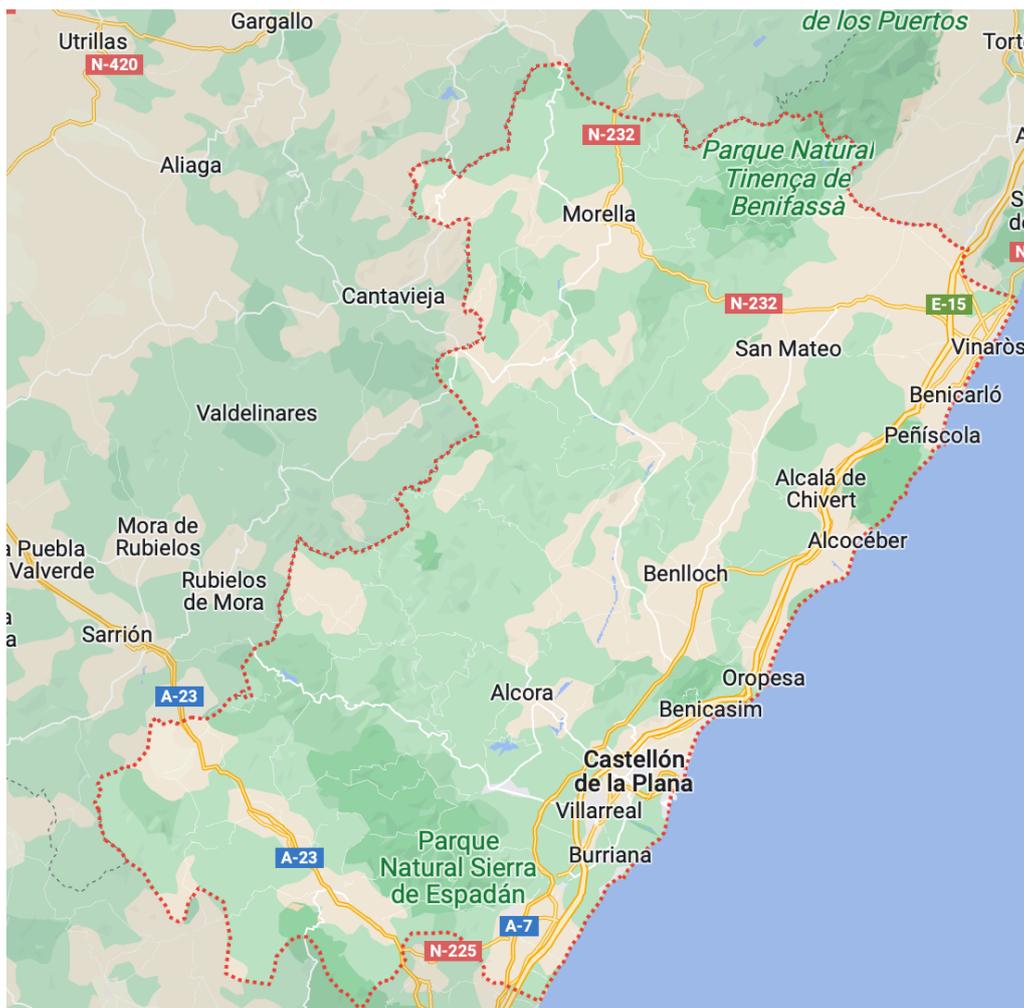


Figura A2.2. Mapa de la Provincia de Castellón

Para estimar de manera mas detallada la ubicación, se van estudiar las zonas industriales de las localidades de Onda, Vila-real, Almazora y Castellón de la Plana debido a la gran presencia industrial que hay en la zona y la gran conexión a las vías de transporte.

Por lo tanto, tras un estudio de las zonas para la selección óptima de emplazamiento se han encontrado tres posibles opciones muy interesantes para la ubicación de la actividad las cuales se muestran en la Tabla A2.4 junto con el precio de la parcela, teniendo en cuenta que el precio por m^2 en la zona de Castellón ronda los 80 €/m².

¹ Figura extraída de: *Google Maps*

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tabla A2.4. Opciones de emplazamiento de la actividad

Opción	Dirección	Superficie (m ²)	Precio (€)
Opción 1	C/ L'Històric Regne de València 37 N2-43, Almazora (CS)	5.769	461.520
Opción 2	C/ Francia 15(A), Castellón de la Plana (CS)	10.909	872.720
Opción 3	Camino Vora Rambla 15, Almazora (CS)	7.200	576.000

En la *Figura A2.5*¹ se muestra una vista aérea de las posibles localizaciones para la actividad.



Figura A2.5. Vista aérea de las posibles localizaciones

La selección de la mejor localización para instalar la actividad se ha basado en las características siguientes.

- Precio del suelo (€) → PS
- Superficie del suelo (m²) → S

¹ Figura extraída de: Google Earth

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

- Distancia a la población (km) → D
- Distancia a la autopista (km) → A

Para obtener la distancia de la localización de la planta hasta la población se calcula sumando los km desde el centro de la ciudad de Castellón, Vila-real, Almazora y Onda hasta la localización y se realiza una media (Tabla A2.5). Datos obtenidos de Google Maps.

Tabla A2.5. Distancia desde las localidades hasta las posibles localizaciones de la planta

	Castellón (km)	Vila-real (km)	Almazora (km)	Onda (km)	Media (km)
Opción 1	4,9	4,3	3,8	21,3	8,58
Opción 2	2,3	6,8	5,5	19,5	8,53
Opción 3	6,7	6,8	8,5	13,4	8,85

En la Tabla A2.6. se presentan los datos de las características seleccionadas para cada localización junto con la importancia de las características descritas.

Tabla A2.6. Características para la selección de la localización óptima

	S (m ²)	PS (€)	A (km)	D (km)
Opción 1	5.769	461.520	4,1	8,58
Opción 2	10.909	872.720	2,3	8,53
Opción 3	7.200	576.000	6,6	8,85
Importancia	1	2	3	4

Tras definir la importancia de las características que intervienen para la selección de la localización óptima, se realiza una decisión multicriterio. Para ello se emplea el Método de las Jerarquías Analíticas, en el cual se tiene que definir una matriz con las características que intervienen en la selección de la localización (Tabla A2.7).

Tabla A2.7. Método de Jerarquías Analíticas

	S (m ²)	PS (€)	A (km)	D (km)
S (m ²)	1	4	5	8
PS (€)	$\frac{1}{4}$	1	6	8
A (km)	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	1	8
D (km)	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	1

A continuación se realizan los cálculos de las medias geométricas:

$$W_S = (1 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 8)^{\frac{1}{4}} = 3,557$$

$$W_{PS} = \left(\frac{1}{4} \cdot 1 \cdot 6 \cdot 8\right)^{\frac{1}{4}} = 1,861$$

$$W_A = \left(\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot 8\right)^{\frac{1}{4}} = 0,719$$

$$W_D = \left(\frac{1}{8} \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{8} \cdot 1\right)^{\frac{1}{4}} = 0,210$$

Obteniendo el sumatorio:

$$\sum_W = 6,347$$

Dividiendo las medias geométricas por el sumatorio para poder trabajar con valores que sumen 1, se obtiene:

$$W_S = 0,560$$

$$W_{PS} = 0,293$$

$$W_A = 0,113$$

$$W_D = 0,033$$

A continuación se construye la Tabla A2.8 donde se colocan las diferentes opciones con las características que se estudian en cada una y colocando valores entre 0 y 1, siendo 0 el peor de los casos y 1 el mejor de los casos, definiendo así la matriz de decisión normalizada.

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tabla A2.8. Matriz de decisión normalizada

	S (m ²)	PS (€)	A (km)	D (km)
Opción 1	0	0	0,5	0,5
Opción 2	1	1	0	0
Opción 3	0,5	0,5	1	1

$$\text{Opción 1} = (0 \cdot 0,560 + 0 \cdot 0,293 + 0,5 \cdot 0,113 + 0,5 \cdot 0,033) = 0,073$$

$$\text{Opción 2} = (1 \cdot 0,560 + 1 \cdot 0,293 + 0 \cdot 0,113 + 0 \cdot 0,033) = 0,853$$

$$\text{Opción 3} = (0,5 \cdot 0,560 + 0,5 \cdot 0,293 + 1 \cdot 0,113 + 1 \cdot 0,033) = 0,573$$

Tras el cálculo realizado se obtiene:

$$\text{Opción 2} > \text{Opción 3} > \text{Opción 1}$$

Por lo tanto, la mejor localización para emplazar la planta para la producción de microalgas es la Opción 2 (C/ Francia 15(A), Castellón de la Plana (CS)). En la *Figura A2.6*¹ se muestran los datos del catastro de la parcela con su respectiva forma.



Figura A2.6. Catastro de la parcela

¹ Figura extraída de: Sede Electrónica del Catastro

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

En la *Figura A2.7.*¹ se muestra una vista aérea marcando la parcela de la opción seleccionada.



Figura A2.7. Vista aérea de la parcela seleccionada

Cabe destacar, que se ha decidido utilizar una superficie mayor para el emplazamiento de la planta debido a una visión de futuro, con el objetivo de aumentar la producción, lo cual implicaría poseer una mayor superficie trabajo.

Por otro lado, como se puede observar en la *Figura A2.7.* en los alrededores de la planta no hay ningún elemento que dificulte la actividad. Además, en la parcela seleccionada solo habría que acondicionar el suelo y debido a que se encuentra en una zona industrial, hay acceso al agua de la red y a la luz por lo que no habría que emplear tiempo y una inversión de dinero extra en obtener dichos elementos.

¹ Figura extraída de: Google Earth

2.3 Distribución de la planta

Tras la selección de la parcela, se presenta en la Figura A2.8 la distribución de la planta que se ha decidido emplear, respetando las proximidades entre las distintas zonas obtenidas tras emplear el método SLP (Systematic Layout Planning) del apartado 2.1 de presente Anexo.

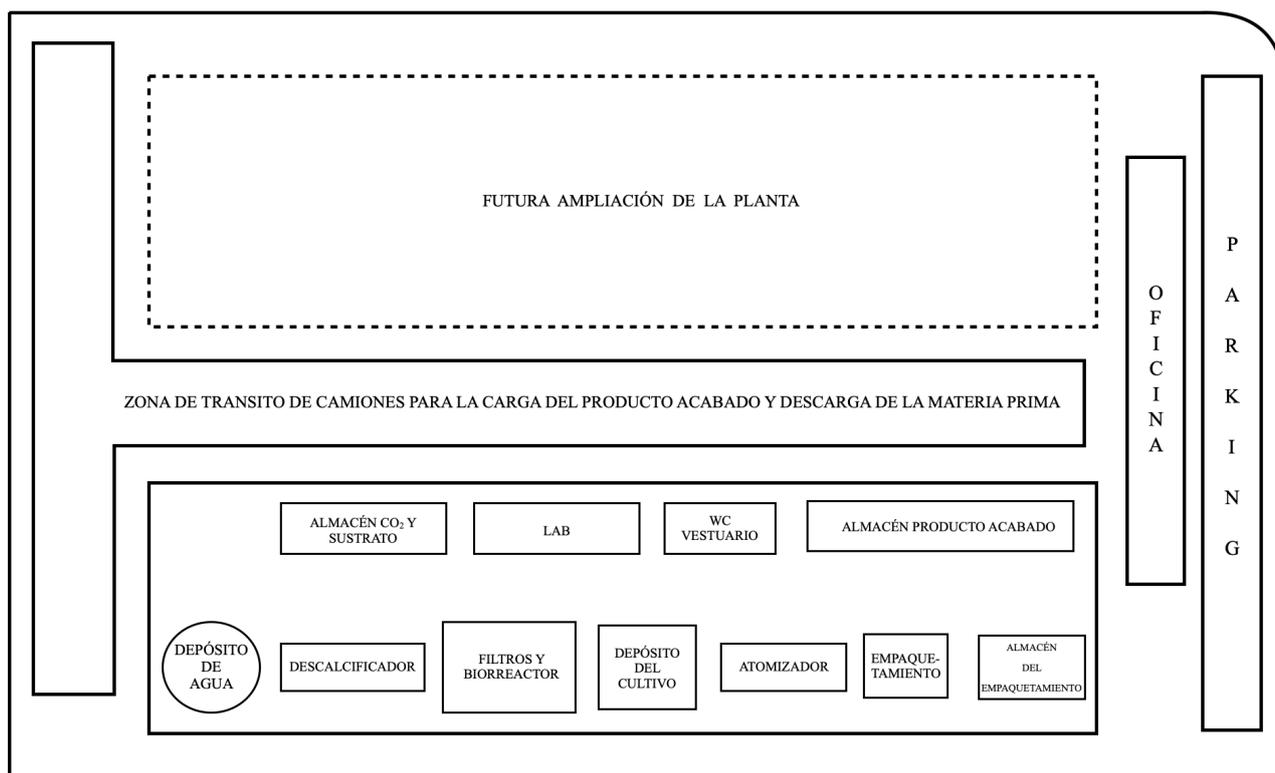


Figura A2.8. Distribución de la planta

En el documento Planos se puede observar dicha distribución con mucho más detalle.

3. ANEXO III. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

3.1 Equipos y material de la planta

En los siguientes apartados se van a detallar todos los equipos que se emplean en el proceso y las especificaciones de cada uno, siguiendo el orden descrito en el apartado 7. Requisitos del diseño del documento Memoria y los materiales complementarios.

3.1.1. Depósito de agua

El depósito de agua es un elemento imprescindible para almacenar el agua necesaria para el proceso y poseer una cantidad suficiente para poder seguir produciendo en caso de que se produzca algún corte de suministro. Por lo que se ha decidido emplear un depósito de 10.000 L (*Figura A3.1*¹), de este modo hay agua almacenada para cubrir la necesidad de un mes de producción. El depósito seleccionado se encuentra sobre una estructura metálica en altura.



Figura A3.1. Depósito de agua

¹ Figura extraída de: (Bupolsa, s.f.)
ANEXOS

En la Tabla A3.1 se muestran las características del depósito seleccionado (Bupolsa, s.f.).

Tabla A3.1. Características del depósito de agua

FABRICANTE	Bupolsa
MODELO	HEL
COSTE (€)	3.000
CAPACIDAD (L)	10.000
ALTURA DE LA ESTRUCTURA (m)	2,5
LONGITUD (m)	6,06
DIÁMETRO (m)	2

3.1.2 Descalcificador

El descalcificador es un equipo muy importante en la instalación debido a que este elimina la cal que posee el agua, sobretodo el agua de la zona de Castellón la cual se considera un agua con mucha cal, lo cual afectaría a las conducciones y las bombas como se ha comentado en el apartado 7.1.1 del documento Memoria. Por lo tanto para la planta se ha decidido emplear el descalcificador de la *Figura A3.2*¹.



Figura A3.2. Descalcificador

¹ Figura extraída de: (Alibaba, s.f.)

En la Tabla A3.2 se muestran las características descalcificador (Alibaba, s.f.).

Tabla A3.2. Características del depósito de agua-1

FABRICANTE	JISHUI
MODELO	1465
CONSUMO (kWh)	1
COSTE (€)	1.300
CAPACIDAD (L)	3000
ALTO (m)	1,8
ANCHO (m)	0,9
LARGO (m)	0,5

3.1.3 Biorreactor

El biorreactor es el equipo mas importante de la instalación sin el cual no sería posible la producción de la microalga, por lo tanto es muy importante seleccionar un biorreactor adecuado para realizar las funciones necesarias.

Para la planta se ha decidido seleccionar uno de los mejores biorreactor del mercado cuyo único objetivo es cultivar microalgas, este biorreactor posee un sistema automático de regulación de temperatura y pH, luces led adecuadas para imitar un fotoperiodo natural de luz:oscuridad, un sistema de autolimpieza y esterilización, filtros de partículas y UV y un sistema de control con una pantalla táctil con la cual se conocen los datos a tiempo real de todos los factores que intervienen en el crecimiento de las microalgas, y con la cual se pueden ajustar los valores de dichos factores.

En la *Figura A3.3*¹ y *A3.4*² se muestra el biorreactor que se va a emplear, este se compone de dos tanques independientes.

¹ y ² Figuras extraída de: (Industrial Plankton, s.f.)

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS



Figura A3.3. Biorreactor

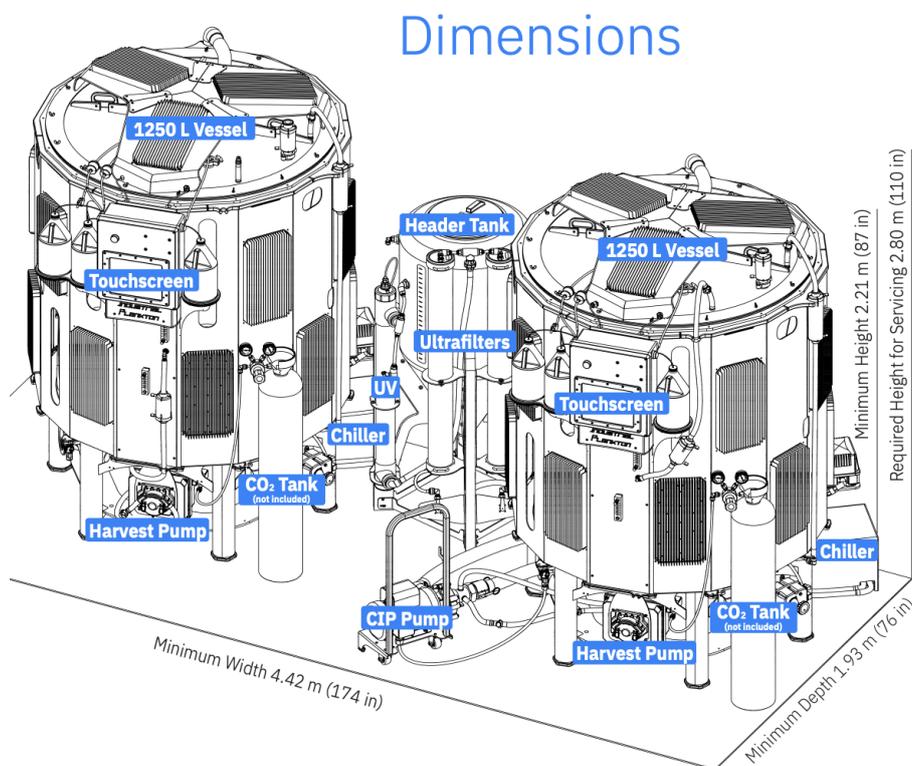


Figura A3.4. Especificaciones del biorreactor

A continuación en la Tabla A3.3 se muestran las características del biorreactor (Industrial Plankton, s.f.).

Tabla A3.3. Características del biorreactor

FABRICANTE	Industrial Plankton
MODELO	PBR 2500
COSTE (€)	114.433,37
CAPACIDAD (L)	2 x 1250
CONSUMO (kWh)	6,07
CONSUMO AUTOLIMPIEZA (kWh)	9,9
ALTO (m)	2,18
ANCHO (m)	2,29
LARGO (m)	1,93

3.1.4 Depósito con agitación para el cultivo

Tras el biorreactor, el cultivo debe almacenarse en un depósito, pero este depósito debe de tener una agitación constante para que la concentración de las microalgas sea uniforme, sin la agitación estas precipitarían al fondo. Por lo tanto se ha seleccionado depósito con agitación de la *Figura A3.5*¹.



Figura A3.5. Depósito con agitación del cultivo

¹ Figura extraída de: (Alibaba, s.f.)

A continuación en la Tabla A3.4 se muestran las características del depósito con agitación (Alibaba, s.f.).

Tabla A3.4. Características del depósito con agitación

FABRICANTE	Wenzhou Qiangzhong maquinaria Tecnología Co. Ltd
MODELO	3.000
COSTE (€)	1.700
CAPACIDAD (L)	3.000
CONSUMO (kWh)	2,2
VELOCIDAD DE AGITACIÓN (rpm)	24-120
ALTO (m)	2
DIÁMETRO (m)	1,4

3.1.5 Atomizador

El atomizador es el equipo con el cual se elimina el 95% de humedad del cultivo y a partir del cual se obtiene el polvo de microalga. Se ha decidido emplear el atomizador de la *Figura A3.6*¹ para poder realizar esta operación.



Figura A3.6. Atomizador

¹ Figura extraída de: (Vibrasec, s.f.)

A continuación en la Tabla A3.5 se muestran las características del atomizador (Vibrasec, s.f.).

Tabla A3.5. Características del atomizador

FABRICANTE	Vibrasec
MODELO	PSA75
COSTE (€)	140.000
CAPACIDAD (L/h)	260
CONSUMO ELÉCTRICO (kWh)	15
CONSUMO DE COMBUSTIBLE (BTU/h)	983.800
ALTO (m)	5
ANCHO (m)	5
LARGO (m)	8

3.1.6 Empaquetamiento

Una vez obtenido el polvo de microalga, este se carga directamente a la máquina de empaquetamiento en la que se empaqueta el polvo de microalga en bolsas selladas herméticamente de 1kg. Para ello, se emplea la máquina de empaquetamiento de la *Figura A3.7*¹.



Figura A3.7. Máquina de empaquetamiento

¹ Figura extraída de: (Alibaba, s.f.)

A continuación en la Tabla A3.6 se muestran las características de la máquina de empaquetamiento (Alibaba, s.f.).

Tabla A3.6. Características de la máquina de empaquetamiento

FABRICANTE	RUIYE Industrial Co.
MODELO	XFG-200
COSTE (€)	25.800
CONSUMO (kWh)	2
CAPACIDAD (Bolsas/min)	30
ALTO (m)	1,56
ANCHO (m)	1,14
LARGO (m)	1,50

3.1.7 Bombas

A continuación en la *Figura A3.8*¹ se muestra el formato de las bombas que se van a emplear en la planta.



Figura A3.8. Bomba hidráulica

¹ Figura extraída de: (Bombas hasa, 2023)

A continuación en la Tabla A3.7 se presentan los modelos de las bombas necesarias para los tramos especificados en el apartado 1.4.2 (Bombas hasa, 2023).

Tabla A1.7. Resumen de los cálculos para la potencia de las bombas

TRAMO	$Q_v \left(\frac{m^3}{h} \right)$	MARCA	MODELO	CONSUMO (kWh)	COSTE (€)
1 → 2	3	Bombas hasa	NIZA 6.3 M	0,6	172,01
4 → 5	1,2	Bombas hasa	NIZA 4.2 M	0,26	125,33
8 → 9	5,5	Bombas hasa	NIZA 4.4 M	0,7	159,32
10 → 11	5,5	Bombas hasa	NIZA 4.4 M	0,7	159,32
12 → 13	0,26	Bombas hasa	NIZA 4.3 M	0,37	142,07

3.1.8 Carretilla elevadora

Es importante poseer carretillas elevadoras en la instalación para poder transportar los diferentes palés de materia prima y producto acabado a los respectivos almacenes. Por lo tanto para la planta se ha decidido emplear la carretilla elevadora eléctrica de la *Figura A3.9*¹.



Figura A3.9. Carretilla elevadora

¹ Figura extraída de: (Linde, s.f.)

A continuación en la Tabla A3.8 se muestran las características de la carretilla elevadora (Linde, s.f.).

Tabla A3.8. Características de la carretilla elevadora

FABRICANTE	Linde
MODELO	E16P 02
POTENCIA (kWh)	0,05
COSTE (€)	9.375
CAPACIDAD (kg/h)	300
ALTO (m)	2,105
ANCHO (m)	1,083
LARGO (m)	1,940

3.1.9 Conducciones

Como se ha comentado en el apartado 1.4 del Anexo I, se va a emplear conducciones de PVC y codos de 90° (*Figura A3.10*¹ y *Figura A3.11*²) para la circulación de agua y del cultivo por las distintas zonas de la planta.



Figura A3.10. Conducción de PVC



Figura A3.11. Codo de 90°

¹ y ² Figuras extraída de: (Leroy Merlin, s.f.) y (Leroy Merlin, s.f.)

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

A continuación en la Tabla A3.9 se muestran las características de la conducción (Leroy Merlin, s.f.) (Leroy Merlin, s.f.) (Leroy Merlin, s.f.) y en la Tabla A3.10 de los codos (Leroy Merlin, s.f.) (Leroy Merlin, s.f.) (Tuandco, s.f.).

Tabla A3.9. Características de las conducciones

	DIÁMETRO 0,025 m	DIÁMETRO 0,016 m	DIÁMETRO 0,1 m
FABRICANTE	Leroy Merlin	Leroy Merlin	Leroy Merlin
MODELO	-	-	-
COSTE (€/m)	0,79	0,45	8,96
LARGO (m)	1	1	1

Tabla A3.10. Características de los codos de 90°

	DIÁMETRO 0,25 m	DIÁMETRO 0,16 m	DIÁMETRO 0,1 m
FABRICANTE	Leroy Merlin	Tuandco	Leroy Merlin
MODELO	-	-	-
COSTE (€/m)	0,35	0,36	2,59

3.1.10 Estanterías y cajas de almacenaje

Es necesario tener estanterías y cajas para almacenar el producto acabado, por lo que se ha decidido emplear las estanterías de la *Figura A3.12*¹ y las cajas de la *Figura A3.13*².



Figura A3.12. Estantería de almacenamiento



Figura A3.13. Cajas de almacenaje

A continuación en la Tabla A3.11 se muestran las características de la estantería y en la Tabla A3.12 y A3.13 de las cajas de las cuales se emplean dos modelos.

Tabla A3.11. Características de las estanterías

FABRICANTE	Ractem
MODELO	Max Plus
COSTE (€/m)	175,85
ALTO (m)	3,05
FONDO (m)	0,6
LARGO (m)	1,2
NIVELES	4

¹ y ² Figuras extraída de: (Ractem, 2023, Ratioform, 2023)

Tabla A3.12. Características de las cajas - Modelo 1

FABRICANTE	Ratio Form
MODELO	FEFCO 0201
COSTE (€/unidad)	10,16
ALTO (m)	0,45
ANCHO (m)	0,4
LARGO (m)	0,6
CAPACIDAD (kg)	85

Tabla A3.13. Características de las cajas - Modelo 2

FABRICANTE	Ratio Form
MODELO	FEFCO 0201
COSTE (€/unidad)	8,23
ALTO (m)	0,25
ANCHO (m)	0,4
LARGO (m)	0,6
CAPACIDAD (kg)	43

3.1.11 Bolsas herméticas de almacenaje

Una vez obtenido el polvo de microalga este se tiene que empaquetar en bolsas herméticas (*Figura A3.14*¹⁾) para que no se vea afectada su composición y humedad.



Figura A3.14. Bolsa hermética

A continuación en la Tabla A3.14 se muestran las características de las bolsas herméticas.

Tabla A3.14. Características de las bolsas herméticas

FABRICANTE	Imprenta Online
MODELO	DOYPACK
COSTE (€)	1,189
CAPACIDAD (kg)	1,4
ALTO (m)	0,27
LARGO (m)	0,17

¹ Figura extraída de: (Imprenta Online, 2023)

3.2 Presupuesto de explotación

3.2.1 Ingresos

Para conocer el valor aproximado de los ingresos de la planta en primer lugar se debe imponer el precio a producto acabado. El precio del polvo de *C. Vulgaris* oscila entre 30 € y los 100€, siendo un producto con mucho valor añadido, por lo que al cultivar el producto en unas condiciones muy controladas se obtiene un cultivo de gran calidad por lo que se decide vender el polvo a 85,5 €/kg, obteniendo un ingreso de 1.027.282,5 € al año.

3.2.2 Coste de la materia prima

A continuación en la Tabla A3.15 se presentan los costes de la materia prima necesaria para poder realizar el proceso. Como se ha comentado en el apartado 7.2 solo se necesita comprar una cepa de la microalga ya que a partir de esta se realiza un pequeño cultivo en el laboratorio para autoproducir la cepa que inocula el biorreactor en cada cultivo.

Tabla A3.15. Coste de la materia prima

COSTE DE LA MATERIA PRIMA					
MATERIA PRIMA	CANTIDAD AL MES	UNIDAD	CANTIDAD AL AÑO	PRECIO (€/unidad)	COSTE (€/año)
Cepa de <i>C. Vulgaris</i>	4	Ud.	180	120,00	120,00
Nutriente F/2	68	Ud.	3060	6,00	18.360,00
CO₂	8	Ud.	360	309,63	111.466,80
Cajas de almacenaje grandes	12	Ud.	132	10,16	1.249,68
Cajas de almacenaje pequeñas	7	Ud.	77	8,23	633,71
Bolsas herméticas	1068	Ud.	12015	1,189	14.285,84
COSTE TOTAL DE LA MATERIA PRIMA					146.116,03

Por lo tanto, el coste total de la materia prima es de 146.116,03 € al año.

3.2.3 Coste del consumo del agua

A continuación se presenta el coste del consumo de agua necesaria para la planta, teniendo en cuenta la cantidad en el depósito de agua al principio de la línea de producción y la cantidad de agua que consume una persona al día, estimando un consumo aproximado de 100 L para trabajador al día, teniendo en cuenta que cada día hay 10 trabajadores en la planta y se trabaja 20 días al mes.

En la Tabla A3.26 se muestra el coste del consumo del agua de la planta teniendo en cuenta que el precio medio de agua en España es de 1,91€/m³ (Tarifas de agua, 2023).

Tabla A3.16. Coste del consumo de agua

COSTE DEL CONSUMO DE AGUA				
SUMINISTRO	CANTIDAD (m ³ /mes)	CANTIDAD AL AÑO (m ³ /año)	PRECIO (€/m ³)	COSTE (€/año)
Agua proceso	10	110	1,91	210,10
Personal	20	220	1,91	420,20
COSTE TOTAL DEL CONSUMO DE AGUA				630,30

Como se puede observar, el coste total del consumo del agua asciende a 630,30 € al año

3.2.4 Coste del consumo de gas natural

A continuación se presenta el coste del consumo de combustible que necesita el atomizador, teniendo en cuenta que funciona 10h a la semana. En la Tabla A3.17 se muestra el coste del consumo combustible (gas natural) del atomizador teniendo en cuenta que el precio medio del GN en España es de 0,0948 €/kWh (Precio Gas, 2023) .

Tabla A3.17. Coste del consumo de gas natural

COSTE DEL CONSUMO DE GAS NATURAL					
SUMINISTRO	CANTIDAD (kW/día)	CANTIDAD (kW/mes)	CANTIDAD (kW/año)	PRECIO (€/kWh)	COSTE (€/año)
Gas Natural	2883,20	11532,80	126860,80	0,0948	12.026,40
COSTE TOTAL DEL CONSUMO DE GAS NATURAL					12.026,40

Como se puede observar, el coste total del consumo de gas natural asciende a 12.026,40 € al año

3.2.5 Coste del consumo eléctrico de la planta

A continuación en la Tabla A3.18 se definen los costes del consumo eléctrico de la planta. Para ello se tiene en cuenta la potencia necesaria para iluminar cada zona y las horas de funcionamiento al día (16h), excepto la casta de seguridad que funciona las 24h al día durante todo el año y el parking solo está iluminado 10h. Por ejemplo, para la nave.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Potencia iluminación de la nave} = 15,5 \text{ (kW)} \\ \text{Horas de funcionamiento de la planta} = 16 \text{ (h)} \end{array} \right\} \longrightarrow 15,5 \cdot 16 = 248 \text{ (kWh)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Consumo de la nave} = 248 \text{ (kWh)} \\ \text{Días funcionando} = 45 \text{ semanas} \cdot 5 \text{ días} = 225 \text{ (h)} \end{array} \right\} \longrightarrow 248 \cdot 225 = 55.800,00 \text{ (kWh/año)}$$

Tabla A3.18. Coste del consumo eléctrico de la planta

COSTE DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LA PLANTA						
ZONA	SUPERFICIE (m²)	POTENICA (kW)	CONSUMO (kWh/día)	CONSUMO ANUAL (kWh/año)	PRECIO (€/kWh)	COSTE ANUAL (€/año)
Nave	3100	15,5	248,00	55.800,00	0,1868	10.423,44
Almacén producto acabado	100	0,5	8,00	1.800,00	0,1868	336,24
Almacén S y CO₂	50	0,25	4,00	900,00	0,1868	168,12
Almacén material empaquetamiento	50	0,25	4,00	900,00	0,1868	168,12
Oficina	355	17,75	284,00	63.900,00	0,1868	11.936,52
Parking	1518	75,90	759,00	170.775	0,1868	31.900,77
Caseta seguridad	6	0,03	11,52,00	3.204,80	0,1868	598,66
COSTE TOTAL DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LA PLANTA						55.531,87

Como se puede observar en la Tabla A3.18, el coste eléctrico de la planta asciende a 55.531,87 €.

3.2.6 Coste del consumo eléctrico de la maquinaria

A continuación en la Tabla A3.19 se definen cuantas horas de funcionamiento realizan los diferentes equipos y en la Tabla A3.20 se definen los gastos energéticos de cada maquina teniendo en cuenta el consumo de cada una expuestos en el apartado 3.1.1.

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tabla A3.19. Horas en funcionamiento de las maquinas

HORAS DE FUNCIONAMIENTO				
MÁQUINA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES
Descalcificador	4 h			
Biorreactor	72h de cultivo y 4h de limpieza			
Depósito con agitación				10h
Atomizador				10h
Máquina de empaquetamiento				10 min
Bombas	4 h			4 h

Tabla A3.20. Coste del consumo eléctrico

COSTE DEL CONSUMO ELÉCTRICO						
MÁQUINA	UNIDAD	POTENCIA (kWh)	POTENCIA (kWh/semana)	POTENCIA (kWh/año)	PRECIO (€/kWh)	COSTE (€)
Descalcificador	1	1	4	180	0,1868	33,62
Biorreactor	1	6,07 / 9,9	476,64	21448,8	0,1868	4.007,00
Depósito con agitación	1	2,2	18,7	841,5	0,1868	157,20
Atomizador	1	330	2706	121770	0,1868	22.746,64
Máquina de empaquetamiento	1	2	20	900	0,1868	168,12
Bombas	5	2,63	21,04	946,80	0,1868	176,86
Carretilla elevadora	3	0,05	192	8640	0,1868	1.613,95
COSTE TOTAL DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LAS MAQUINAS						28.903,39

Como se puede observar en la Tabla A3.20, el coste eléctrico anual de las máquinas asciende a 28.903,39 €.

3.2.7 Coste del personal

Otro gasto a tener en cuenta son los jornales de cada uno de los trabajadores que forman parte de la planta. A continuación, en la Tabla A3.21 se muestran los salarios de cada uno de los trabajadores que forman parte de la fábrica, contando doce pagas mensuales y dos pagas extra (un total de catorce pagas). Los cálculos de los salarios se realizaron con (Calculadora Sueldo Neto, 2023)

Tabla A3.21. Coste de los salarios de los empleados de la planta

COSTE DE LOS SALARIOS				
	Nº DE EMPLEADOS	SALARIO BRUTO (€/MES)	SALARIO NETO (€/MES)	SALARIO BRUTO (€/AÑO)
Gerente	1	1.700	1.345,70	23.800,00
Ingeniero	2	1.500	1.205,90	42.000,00
RRHH	1	1.300	1.065,60	18.200,00
Contable	1	1.300	1.065,60	18.200,00
Comercial	1	1.300	1.065,60	18.200,00
Secretario	1	1.300	1.065,60	18.200,00
Mecánico/ Electricista	1	1.080	956,90	15.120,00
Operarios planta	6	1.080	956,90	90.720,00
	COSTE TOTAL DE SALARIOS			244.440,00

El coste total de los salarios que se deben pagar a los trabajadores es de 244.440 € al año, teniendo en cuenta a cada una de las personas necesarias para completar con éxito el círculo de trabajadores de la planta, sumando un total de 14 empleados.

3.2.8 Coste del servicios

Dentro de los costes de servicios, se encuentra internet y los servicios de telefonía, el cual se ha contratado un paquete fusión total de Movistar, que incluye fibra simétrica con velocidad de hasta 1GB de subida y bajada, además de distintas líneas fijas y móviles por 79 € al mes. Para la limpieza de la planta se ha contratado la empresa Eulen, que ofrece un servicio mensual por 1.276 € con un total de 2 trabajadores.

Finalmente, un servicio de seguridad proporcionado por la empresa Prosegur, la cual proporciona 3 vigilantes, uno para cada turno de la empresa y uno para la vigilancia nocturna de la planta por 1.410 € al mes, tal y como se muestra en la Tabla A3.22.

Tabla A3.22. Coste de los servicios de la planta

COSTE DE LOS SERVICIOS			
SERVICIO	DURACIÓN (meses)	PRECIO (€/mes)	COSTRE (€/año)
Internet y teléfono	12	79,00	948,00
Seguridad	12	1.410,30	16.923,60
Limpieza	12	1.276,00	15.312,00
COSTE TOTAL DE LOS SERVICIOS			33.183,60

El coste total de los servicios de internet y teléfono, la seguridad de vigilancia de la planta y el servicio de limpieza ascienden a 33.183,60 € al año.

3.2.9 Coste del seguro

Se ha tomado la decisión de contratar un seguro multirriesgo para la actividad, y la compañía de seguros MAPFRE ofrece una oferta de este tipo. Este seguro es un paquete completo que brinda la aseguradora e incluye cobertura para daños materiales, responsabilidad civil, accidentes laborales y prevención de riesgos (Tabla A3.23).

Tabla A3.23. Coste del seguro

COSTE DEL SEGURO	
SERVICIO	COSTE TOTAL (€/año)
Seguro multirriesgo	35.000,00

El coste total del seguro asciende a 35.000,00 € al año.

3.2.10 Amortización

Para realizar un análisis adecuado de la viabilidad económica de una actividad, es importante considerar las depreciaciones de los equipos, las construcciones (excluyendo el terreno) y otros elementos (como instalaciones eléctricas y tuberías), ya que con el tiempo tienden a deteriorarse y requieren ser reemplazados a medida que aumenta su desgaste. Por lo tanto, en la Tabla A3.24 se muestra el periodo de amortización esperado para cada equipo.

Tabla A3.24. Coste de la amortización

COSTE DE LA AMORTIZACIÓN			
SERVICIO	AÑOS DE AMORTIZACIÓN	COSTE TOTAL (€)	AMORTIZACIÓN (€/año)
Maquinaria	15	416.620,67	27.774,71
Edificación, conducciones e instalación eléctrica	25	1.720.453,89	68.818,16
COSTE TOTAL DE LA AMORTIZACIÓN			96.592,87

El coste total de la amortización asciende a 96.592,87 € al año.

3.2.11 Gastos de la planta

A continuación en la Tabla A3.25 se presentan los gastos totales que presenta la planta anualmente.

Tabla A3.25. Gasto de la planta

GASTO DE LA PLANTA	
TIPO DE COSTE	COSTE ANUAL (€/año)
Materia prima	146.116,03
Consumo eléctrico de la planta	55.531,87
Consumo eléctrico de la maquinaria	28.903,39
Consumo de agua	630,30
Consumo de gas natural	12.026,40
Personal	244.440,00
Servicios	33.183,60
Seguro	35.000,00
Amortización	96.592,87
GASTO TOTAL DE LA PLANTA	652.424,46

4. ANEXO IV. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

Según la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales con carácter obligatorio establece que se debe realizar una evaluación de los posibles riesgos que puedan producirse en la planta. De este modo se establecen unas medidas correctoras para implementar garantías de seguridad sobre los riesgos identificados, las consecuencias que estos pueden producir y los daños que podrían causar.

La metodología que se aplica para la evaluación de los riesgos es la siguiente:

- *Obtención de información (tipo de proceso, materias primas, equipos, etc.)
- *La identificación de los riesgos.
- *La valoración de los riesgos.
- *Priorización de la implantación de las medidas preventivas y correctoras o el plan de acción.

Uno de los métodos que tratan de cuantificar los riesgos es el método general de valoración de riesgos del INSSST (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo). Este método se basa en, tras identificar el riesgo, valorar la probabilidad de que el riesgo se materialice en un accidente y las consecuencias del mismo, creando de este modo la Tabla A4.1.

* Probabilidad de que ocurra:

- **Poco posible:** Se sabe que ha pasado en alguna parte.
- **Posible:** Secuencia rara, pero posible.
- **Casi seguro:** Es el resultado más probable.

*Consecuencias del daño:

- **Leve:** Daños superficiales, molestias, irritación, etc.
- **Importante:** Quemaduras, torceduras, asma, etc.
- **Serio:** Amputaciones, lesiones múltiples, cáncer, etc.

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Tabla A4.1. Índice de tolerabilidad del método INSST

		CONSECUENCIAS		
		LEVE	IMPORTANTE	SERIO
PROBABILIDAD	POCO POSIBLE	TRIVIAL T	TOLERABLE TO	MODERADO M
	POSIBLE	TOLERABLE TO	MODERADO M	IMPORTANTE I
	CASI SEGURO	MODERADO M	IMPORTANTE I	INTOLERABLE IN

Los índices de tolerabilidad presentados en la Tabla A4.1, son la base para decidir si es necesario mejorar los controles existentes o implementar unos nuevos. Por lo que en la Tabla A4.2 se muestran unos criterios sugeridos como punto de partida para la toma de decisiones necesarias, incluyendo los esfuerzos precisos para el control de los riesgos y la urgencia con la que hay que implantar las medidas de control.

Tabla A4.2. Criterios para la decisión de las medidas preventivas

RIESGO	ACCIÓN Y TEMPORIZACIÓN
TRIVIAL (T)	No se requiere acción específica.
TOLERABLE (TO)	No se necesita mejorar a acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
MODERADO (M)	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo de haber implantarse en un período determinado. Cuando el riesgo moderado está asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para establecer, con más precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
IMPORTANTE (I)	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando el riesgo corresponde a un trabajo que se está realizando. Debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
INTOLERABLE (IN)	No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

A partir de la descripción de riesgos y códigos descritos por la Ley 31/1995, se presentan los riesgos con mayor probabilidad que pueden suceder en la planta del presente proyecto.

- *01: Caída de personas a distinto nivel.
- *02: Caída de personas al mismo nivel.
- *03: Caída de objetos por desplome o derrumbamiento.
- *05: Caída de objetos desprendidos.
- *08: Choques y golpes contra objetos móviles.
- *15: Contactos térmicos.
- *23: Atropellos o golpes con vehículos.
- *24: Exposición al ruido.

Tras definir los códigos de los riesgos más influyentes en el presente proyecto, se procede a aplicar el método INSST. Para ello se dispone, se encuentran disponible en la Tabla A4.3 la evaluación de los posibles riesgos.

Tabla A4.3. Evaluación de los posibles riesgos con el método INSST

CÓDIGO	PROBABILIDAD	CONSECUENCIA	TOLERABILIDAD
1	Poco posible	Serio	Moderado MO
2	Poco posible	Importante	Tolerable TO
3	Poco posible	Serio	Moderado MO
5	Posible	Importante	Moderado MO
8	Poco posible	Importante	Tolerable TO
15	Posible	Serio	Importante I
23	Posible	Serio	Importante I
24	Casi seguro	Leve	Moderado MO

Tras la evaluación realizada de los posibles riesgos en la Tabla A4.X, se procede a describir las medidas correctoras que se deben de llevar a cabo en cada uno de los riesgos de la planta.

***01: Caída de personas a distinto nivel.**

Este se puede producir en el caso de que un operario tenga que subir encima del atomizador para realizar alguna posible reparación o sobre el depósito de agua.

Como medidas de seguridad se propone mantener una formación periódica, volviendo a impartirla cuando sea necesario. Por otro lado, añadir protecciones colectivas como barandillas y redes de seguridad individuales como arneses de seguridad. También el empleo de casco y el uso de calzado de seguridad homologado.

***02: Caída de personas al mismo nivel.**

Este tipo de accidente puede ocurrir cuando existen obstáculos en el suelo o sustancias que puedan causar resbalones y caídas.

Como medidas de seguridad se propone mantener una formación periódica, volviendo a impartirla cuando sea necesario. Mantener las zonas de circulación señalizadas y libres de obstáculos, mantener las zonas en orden y limpias. También el uso de calzado de seguridad homologado.

***03: Caída de objetos por desplome o derrumbamiento.**

Es posible que se produzca el derrumbamiento de las estanterías del almacén del producto acabado.

Como medidas de seguridad se propone evitar golpes sobre las estanterías para evitar un desplome o derrumbamiento

***05: Caída de objetos desprendidos.**

Es posible que se produzca el derrumbamiento de las cajas que se encuentran sobre las estanterías del almacén del producto acabado.

Como medidas de seguridad se recomienda implementar cascos de protección homologados.

***08: Choques y golpes contra objetos móviles.**

Es posible que se produzcan choques con las carretillas elevadoras empleadas en la planta.

Como medida de seguridad se propone realizar los desplazamientos con las carretillas elevadoras de manera lenta y cautelosa. Mantener las zonas de transporte libres de obstáculos, mucha precaución a la hora de realizar giros donde haya poca visibilidad y un curso de formación para los operarios.

***15: Contactos térmicos.**

El atomizador opera a altas temperaturas. Aunque el equipo tenga paredes preparadas para el proceso, el calor de la corriente de aire calienta las paredes y, por conductividad, aumenta la temperatura de la pared exterior. En caso de que alguien toque accidentalmente esa pared del atomizador, puede causar quemaduras.

Como medidas de seguridad se propone que el operario en cuestión disponga de EPI's adecuados, como guantes.

***23: Atropellos o golpes con vehículos.**

Como se producen circulación de camiones por la planta y de coches se puede dar el caso de un atropello.

Como medida de seguridad se propone la implementación de señalizaciones de tránsito y respetarlas. Los operarios y trabajadores de la planta solo puedan circular por zonas destinadas para dicho fin evitando zonas con mucha circulación.

***24: Exposición al ruido.**

Este riesgo se produce cuando las bombas, y especialmente el atomizador, están en funcionamiento.

Como medida de seguridad se propone que los operarios de la planta lleven tapones para los oídos cuando sea necesario, para protegerse del ruido generado. Además, es importante cumplir las precauciones respectivas en relación al ruido.

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

Teniendo en cuenta estas medidas correctoras se puede realizar la actividad de la planta, realizando formaciones periódicas a los empleados y revisiones a los distintos equipos.

5. ANEXO V. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es un documento técnico que se debe elaborar para obtener la aprobación y llevar a cabo un proyecto. El objetivo de este documento es identificar y evaluar los efectos ambientales que puede ser causados por la actividad de la planta, y tomar las decisiones adecuadas para prevenir y reducir en la medida de lo posible los impactos negativos que puedan surgir.

Este documento, por ley, es obligatorio para todos los proyectos contemplados en el Anexo I de la Ley 21/2013, de 9 de noviembre, como sería el caso de la planta de producción objeto de estudio.

5.1 Descripción del proceso

En el presente proyecto se desea producir un cultivo de microalgas en un reactor biológico empleando agua dulce, un sustrato adecuado y una inyección de una corriente de aire enriquecida con un 6% de CO_2 . Tras el cultivo, la cosecha obtenida se introducirá en un secadero por atomización para evaporar el 95% de agua de las microalgas y obtener de este modo un polvo de microalga con un 5% de humedad.

5.2 Impacto ambiental del proceso

Los principales puntos que hay que tener en cuenta para evaluar el impacto ambiental del proceso son.

- * Las botellas del sustrato para las microalgas las cuales están hechas de plástico.
- * La corriente de vapor producida por el atomizador y el gas natural empleado como combustible.
- * El agua empleada para la limpieza automática del biorreactor.
- * La huella de carbono de los camiones/furgonetas del transporte de la materia prima y del producto acabado.
- * Posibles fugas de las botellas de CO_2 .

5.2.1 Medidas

5.2.1.1 Medidas contra los contaminantes sólidos

Para poder reducir el impacto ambiental que suponen las botellas de sustrato vacías se procederá a su reciclado en el contenedor de plásticos más cercano a la planta.

5.2.1.2 Medidas contra los contaminantes líquidos

El agua empleada para la autolimpieza del biorreactor se considera un residuo biológico con un bajo impacto ambiental. Las cantidades de microalgas presentes después de la limpieza son insignificantes, por lo que no afectarían al medio ambiente si se vierten a través de la red de alcantarillado. Además, como se ha comentado en el apartado 4.1.4 del documento Memoria, estos microorganismos pueden ser utilizados en procesos de depuración de aguas residuales.

5.2.1.3 Medidas contra los contaminantes gaseosos

En cuanto a las emisiones de vapor de agua a la atmósfera, en la última década se ha considerado que tiene cierto impacto en el efecto invernadero del planeta ya que este puede atrapar el calor de la atmósfera y contribuir con el calentamiento global. Además, puede interactuar con otros gases de efecto invernadero, como el CO_2 y el N_2O , potenciando de este modo el efecto invernadero. Una posible solución sería instalar un sistema de recuperación del agua evaporada.

En cuanto al gas natural que se emplea para calentar la corriente de aire del atomizador, se propone emplear una mezcla combustible de gas natural con hidrógeno verde con vistas a futuro de sustituir por completo el gas natural en cuanto la tecnología lo permita, reduciendo de este modo las emisiones de CO_2 .

Para abordar la huella de carbono generada por los camiones y furgonetas, se ha optado por utilizar vehículos de transporte de mercancías híbridos con certificado ECO. Esta elección se realiza con el propósito de reducir de manera significativa la huella de carbono asociada a la actividad de transporte.

Por último en cuanto a las posibles fugas de CO_2 de las botellas, es importante destacar que, además del problema que supone su liberación a la atmósfera, la mayor preocupación radica en el riesgo de inhalación por los operarios de la planta. Una exposición prolongada a altas concentraciones de CO_2 puede producir un envenenamiento y, en casos extremos, conducir a la asfixia y la muerte.

Con el fin de prevenir este problema, se propone implementar detectores de dióxido de carbono en el almacén donde se almacenan las botellas y en los alrededores del biorreactor. Estos detectores permitirán monitorear continuamente los niveles de CO_2 y alertar en caso de superar los límites establecidos. Además, se recomienda contar con una adecuada ventilación en la nave, para facilitar la dispersión del CO_2 y mantener un ambiente seguro para los operarios.

La combinación de detectores de dióxido de carbono y una ventilación adecuada ayudará a prevenir la acumulación peligrosa de CO_2 y proteger la salud y seguridad de los trabajadores en la planta.

6. ANEXO VI. RÁTIOS ECONÓMICOS

A continuación se presentan los ratios económicos empleados para la realización de los cálculos en el Anexo I y Anexo III.

RATIOS ECONÓMICOS:

Edificación Industrial:

Naves industriales hasta 6 metros de altura: 145 €/m²

Naves industriales de entre 6 y 18 metros de altura: 180 €/m²

Naves industriales de más de 18 metros de altura: 320 €/m²

Alumbrado público:

SOBRE FACHADA, LUMINARIA DE CHAPA.....	770 €/UD.
LUMINARIA DE FUNDICIÓN	1.100 €/UD.
COLUMNA HASTA 4 M CON LUMINARIA TIPO JARDIN.....	<u>1000</u> €/UD.
COLUMNA O BACULO DE 4 A 8 M LUMINARIA DE CHAPA.....	1.426,82 €/UD.
LUMINARIA DE FUNDICIÓN	1.925,78 €/UD.
COLUMNA O BACULO MAYOR DE 8 M LUMINARIA DE CHAPA.....	1.864,42 €/UD.
LUMINARIA DE FUNDICIÓN	2.188,31 €/UD.

Instalación eléctrica industrial, garajes y aparcamientos:

POTENCIA TOTAL INSTALADA HASTA 50 KW POTENCIA EN FUERZA MOTRIZ	0,25 €/W.
POTENCIA EN ALUMBRADO.....	0,95 €/W.
POTENCIA TOTAL INSTALADA ENTRE 50 KW Y 650 KW POTENCIA EN FUERZA MOTRIZ	0,25 €/W.
POTENCIA EN ALUMBRADO.....	0,95 €/W.
POTENCIA TOTAL INSTALADA SUPERIOR A 650 KW POTENCIA EN FUERZA MOTRIZ	0,25 €/W.
POTENCIA EN ALUMBRADO.....	0,95 €/W.

Alumbrado interior: 5 kW/m².

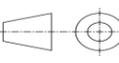
DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

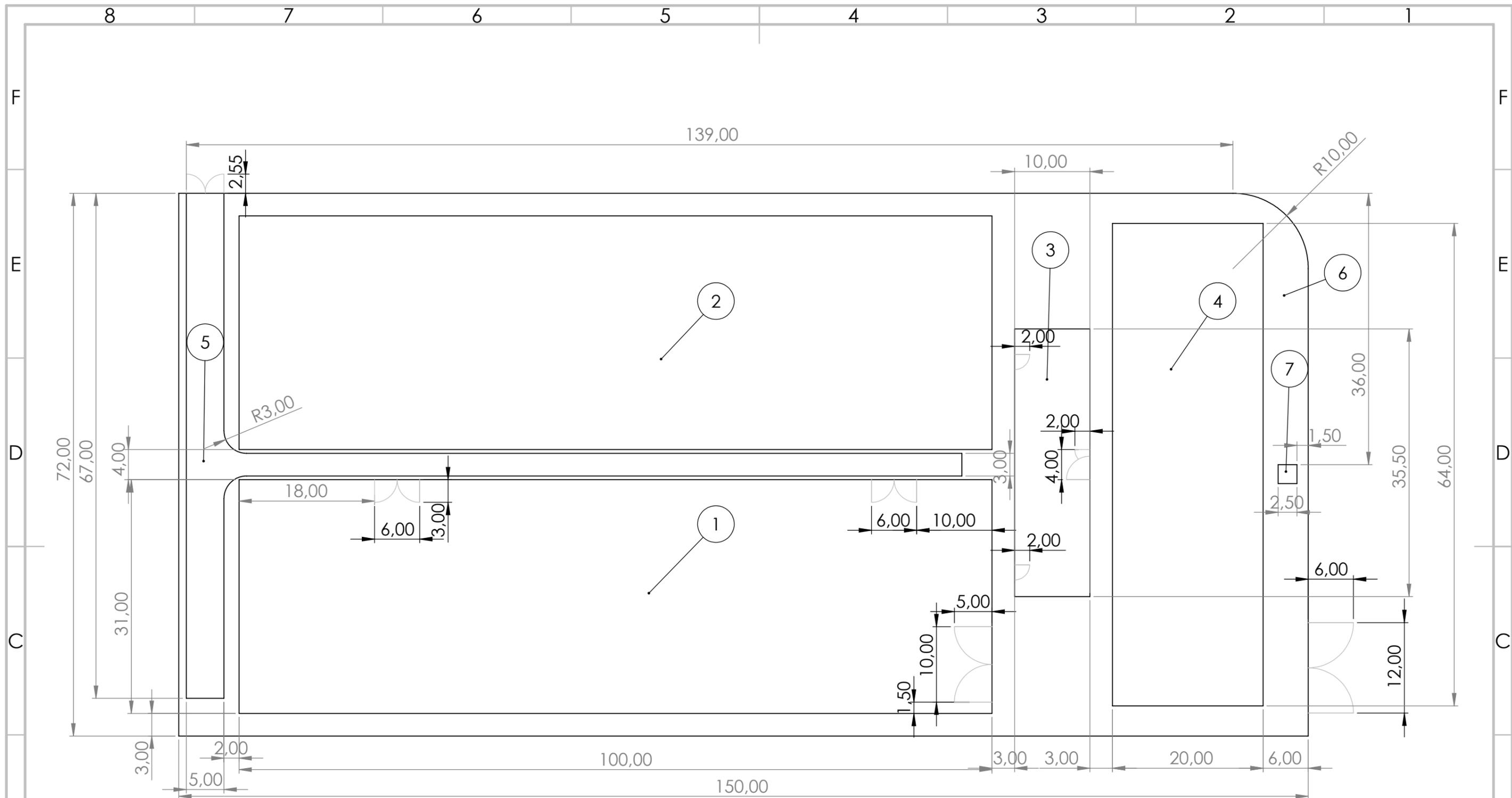
4. PLANOS

ÍNDICE DE LOS PLANOS

1. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA	2
2. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA	3
3. DISTRIBUCIÓN DE LA NAVE DEL PROCESO	4

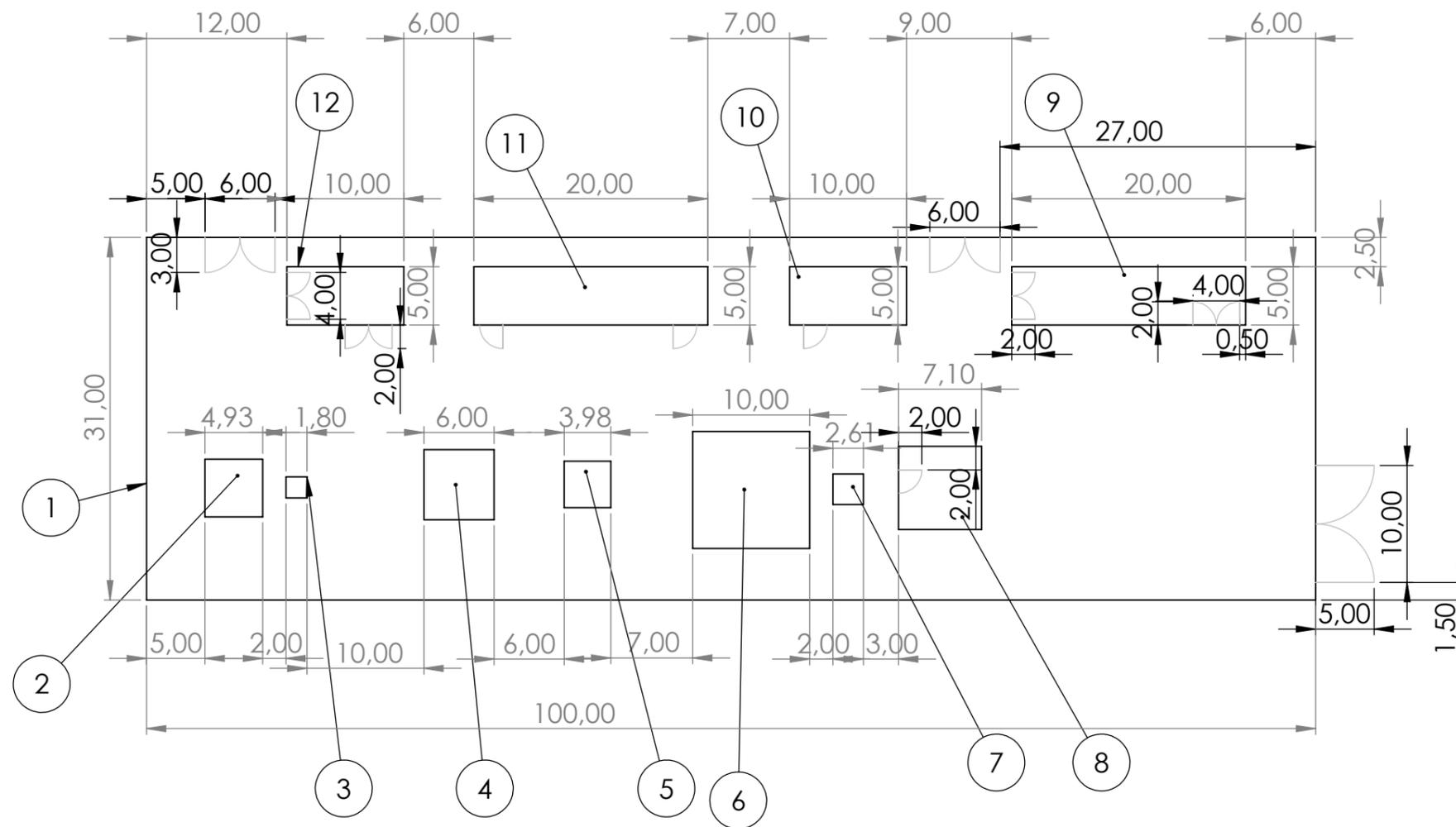


Grado	Escala	Diseño de una planta para la obtención de microalgas	Unidad dimensional	Formato del papel
EQ	N/A		m	A3
		Paul V. Hudusan	Fecha	Plano nº
		P1. Localización de la planta	23/06/2023	1



1	Nave de producción
2	Futura ampliación
3	Oficinas
4	Parking
5	Zona de tránsito de camiones
6	Parcela de la planta
7	Caseta de seguridad

Grado	Escala	Diseño de una planta para la obtención de microalgas	Unidad dimensional	Formato del papel
EQ	1:500		m	A3
		Paul V. Hudusan	Fecha	Plano nº
		P2. Distribución de la planta	23/06/2023	2



1	Toma de red de agua
2	Depósito de agua
3	Descalcificador
4	Biorreactores
5	Depósito con agitación del cultivo
6	Atomizador
7	Máquina de empaquetado
8	Almacén empaquetamiento
9	Almacén producto acabado
10	WC y vestuario
11	Laboratorio
12	Almacén sustrato y dióxido de carbono

Grado	Escala	Diseño de una planta para la obtención de microalgas	Unidad dimensional	Formato del papel
EQ	1:500		m	A3
		Paul V. Hudusan	Fecha	Plano nº
			23/06/2023	3
P3. Distribución de la nave del proceso				

5. PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES	3
1.1 Disposiciones generales	3
1.2 Contrato de obra	3
1.3 Formalización del contrato de obra	3
1.4 Reglamentación urbanística	4
1.5 Jurisdicción competente	4
1.6 Recesión del contrato de obra	4
1.7 Efectos de recesión del contrato de obra	5
2. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS	6
2.1 El promotor	6
2.2 El proyectista	6
2.3 El contratista	7
2.4 El director de obra	7
2.5 Director de ejecución de obra	8
2.6 Los suministradores del promotor	8
2.7 El coordinador de seguridad y salud	8
3. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS	10
3.1 Contrato de obra	10
3.2 Fianzas	11
PLIEGO DE CONDICIONES	1

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

3.2.1 Ejecución de trabajos con carga en la fianza	11
3.2.2 Devolución de la fianza	11
3.3 Precios	12
3.4 Valoración y abono de los trabajos	12
3.4.1 Forma y plazos de abono de las obras	12
3.5 Indemnizaciones mutuas	13
3.6 Liquidación final de la obra	13
4. PLIEGO DE CONDICIONES LEGALES	14
5. CONDICIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS	15
5.1 Especificaciones de la instalación eléctrica	16
5.2 Especificaciones de las conducciones	16
5.3 Especificaciones de la instalación de la maquinaria	17

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.1 Disposiciones generales

El propósito de este documento es asegurar el cumplimiento de las disposiciones que establecen los requisitos de un proyecto, abarcando aspectos facultativos, económicos y técnicos. Estas condiciones deben regir en los contratos relacionados con la realización de trabajos de infraestructura civil, siempre y cuando se haga referencia explícita a este conjunto de instrucciones en cada uno de los detalles específicos de la obra.

1.2 Contrato de obra

El propósito de este contrato es establecer el diseño de un proceso de producción de gránulos vítreos destinados a ser utilizados como revestimientos cerámicos. Para lograr esto, se recomienda contratar la ejecución de los trabajos en unidades definidas, de acuerdo con la documentación del proyecto y en base a costos fijos. Con este fin, el director del proyecto proporcionará la información necesaria para llevar a cabo el contrato de construcción.

En el caso de este proyecto en particular, no será necesario construir los cimientos de una nave industrial, ya que se trata de la instalación de un proceso compuesto por diversos equipos en una empresa preexistente.

1.3 Formalización del contrato de obra

Los documentos entregados por la propiedad al contratista, que definen los trabajos, pueden tener carácter contractual o simplemente informativo. Se consideran documentos contractuales los Planos, Pliego de Condiciones, cuadros de precios y presupuestos parciales y totales incluidos en este proyecto.

Los datos y marcas comerciales mencionados en la Memoria y Anexos, así como la justificación de precios, tienen un carácter meramente informativo.

Cualquier cambio significativo en la planificación de la obra que afecte al proyecto debe ser comunicado a la Dirección Técnica para su aprobación, en caso necesario, y para que redacte el correspondiente proyecto modificado. El director de Obra proporcionará la documentación necesaria para llevar a cabo el contrato de construcción.

1.4 Reglamentación urbanística

La construcción de la obra se llevará a cabo de acuerdo con todas las restricciones establecidas en el proyecto aprobado por las autoridades competentes. Esto incluye, en particular, las limitaciones relacionadas con el volumen, alturas, ubicación y ocupación del terreno, así como cualquier condición de modificación del proyecto que pueda ser requerida por la Administración para cumplir con las Ordenanzas, Normas y Regulaciones Urbanísticas vigentes.

1.5 Jurisdicción competente

Si las partes involucradas no logran llegar a un acuerdo en las discrepancias surgidas, ambas deberán someter todas las cuestiones derivadas de su contrato a la consideración de las Autoridades y Tribunales Administrativos, de acuerdo con la legislación vigente. En este sentido, renuncian al recurso al derecho común y al privilegio de su domicilio, y se establece que la jurisdicción competente será la de Castellón de la Plana.

1.6 Rescisión del contrato de obra

En caso de que se produzca una rescisión, dicha rescisión se registrará por el Reglamento General de Contratación para la aplicación de la Ley de Contratos del Estado, según lo establecido en el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales. Las siguientes causas se considerarán suficientes para la rescisión:

- * Muerte o incapacidad del contratista.
- * Quiebra del contratista.
- * Modificación sustancial del proyecto

- * Variación en las unidades de obra disponibles.
- * Incumplimiento del contrato.
- * Abandono o suspensión de la obra sin causa justificada.

1.7 Efectos de recesión del contrato de obra

La resolución del contrato implicará la verificación, medición y liquidación de las obras realizadas de acuerdo con el proyecto, estableciendo los saldos correspondientes a favor o en contra del contratista.

En caso de demora injustificada en la verificación del replanteo, que resulte en la resolución del contrato, el contratista solo tendrá derecho a una indemnización equivalente al 2% del precio de adjudicación, excluyendo los impuestos, por todos los conceptos.

En el caso de desistimiento antes de iniciar las obras, o suspensión de la iniciación de las mismas por parte del promotor durante un período superior a cuatro meses, el contratista tendrá derecho a recibir una indemnización del 3% del precio de adjudicación, excluyendo los impuestos, por todos los conceptos.

Una vez que se haya iniciado la ejecución de las obras, o en el caso de suspensión de las obras iniciadas por un período superior a ocho meses, el contratista tendrá derecho a una indemnización del 6% del precio de adjudicación del contrato por las obras no realizadas, en concepto de beneficio industrial, excluyendo los impuestos, por todos los conceptos.

2. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS

2.1 El promotor

El promotor, ya sea una persona física o jurídica, pública o privada, es quien toma la decisión, impulsa, planifica y financia con recursos propios o externos las obras de construcción, ya sea para su uso personal o para su posterior venta, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título.

El promotor asume la responsabilidad de todo el proceso de la obra, impulsando la gestión necesaria para llevar a cabo el proyecto inicialmente planificado, y se encarga de todos los costos necesarios.

De acuerdo con la legislación vigente, también se equiparán al promotor aquellas personas o entidades que gestionen sociedades cooperativas, comunidades de propietarios u otras similares que asuman la gestión económica de la construcción.

En el caso específico de este proyecto, al tratarse de un trabajo de fin de grado, los promotores son las entidades físicas que han solicitado la realización del mismo. Por lo tanto, se puede considerar que la comisión académica del título actúa como promotor de este proyecto.

2.2 El proyectista

El proyectista es el profesional encargado de redactar el proyecto por solicitud del promotor, siguiendo las normativas técnicas y urbanísticas correspondientes. Sus principales obligaciones son las siguientes:

- * Elaborar el proyecto de acuerdo con lo establecido anteriormente, incluyendo la documentación necesaria para tramitar las licencias y permisos administrativos, así como para permitir la interpretación y la ejecución completa de la obra. Debe entregar al promotor las copias autorizadas correspondientes, debidamente visadas por el colegio profesional al que pertenece.

- * Acordar con el promotor la contratación de otros profesionales técnicos para colaboraciones parciales, cuando sea necesario.
- * Tener los derechos de propiedad intelectual sobre su trabajo, tanto en la documentación escrita como en los cálculos de cualquier tipo, así como en los planos contenidos en el proyecto y en cualquiera de sus documentos complementarios.

El proyectista es responsable de garantizar la calidad y la adecuación del proyecto a las normativas vigentes, asegurando que el promotor disponga de la documentación necesaria para llevar a cabo la obra de manera correcta.

2.3 El contratista

El contratista es el agente que, mediante un contrato con el promotor, se compromete a ejecutar total o parcialmente las obras utilizando recursos humanos y materiales propios o ajenos, de acuerdo con el Proyecto y el Contrato de obra.

Es importante destacar que la ley establece al contratista general de la obra como el responsable directo de los vicios o defectos constructivos, sin perjuicio de su derecho a reclamar a los subcontratistas en caso necesario.

2.4 El director de obra

El Director de Obra es un miembro clave del equipo de dirección facultativa encargado de supervisar y guiar el progreso de la obra en términos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales. Su función principal es garantizar que la ejecución de la obra cumpla con el proyecto definido, la licencia de edificación, las autorizaciones correspondientes y las condiciones establecidas en el contrato, asegurando así su adecuación al objetivo propuesto.

2.5 Director de ejecución de obra

El Director de la Ejecución de Obra, como parte de la Dirección Facultativa, desempeña el papel técnico de supervisar la ejecución física de la obra y controlar tanto cualitativa como cuantitativamente la construcción y la calidad de lo que se está edificando.

Para llevar a cabo esta función de manera efectiva, es necesario realizar un estudio y análisis exhaustivo del proyecto de ejecución una vez redactado por el Director de Obra. Además, el Director de la Ejecución de Obra tiene la responsabilidad de solicitar con antelación al inicio de la obra todas las aclaraciones, correcciones o documentos complementarios que considere necesarios dentro de su competencia y atribuciones legales, con el fin de dirigir adecuadamente la ejecución de la obra de manera solvente.

2.6 Los suministradores del promotor

Los suministradores de productos en el ámbito de la construcción engloban a fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción y accesorios. Su función principal es realizar las entregas de los productos de acuerdo con las especificaciones establecidas en el pedido. Además, son responsables de garantizar el origen, la identidad y la calidad de los productos suministrados, así como de cumplir con las exigencias establecidas por la normativa técnica aplicable.

También se encargan de proporcionar instrucciones de uso y mantenimiento de los productos suministrados, así como las garantías de calidad correspondientes, para que sean incluidos en la documentación de la obra ejecutada.

2.7 El coordinador de seguridad y salud

El coordinador de seguridad y salud es un profesional especializado en prevención de riesgos laborales en el sector de la construcción. Su función principal es garantizar la aplicación y cumplimiento de los principios preventivos en la coordinación de actividades empresariales durante

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

el desarrollo de una obra específica para la cual ha sido designado. Su objetivo es asegurar que se adopten las medidas adecuadas para prevenir accidentes y garantizar un entorno de trabajo seguro y saludable para todos los involucrados en el proyecto.

Durante la ejecución de la obra, el coordinador de seguridad y salud tiene las siguientes funciones:

- * Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y seguridad.
- * Supervisar y coordinar las actividades de la obra para asegurar que contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos apliquen de forma coherente y responsable los principios de la acción preventiva.
- * Aprobar el plan de seguridad y salud elaborado por el contratista.
- * Coordinar las acciones y funciones de control para asegurar la correcta aplicación de los métodos de trabajo.
- * Establecer medidas para garantizar que solo las personas autorizadas tengan acceso a la obra.
- * Justificar la capacidad suficiente de recursos materiales y humanos necesarios para llevar a cabo los trabajos contratados, presentando la acreditación oficial correspondiente otorgada por la Comunidad Valenciana, cuando sea necesario.

3. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

Las condiciones económicas establecen el marco para el pago y recepción de la obra en términos económicos. Estas condiciones son complementarias al contrato de obra, el cual es el documento principal con validez, establecido entre el promotor y el contratista, y regula las relaciones entre ambas partes involucradas.

3.1 Contrato de obra

Se recomienda que el contrato de obra entre el promotor y el contratista se firme antes de comenzar la construcción, evitando en la medida de lo posible el método de administración. Se proporcionará a la Dirección Facultativa (director de obra y director de ejecución de la obra) una copia del contrato de obra para que puedan certificar según los términos acordados.

El contrato de obra debe anticipar posibles interpretaciones y discrepancias que puedan surgir entre las partes, y garantizar que la Dirección Facultativa pueda coordinar, dirigir y supervisar efectivamente la obra. Por lo tanto, es conveniente que se especifiquen y aclaren de manera clara, al menos, los siguientes puntos:

- * Documentos a aportar por el contratista.
- * Condiciones de ocupación del terreno e inicio de las obras.
- * Determinación de los gastos de enganches y consumos.
- * Responsabilidades y obligaciones del contratista: Legislación laboral.
- * Responsabilidades y obligaciones del promotor.
- * Presupuesto del contratista.
- * Revisión de precios.
- * Forma de pago: Certificaciones.
- * Plazos de ejecución: Planning.

- * Retraso de la obra: Penalizaciones.
- *Recepción de la obra: Provisional y definitiva.
- *Litigio entre las partes.

Todos los agentes involucrados en el proceso de construcción, según lo definido en la "Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación", tienen el derecho de recibir de manera oportuna las cantidades correspondientes por su actuación adecuada de acuerdo a las condiciones establecidas en el contrato. Asimismo, se les puede exigir mutuamente garantías adecuadas para garantizar el cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

3.2 Fianzas

El contratista deberá proporcionar una fianza de acuerdo con el procedimiento establecido en el contrato de obra.

3.2.1 Ejecución de trabajos con carga en la fianza

En caso de que el contratista se niegue a completar los trabajos necesarios para finalizar la obra según lo acordado en el contrato, el director de obra, en representación del promotor, ordenará que sean realizados por un tercero. También podrá realizarlos directamente a través de la administración, utilizando los fondos de la fianza depositada por el contratista. En caso de que el importe de la fianza no sea suficiente para cubrir los gastos de las unidades de obra que no cumplan con los requisitos, el promotor tendrá derecho a tomar acciones legales adicionales.

3.2.2 Devolución de la fianza

Una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra, la fianza recibida por el contratista será devuelta dentro del plazo establecido en el contrato de obra. El promotor tiene el derecho de

solicitar al contratista la acreditación de la liquidación y finiquito de todas las deudas relacionadas con la ejecución de la obra, como salarios, suministros y subcontratos.

3.3 Precios

El objetivo principal de elaborar un presupuesto es prever el costo del proceso de construcción de una obra. El presupuesto se divide en unidades de obra, que son componentes individuales contratados y certificados por separado. Utilizando estos precios, se calcula el presupuesto total.

Es importante destacar que si el contratista no realiza reclamaciones u observaciones oportunas antes de firmar el contrato de obra, no podrá reclamar aumentos en los precios establecidos en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirve de base para la ejecución de las obras, incluso en caso de error u omisión.

3.4 Valoración y abono de los trabajos

3.4.1 Forma y plazos de abono de las obras

El proceso de pago se realizará mediante certificaciones de obra, las cuales se establecerán en el contrato de obra entre el promotor y el contratista. El promotor realizará los pagos según los plazos acordados previamente en el contrato, y el importe de dichos pagos corresponderá exactamente a las certificaciones de la obra, que serán confirmadas por el director de ejecución de la obra.

En el caso de obras o partes de la obra que queden ocultas de forma permanente debido a sus dimensiones y características, el contratista tiene la obligación de notificar al director de ejecución de la obra con suficiente antelación. Esto permitirá al director realizar las mediciones correspondientes, recopilar los datos necesarios y elaborar los planos que describan dichas partes ocultas. El contratista deberá firmar la conformidad de estos planos.

3.5 Indemnizaciones mutuas

La compensación por retraso en la finalización de la obra se determinará como un porcentaje del importe total de los trabajos contratados o como una cantidad fija, según se especifique en el contrato firmado entre el contratista y el promotor. Esta compensación se aplicará por cada día de retraso a partir de la fecha de finalización establecida en el calendario de obra. Las sumas correspondientes se descontarán y retendrán de la fianza o retención establecida.

3.6 Liquidación final de la obra

La liquidación de la obra entre el promotor y el contratista se llevará a cabo en base a las certificaciones conformadas por la Dirección de Obra. En caso de que la liquidación se realice sin el consentimiento de la Dirección de Obra, esta solo actuará como mediadora en caso de discrepancias o desacuerdos, y se podrá recurrir a los tribunales en caso de necesidad.

4. PLIEGO DE CONDICIONES LEGALES

El autor del presente proyecto y su promotor reconocen y respetan las marcas registradas que han aparecido durante su desarrollo y ejecución, así como los derechos de autor de la bibliografía consultada y citada en el mismo.

En relación a los derechos de autor, se aplicarán las disposiciones establecidas por la legislación y reglamentación vigente en el momento de inicio del proyecto, salvo en casos de correcciones legales derivadas de recursos legales interpuestos contra dichas leyes y reglamentos.

5. CONDICIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

El objeto del presente documento es reflejar los requisitos técnicos básicos para realizar la puesta en marcha de la planta para la obtención de microalgas.

Los productos, equipos y sistemas suministrados en el proyecto deben cumplir con las condiciones y especificaciones establecidas en los documentos correspondientes. Además, su calidad debe estar en línea con las normas relevantes publicadas, las cuales complementarán esta sección del pliego. Se dará preferencia a los materiales que cuenten con documentos de idoneidad técnica emitidos por organismos reconocidos, que respalden sus cualidades.

El contratista será responsable de garantizar que los materiales utilizados cumplan con las condiciones requeridas, independientemente del nivel de control de calidad establecido para su aceptación.

El contratista deberá notificar al director de ejecución de la obra con suficiente antelación el origen de los materiales que planea utilizar, proporcionando las muestras y datos necesarios para que se tome una decisión sobre su aceptación, cuando así lo solicite el director de ejecución de la obra. Estos materiales deberán ser aprobados por el director de ejecución de la obra antes de su utilización en la obra, y no podrán ser almacenados ni colocados en la obra sin su aprobación.

Además, si se detectan defectos en los materiales después de su colocación en la obra, y dichos defectos afectan la calidad final de la obra, deberán ser retirados bajo la responsabilidad y costo del contratista. En el caso de materiales y equipos con garantía propia, se trasladará la garantía otorgada por el fabricante.

5.1 Especificaciones de la instalación eléctrica

Las instalaciones eléctricas serán llevadas a cabo por una empresa especializada que cumpla con todos los requisitos establecidos por la legislación vigente. El director de obra presentará toda la documentación pertinente para obtener la autorización necesaria para comenzar los trabajos.

Todo el personal que participe en cualquier aspecto de la ejecución de las instalaciones eléctricas, incluso en labores accesorias, deberá poseer los certificados de calificación profesional correspondientes. Será requisito indispensable para que la dirección autorice su participación en los trabajos la entrega de una copia autenticada de dichos certificados, así como la justificación de estar registrado en el Libro de Matrícula.

Antes de iniciar la obra, el contratista deberá presentar planos detallados que muestren de manera preferente la ubicación real de las canalizaciones y conductores. Al finalizar la obra, se deberán presentar los mismos planos corregidos de acuerdo a la ejecución realizada.

5.2 Especificaciones de las conducciones

La planta consta de una red de tuberías que transportan la suspensión de mica y las instalaciones sanitarias, limpieza de equipos, entre otros. Las tuberías cumplirán con las especificaciones indicadas en las Mediciones y Presupuestos del proyecto en términos de tipo, diámetro y presión de servicio. Las piezas especiales, por su parte, serán capaces de soportar las mismas presiones de prueba y trabajo que las tuberías en las que serán instaladas.

El material del cuerpo principal de estas piezas especiales será el indicado en los planos, y en caso de no estar especificado, se utilizará un material garantizado por un fabricante nacional solvente, previa aprobación del Director de las obras, quien también autorizará los modelos a utilizar. Se exigirá un acabado perfecto en las piezas especiales, asegurando su funcionamiento, durabilidad y resistencia, y deberán ser respaldadas con los certificados oficiales correspondientes.

La superficie interior de todas las tuberías y piezas especiales deberá ser lisa, sin defectos de regularidad, excepto aquellos accidentales o locales dentro de las tolerancias permitidas, que no afecten la calidad del flujo de agua. Cualquier reparación de estos desperfectos requerirá la autorización previa del Director de obras.

Los tubos y elementos de las conducciones y redes deberán estar bien terminados, con espesores regulares y un trabajo cuidadoso, capaces de resistir los esfuerzos a los que serán sometidos tanto en servicio como durante las pruebas, sin sufrir daños.

5.3 Especificaciones de la instalación de la maquinaria

Todas las partes de la maquinaria que entren en contacto con los elementos a tratar deberán estar fabricadas con materiales inalterables, con superficie lisa y fácil de limpiar.

Los elementos móviles de la maquinaria deberán contar con dispositivos de protección adecuados para garantizar la seguridad del operador. En caso de que una máquina, en condiciones de trabajo normales y correctamente manejada de acuerdo con las instrucciones, no alcance el rendimiento garantizado, se deberá informar al vendedor para que se comuniquen las deficiencias y se realicen las modificaciones necesarias. Si dichas deficiencias no son corregidas en un plazo de un mes, el vendedor se hará cargo de la maquinaria, devolviendo el importe pagado o suministrando, a elección del cliente, otra máquina de rendimiento adecuado en reemplazo de la retirada.

Los gastos de transporte, embalaje, derechos de aduana, riesgos, seguros e impuestos hasta que la maquinaria llegue a su lugar de instalación correrán a cargo del vendedor. El montaje será responsabilidad del vendedor, aunque el promotor deberá proporcionar las escaleras, instalación eléctrica, herramientas y materiales necesarios para el montaje, así como personal auxiliar para ayudar al especializado enviado por la empresa suministradora.

El plazo de entrega de la maquinaria acordado entre el promotor y el vendedor no podrá ser ampliado a menos que existan causas de fuerza mayor, como huelgas, cierres patronales, movilización del ejército, guerra o revolución. El vendedor será responsable de suministrar los

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

dispositivos y herramientas necesarios para llevar a cabo las pruebas de las máquinas y realizar las verificaciones pertinentes, asumiendo los gastos que se deriven de estas actividades.

En cada máquina o grupo de máquinas se establecerá una fecha de prueba para poder realizar la recepción provisional. Durante el período de garantía de un año, se espera un funcionamiento perfecto de la maquinaria, y la empresa suministradora se compromete a reemplazar por su cuenta las piezas que presenten deterioro debido a una construcción o instalación defectuosa, así como a corregir por su cuenta cualquier anomalía o irregularidad en el funcionamiento que impida su uso normal.

6. ESTADO DE MEDICIONES

ÍNDICE DEL ESTADO DE MEDICIONES

1. ESTADO DE MEDICIONES	2
1.1 Partida de la maquinaria	2
1.2 Partida de las conducciones y accesorios	3
1.3 Partida de la parcela	3
1.4 Partida de la obra civil	3

1. ESTADO DE MEDICIONES

En el Estado de Mediciones se registran todas las partidas que ejercen una influencia directa sobre el presupuesto final del proyecto y que se materializan físicamente. A continuación, se presentan en detalle las partidas que conforman el proyecto.

*Maquinaria

*Conducciones

*Parcela

*Obra civil

1.1 Partida de la maquinaria

En la Tabla EM.1 se presenta el estado de mediciones de la maquinaria que integra la planta de obtención de microalgas.

Tabla EM.1. Estado de mediciones de la maquinaria

MAQUINARIA	UNIDADES	CANTIDAD
Depósito de agua	Ud.	1
Descalcificador	Ud.	1
Biorreactor	Ud.	1
Depósito con agitación	Ud.	1
Atomizador	Ud.	1
Máquina de empaquetamiento	Ud.	1
Bombas	Ud.	5
Carretilla elevadora	Ud.	1

1.2 Partida de las conducciones y accesorios

En la Tabla EM.2 se presenta el estado de mediciones de las conducciones y accesorios que integran la planta de obtención de microalgas.

Tabla EM.2. Estado de mediciones de las conducciones

ELEMENTO	UNIDADES	DIÁMETRO (m)	CANTIDAD (Unidades)
Conducción del proceso	<i>m</i>	0,025	19
	<i>m</i>	0,016	12
	<i>m</i>	0,1	7
Codos de 90° std.	Ud.	0,025	5
	Ud.	0,016	4
	Ud.	0,1	4

1.3 Partida de la parcela

En la Tabla EM.3 se presenta el estado de mediciones de la parcela necesaria para la planta de obtención de microalgas.

Tabla EM.3. Estado de mediciones de la parcela

ELEMENTO	UNIDADES	CANTIDAD
Parcela	<i>m</i> ²	10.909

1.4 Partida de la obra civil

En la Tabla EM.4 se presenta el estado de mediciones de la obra civil necesaria en la planta de obtención de microalgas.

Tabla EM.4. Estado de mediciones de la obra civil

EDIFICIOS	UNIDADES	CANTIDAD
Nave	<i>m</i> ²	3100
Oficinas	<i>m</i> ²	355

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

EDIFICIOS	UNIDADES	CANTIDAD
Laboratorio	<i>m²</i>	100
WC y vestuarios	<i>m²</i>	100
Parking	<i>m²</i>	1518
Caseta de seguridad	<i>m²</i>	6
Almacén S y CO₂	<i>m²</i>	50
Almacén material empaquetamiento	<i>m²</i>	50
Almacén producto acabado	<i>m²</i>	100

7. PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)	2
1.1 PEM Parcial	2
1.1.1 Parcela	2
1.1.2 Obra civil	2
1.1.3 Instalación eléctrica	3
1.1.4 Maquinaria y material	4
1.1.5 Conducciones y accesorios	5
1.1.6 Mano de obra	5
1.2 PEM Total	6
2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	6
3. PRESUPUESTO TOTAL	7

1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (PEM)

1.1 PEM Parcial

El Presupuesto de Ejecución de Material (PEM) se compone del coste de la parcela, la obra civil, la maquinaria, las conducciones y accesorios y la mano de obra. A continuación, en los siguientes apartados se presenta de manera detallada cada partida presupuestada.

1.1.1 Parcela

A continuación se presenta la primera partida la cual corresponde a la parcela seleccionada a partir del método SLP detallado en el Anexo II. del documento Anexos. En la Tabla P1.1 se presenta el presupuesto de la parcela necesaria para la planta.

Tabla P1.1. Presupuesto de la parcela

ELEMENTO	UNIDADES	CANTIDAD	PRECIO (€/m ²)	PRECIO (€)
Parcela	m ²	10.909	80	872.720,00

1.1.2 Obra civil

A continuación se presenta la segunda partida la cual corresponde a la obra civil correspondiente a todos los edificios necesarios para llevar a cabo la actividad, estos edificios se encuentran detallados en el Anexo I. del documento Anexos. En la Tabla P1.2 se presenta el presupuesto de la obra civil.

Tabla P1.2. Presupuesto de la obra civil

EDIFICIOS	UNIDADES	SUPERFICIE	PRECIO (€/m ²)	PRECIO (€)
Nave	m ²	3100	180,00	558.000,00
Oficinas	m ²	355	335,00	118.925,00
Laboratorio	m ²	100	335,00	16.750,00
WC y vestuarios	m ²	100	96,98	147.215,64
Parking	m ²	1518	335,00	2.010,00

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA
OBTENCIÓN DE MICROALGAS

EDIFICIOS	UNIDADES	SUPERFICIE	PRECIO (€/m ²)	PRECIO (€)
Caseta de seguridad	m ²	6	145,00	1.885,00
Almacén S y CO ₂	m ²	50	145,00	348,00
Almacén material empaquetamiento	m ²	50	145,00	1.044,00
Almacén producto acabado	m ²	100	180,00	558.000,00
TOTAL				853.335,64

1.1.3 Instalación eléctrica

En la tercera partida se presenta el presupuesto de la instalación eléctrica necesaria para para iluminar la planta y realizar la línea eléctrica para las máquinas. En la Tabla P1.3 se presenta el presupuesto de la instalación eléctrica.

Tabla P1.3. Presupuesto de la instalación eléctrica

INSTALACIÓN ELÉCTRICA						
INSTALACIÓN	TIPO	UNIDADES	POTENCIA	CANTIDAD	PRECIO (€/unidad)	COSTE (€)
Alumbrado público	Farola cada 10m	u	-	1091	770,00	840.070,00
	Instalación interior					
	Iluminación nave	W	15500	-	0,95	14.725,00
	Maquinaria	W	2465,6	-	0,95	2.342,32
	Iluminación almacén producto acabado	W	500	-	0,95	475,00
	Iluminación almacén S y CO ₂	W	250	-	0,95	237,50
	Iluminación almacén material empaquetamiento	W	250	-	0,95	237,50
	Oficina	W	1775	-	0,95	1.686,25
	Iluminación Parking	W	7590	-	0,95	7.210,50
	Caseta seguridad	W	30	-	0,95	28,50
TOTAL						867.021,57

1.1.4 Maquinaria y material

La tercera partida hace referencia a la maquinaria y el material que conforman el proceso de la producción de microalgas. En la Tabla P1.4 se presenta el presupuesto de la maquinaria.

Tabla P1.4. Presupuesto de la maquinaria

MAQUINARIA Y MATERIAL	UNIDADES	CANTIDAD	PRECIO (€/Unidad)	PRECIO (€)
Depósito de agua	Ud.	1	3.000,00	3.000,00
Descalcificador	Ud.	1	1.300,00	1.300,00
Biorreactor	Ud.	1	114.433,37	114.433,37
Depósito con agitación	Ud.	1	1.700,00	1.700,00
Atomizador	Ud.	1	140.000,00	140.000,00
Máquina de empaquetamiento	Ud.	1	25.800,00	25.800,00
Bombas	Ud.	1	172,01	172,01
	Ud.	1	125,33	125,33
	Ud.	2	159,32	318,64
	Ud.	1	142,07	142,07
Carretilla elevadora	Ud.	1	9.375,00	18.750,00
Estantería de almacenaje	Ud.	5	175,85	879,25
Material oficina	-	-	-	100.000,00
Material laboratorio	.	.	.	10.000,00
TOTAL				416.620,67

1.1.5 Conducciones y accesorios

A continuación se presenta la cuarta partida la cual corresponde a las conducciones y accesorios necesarios para conectar la maquinaria y permitir el transporte del agua y del cultivo cosechado para llevar a cabo la actividad. En la Tabla P1.5 se presenta el presupuesto de las conducciones y accesorios.

Tabla P1.5. Presupuesto de las conducciones y accesorios

ELEMENTO	UNIDADES	DIÁMETRO (m)	CANTIDAD	PRECIO (€/Unidad)	PRECIO (€)
Conducción del proceso	<i>m</i>	0,025	19	0,79	15,01
	<i>m</i>	0,016	12	0,45	5,40
	<i>M</i>	0,1	7	8,96	62,72
Codos de 90° std.	Ud.	0,025	5	0,35	1,75
	Ud.	0,016	4	0,36	1,44
	Ud.	0,1	4	2,59	10,36
TOTAL					96,68

1.1.6 Mano de obra

La quinta partida del PEM corresponde a la mano de obra, donde en la Comunidad Valenciana oscila entre un 3% y 15% del precio de los equipos, por lo que se decide emplear el valor de 15% para obtener el coste total de la mano de obra. Por lo tanto, en la Tabla P1.6 se presenta el presupuesto de la mano de obra.

Tabla P1.6. Presupuesto de la mano de obra

ELEMENTO	UNIDADES	CANTIDAD	PRECIO EQUIPOS (€)	PRECIO (€)
Mano de obra	%	15	416.620,67	62.493,10

1.2 PEM Total

Tras tener constancia de todas las partidas que forman el PEM, en la Tabla P1.7 se muestra el valor del PEM total.

Tabla P1.7. Presupuesto de Ejecución de Material (PEM)

PARTIDA	COSTE (€)
Parcela	872.720,00
Obra civil	853.335,64
Maquinaria	416.620,67
Conducciones y accesorios	96,68
Mano de obra	62.493,10
PEM	2.205.266,10

2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)

Para calcular el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC), es necesario realizar previamente el cálculo del Presupuesto de Ejecución Material (PEM). Una vez obtenido el PEM, se aplican un 20% adicional por concepto de gastos generales y cargas fiscales, así como un 6% por beneficio industrial, como se muestra en la Tabla P2.1.

Tabla P2.1. Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)

CONCEPTO	COSTE (€)
PEM total	2.205.266,10
Gastos generales (20%)	441.053,22
Beneficio industrial (6%)	132,315,97
PEC	2.778.635,29

3. PRESUPUESTO TOTAL

La determinación del presupuesto total, que representa la inversión inicial, se realiza aplicando el 3% de honorarios por la elaboración del proyecto y el 21% de IVA (Impuesto sobre el Valor Añadido) al PEC, como se puede muestra en la Tabla P3.1.

Tabla P3.1. Presupuesto total

CONCEPTO	COSTE (€)
PEC	2.778.635,29
Elaboración del proyecto (3%)	83.359,06
IVA (21%)	583.513,41
Presupuesto	3.445.507,76

El presupuesto total del proyecto “*Diseño de una planta para la obtención de microalgas*” asciende a **TRES MILLONES CUATROCIENTOS CUARENTA Y CINCO MIL QUINIENTOS SIETE EUROS CON SETENTA Y SEIS CÉNTIMOS.**