

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA

Ingeniería Industrial

PROYECTO Fin de Carrera

TÍTULO: DISEÑO DE MÓDULOS PARA LA PRODUCCIÓN A PEQUEÑA ESCALA DE *SPIRULINA* (*Arthrospira platensis*).
AUTOR: JOAN SOLÉ GUÀRDIA
DIRECTOR: M^a JOSÉ CASELLES POMARES
DEPARTAMENTO: QUÍMICA APLICADA A LA INGENIERÍA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS INDUSTRIALES

A totes les espirulinaires;

A totes aquelles persones que realitzen la
revolució individual en el seu dia a dia.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Lista de símbolos.....	IX
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2. PRESENTACIÓN DE LA SPIRULINA.....	3
2.1 Características generales de Spirulina.....	3
2.1.1 Clasificación taxonómica.....	3
2.1.2 Morfología.....	4
2.1.3 Reproducción.....	7
2.1.4 Spirulina en estado natural.....	7
2.1.5. Generalidades de las cianobacterias.....	8
2.2 Propiedades y usos de Spirulina.....	9
2.2.1 Composición de Spirulina.....	9
2.2.2 Antecedentes históricos sobre su uso.....	11
2.2.3 Estudios y usos actuales.....	13
2.2.3.1 Investigación del uso terapéutico de Spirulina.....	13
2.2.3.2. Uso en acuicultura.....	13
2.2.3.3. Otros usos.....	14
2.3 Características del cultivo.....	14
2.3.1 Parámetros del cultivo.....	14
2.3.1.1 Variedad de Spirulina.....	14
2.3.1.2 Medio de cultivo.....	15
2.3.1.3 Nutrición del cultivo.....	16
2.3.1.4 Temperatura.....	17
2.3.1.5 Mezcla.....	18
2.3.1.6 Iluminación.....	18
2.3.1.7 El pH.....	19
2.3.2 Tipos de cultivo.....	19
2.3.2.1 Por lotes (o en modo batch).....	19
2.3.2.2 Sistemas continuos.....	20
2.3.2.3 Sistemas semi-continuos.....	20
2.3.2.4 Estanques abiertos (open ponds).....	20
2.3.2.5 Fotobiorreactores.....	21
2.3.2.6 Comparación de tipos de cultivo.....	23
2.3.3 Tipos de producción.....	23
2.3.3.1 Producción en cultivos industriales.....	24
2.3.3.2 Producción en cultivos artesanales.....	25
2.3.3.3 Producción en cultivos familiares.....	28
2.3.3.4 Comparación entre los tipos de producción.....	29
2.3.4 Influencia de diferentes factores en el crecimiento.....	30
2.3.4.1 Absorción de carbono y nivel de pH.....	30
2.3.4.2 Influencia de la iluminación en el crecimiento.....	32

2.3.4.3 Aireación y mezcla.....	32
2.3.4.4 Efecto combinado de luz y temperatura.....	33
2.3.4.5 Efecto combinado de la aireación e iluminación.....	33
2.3.4.6 Recolección de la biomasa.....	34
2.3.5 Tasa de reproducción de Spirulina.....	34
CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE DISTINTOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN.....	37
3.1 Condiciones iniciales.....	37
3.2 Forma y construcción del recinto de cultivo.....	38
3.2.1. Recintos abiertos.....	38
3.2.1.1 Piscina infantil.....	38
3.2.1.2 Piscina autoportante.....	39
3.2.1.3 Marco de cristal o acuario.....	39
3.2.1.4 Recinto sin estructura.....	40
3.2.1.5 Recinto con estructura de obra:.....	41
3.2.1.6 Recinto con estructura de madera o metálica:.....	42
3.2.2 Recintos cerrados.....	43
3.2.2.1 Manguera flexible de calidad alimentaria.....	43
3.2.2.2 Tubo rígido de calidad alimentaria.....	44
3.2.2.3 Tubo rígido recuperado.....	44
3.2.3 Recipientes auxiliares.....	45
3.2.3.1 Recipiente auxiliar cerrado.....	45
3.2.3.2 Recipiente auxiliar abierto.....	45
3.2.4 Comparación entre los distintos tipos de recinto.....	46
3.3 Sistemas para uniformar la concentración en el cultivo.....	46
3.3.1 Agitación con acceso a la red eléctrica.....	47
3.3.1.1 Sistema mediante bomba de aire:	47
3.3.1.2 Sistema mediante bomba de agua:	48
3.3.1.3 Rueda de paletas.....	48
3.3.1.4 Bomba de aire comprimido (air-lift pump) :	49
3.3.2 Agitación sin acceso a la red eléctrica.....	51
3.3.2.1 Con energía procedente de paneles fotovoltaico u otras fuentes renovables	51
3.3.2.2 Sistema manual.....	52
3.3.2.3 Sistema por termosifón.....	52
3.3.3 Comparación entre los distintos sistemas de agitación.....	54
3.4. Sistemas para recolectar la biomasa.....	54
3.4.1. Tipos de tela en los filtros.....	55
3.4.2. Formas de filtrar.....	55
3.4.2.1 Filtrado manual.....	55
3.4.2.2. Filtrado mediante bomba de agua.....	56
3.4.2.3 Filtrado por gravitación.....	57

3.4.3 Formas de prensar la biomasa.....	57
3.5 Sistemas para aumentar la productividad y estabilidad del cultivo.....	57
3.5.1 Aporte de calor.....	57
3.5.1.1 Invernadero.....	58
3.5.1.2 Intercambiadores de calor.....	58
3.5.1.3 Red eléctrica.....	58
3.5.1.4 Aislantes.....	58
3.5.2 Sombreado.....	59
3.5.3 Disponibilidad de luz.....	59
3.5.3.1 Aporte de luz artificial.....	59
3.5.3.2 Optimización de la luz.....	60
3.5.4 Aporte de Carbono.....	61
3.5.4.1 Aporte de CO ₂	61
3.5.4.2 Bicarbonato de sodio.....	62
3.5.4.3 Azúcar.....	62
3.5.5 Introducción de arcillas	63
3.5.6 Introducción de deflectores.....	63
CAPÍTULO 4. DISEÑO DE MÓDULOS DE PRODUCCIÓN.	65
4.1 MÓDULO 1: Cultivo simple	66
4.1.1. Objetivo.....	66
4.1.2 Descripción del módulo.....	66
4.1.3 Características de contorno.....	66
4.1.4 Estudio económico.....	67
4.1.4.1 Estudio de la producción:.....	67
4.1.4.2 Estudio de la amortización:.....	67
4.1.5 Justificaciones técnicas.....	68
4.1.5.1 Recinto	68
4.1.5.2 Sistema de agitación.....	68
4.1.5.3 Sistema de recolección.....	68
4.1.5.4 Sistema de sombreado.....	69
4.1.5.5 Adaptaciones.....	69
4.2 MÓDULO 2: Cultivo para familias en el jardín.....	69
4.2.1 Objetivo.....	69
4.2.2 Descripción del módulo.....	69
4.2.3 Características de contorno.....	70
4.2.4 Estudio económico.....	70
4.2.4.1 Estudio de la producción.....	70
4.2.4.2 Estudio de la amortización:.....	71
4.2.5 Justificaciones técnicas.....	71
4.2.5.1 Recinto	71
4.2.5.2 Sistema de agitación.....	72

4.2.5.3 Sistema de recolección.....	72
4.2.5.4 Sistemas auxiliares.....	72
4.2.5.5 Otras consideraciones y posibles adaptaciones.....	72
4.3 MÓDULO 3: Cultivo para una comunidad situado en una terraza.....	73
4.3.1 Objetivo.....	73
4.3.2 Descripción del módulo.....	73
4.3.3 Características de contorno.....	74
4.3.4 Estudio económico.....	74
4.3.4.1 Estudio de la producción:.....	74
5.3.4.1 Estudio de la amortización:.....	75
4.3.5 Justificaciones técnicas.....	75
4.3.5.1 Recinto	75
4.3.5.2 Sistema de agitación.....	76
4.3.5.3 Sistema de recolección.....	76
4.3.5.4 Sistemas auxiliares.....	76
4.3.5.5 Otras consideraciones y posibles adaptaciones.....	77
4.4 MÓDULO 4: Cultivo en tubos rígidos verticales.....	77
4.4.1 Objetivo.....	77
4.4.2 Descripción del módulo.....	77
4.4.3 Características de contorno.....	78
4.4.4 Estudio económico.....	78
4.4.4.1 Estudio de la producción:.....	78
4.4.4.2 Estudio de la amortización:.....	79
4.4.5 Justificaciones técnicas.....	79
4.4.5.1 Recinto	79
4.4.5.2 Sistema de agitación.....	80
4.4.5.3 Sistema de recolección.....	80
4.4.5.4 Sistema de sombreado.....	80
4.4.5.5 Sistema de aporte de luz.....	80
4.4.5.6 Otras consideraciones y posibles adaptaciones.....	81
4.5 MÓDULO 5: Prototipo para cultivo en fotobiorreactor (PBR).....	81
4.5.1 Objetivo.....	81
4.5.2 Descripción del módulo.....	81
4.5.3 Características de contorno.....	83
4.5.4 Estudio económico.....	83
4.5.4.1 Estudio de la amortización:.....	83
4.5.5 Justificaciones técnicas.....	84
4.5.5.1 Diseño general.....	84
4.5.5.2 Estructura y recinto.....	84
4.5.5.3 Sistema de agitación.....	85
4.4.5.3 Sistema de recolección.....	85
4.5.5.4 Sistema de aporte de luz.....	86

4.5.5.5 Otras consideraciones y posibles adaptaciones.....	87
4.6 Resumen de los distintos módulos de producción.....	87
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	91
Documentación consultada.....	91
Consultas con personas y/o asociaciones:.....	100
Consultas de espacios web:.....	100
APÉNDICE I. CÁLCULO DE LA PRODUCTIVIDAD.....	101
AI-1 Descripción del programa Spirpac-f.....	103
AI-1.1 Aplicación.....	103
AI-1.2 Principio de cálculo y opciones de producción.....	103
AI-1.3 Variables del programa.....	110
AI-1.4 Presentación de los resultados.....	114
AI-1.5 Entorno del programa.....	114
AI-2 Adaptación de Spirpac-f para los módulos diseñados.....	116
AI-3 Variables de entrada de los cálculos realizados.....	116
AI-3.1 Variables de entrada para los resultados de la tabla 3.5.....	117
AI-3.2 Variables de entrada para los resultados de la tabla 3.6.....	119
AI-3.3 Variables de entrada para el módulo 1.....	124
AI-3.4 Variables de entrada para el módulo 2.....	125
AI-3.5 Variables de entrada para el módulo 3.....	125
AI-3.6 Variables de entrada para el módulo 4.....	126
APÉNDICE II. VALORES CLIMATOLÓGICOS.....	127
AII-1 Variables locales.....	129
AII-2 Fuentes consultadas.....	129
AII-3 Obtención de datos.....	130
AII-4 Lugares	130
AII-4.1 Valores climatológicos en Barcelona.....	131
AII-4.2 Valores climatológicos en Madrid.....	133
AII-4.3 Valores climatológicos en Santa Cruz de Tenerife.....	134
APÉNDICE III. PLIEGO DE PRESCRIPCION TÉCNICAS.....	137
AIII-1 Especificaciones de los materiales utilizados en el módulo 1.	139
AIII-1.1 Recintos.....	139
AIII-1.2 Sistema de agitación.....	140
AIII-1.3 Sistema de recolección.....	141
AIII-1.4 Sistemas auxiliares.....	142
AIII-2 Especificaciones de los materiales utilizados en el módulo 2.....	143
AIII-2.1 Recinto.....	143

AIII-2.2 Sistema de agitación.....	144
AIII-2.3 Sistema de recolección.....	147
AIII-2.4 Sistemas auxiliares.....	148
AIII-3 Especificaciones de los materiales utilizados en el módulo 3.....	150
AIII-3.1 Recinto.....	150
AIII-3.2 Sistema de agitación.....	151
AIII-3.3 Sistema de recolección.....	155
AIII-3.4 Sistemas auxiliares.....	156
AIII-4 Especificaciones de los materiales utilizados en el módulo 4.....	161
AIII-4.1 Recinto.....	161
AIII-4.2 Sistema de agitación.....	164
AIII-4.3 Sistema de recolección.....	167
AIII-4.4 Sistemas auxiliares.....	168
AIII-5 Especificaciones de los materiales utilizados en el módulo 5.....	169
AIII-5.1 Recinto.....	169
AIII-5.2 Sistema de agitación.....	170
AIII-5.3 Sistema de recolección.....	172
AIII-5.4 Sistemas auxiliares.....	173
AIII-6 Necesidades para el crecimiento de Spirulina.....	175
AIII-6.1 Alimentación de Spirulina.....	175
AIII-6.2 Recreación del hábitat.....	176
APÉNDICE IV. PLANOS.....	177
APÉNDICE V. PRESUPUESTOS.....	199
AV-1 Presupuesto del módulo 1.....	201
AV-1.1 Presupuesto de instalación del módulo.....	201
AV-1.2 Presupuesto de producción anual.....	203
AV-2 Presupuesto del módulo 2.....	204
AV-2.1 Presupuesto de instalación del módulo.....	204
AV-2.2 Presupuesto de producción anual.....	206
AV-3 Presupuesto del módulo 3.....	208
AV-3.1 Presupuesto de instalación del módulo.....	208
AV-3.2 Presupuesto de producción anual.....	211
AV-4 Presupuesto del módulo 4.....	212
AV-4.1 Presupuesto de instalación del módulo.....	212
AV-4.2 Presupuesto de producción anual.....	215
AV-5 Presupuesto del módulo 5.....	216
AV-5.1 Presupuesto de instalación del módulo.....	216
AV-5.2 Presupuesto de producción anual.....	218
Curriculum vitae.....	219

LISTA DE SÍMBOLOS

A. pl.	Arhtrospira platensis
Ø	diámetro
g	gramos
kg	Kilogramo
L	litros
lm	lumen
L/O	luz/oscuridad
m	metro
μ	micras
p	productividad anual
PBR	fotobiorreactor
PBRs	fotobiorreactores
pl.	platensis
ps	peso seco
UV	ultravioleta

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La *Spirulina* es una cianobacteria filamentosa no diferenciada, autótrofa, también reconocida como alga verde-azul, y que deriva su nombre de la naturaleza helicoidal o en espiral de sus filamentos. Se cultiva principalmente debido a su alto valor nutricional. Puede cultivarse fácilmente en sistemas acuosos abiertos, naturales y artificiales, en los que el medio de cultivo líquido contiene sales como el bicarbonato de sodio, que contribuyen en favor de la alcalinidad del medio, uno de los factores determinantes en la producción, junto a la temperatura y la iluminación.

La motivación principal para realizar el proyecto es estudiar la viabilidad de la producción de *Spirulina* para el auto consumo y brindar la oportunidad del consumo de *Spirulina* fresca, inexistente en el mercado en este estado debido a sus dificultades de conservación.

Por tanto el objetivo principal de este proyecto es estudiar, diseñar y comparar diferentes módulos de producción de *Spirulina* a pequeña escala.

Durante el diseño de los módulos se ha tenido en cuenta los factores que afectan directamente a la producción de biomasa (iluminación, temperatura, agitación, salinidad, pH, etc) y otros factores como la comodidad del usuario, la limitación de espacio y los costes de instalación y mantenimiento.

El proyecto está estructurado en cinco capítulos y cinco apéndices.

En el capítulo 2 se ha definido las características generales, propiedades y usos y las características del cultivo de *Spirulina*.

A continuación, en el capítulo 3, se han estudiado diversos sistemas para definir el recinto, uniformar los tricomas, recolectar la biomasa y aumentar la productividad y estabilidad del cultivo. De cada tipo de sistema descrito se ha realizado un estudio comparativo sobre la viabilidad técnica y económica.

En el capítulo 4 se presenta el diseño de diferentes módulos de producción que responden a diferentes condiciones de contorno.

Finalmente en el capítulo 5 se exponen las conclusiones.

En el Apéndice I se detalla el funcionamiento del programa de cálculo *spirpac-f* utilizado para el cálculo de productividad en los distintos módulos y análisis comparativos.

En el Apéndice II se encuentran los valores climatológicos utilizados para calcular la productividad según el caso. Los valores climatológicos corresponden a las regiones de Madrid, Barcelona y Santa Cruz de Tenerife.

En el Apéndice III, IV y V se describen el pliego de condiciones, planos y presupuesto de los distintos módulos diseñados.

CAPÍTULO 2. PRESENTACIÓN DE LA SPIRULINA

Spirulina es una cianobacteria que habita en lagos alcalinos y se cultiva de forma artificial para el consumo humano debido a sus propiedades nutricionales.

El consumo de esta bacteria se remonta a tiempos prehispánicos en México, cuando era conocida como *tecuitlatl*; o en épocas anteriores en tribus de la región del lago del Chad, en África, donde era conocida con el nombre de *dihé*.

En los últimos años se le han atribuido diversos efectos positivos en el tratamiento de algunos tipos de alergias, anemia, cáncer, enfermedades virales y cardiovasculares. Muchas de sus propiedades son consecuencia de la presencia de pigmentos como las fícobiliproteínas y los carotenoides, así como de otros compuestos como polisacáridos, ácidos grasos, proteínas, vitaminas y minerales.

Las propiedades y aplicaciones de este organismo hacen de él un alimento "muy apropiado" según la Organización Mundial de la Salud (1993) y "las Naciones Unidas avalan, apoyan y recomiendan la utilización de la micro alga *Spirulina* para corregir estados nutricionales" (Asamblea General de las Naciones Unidas, Sexagésimo periodo de sesiones, Segunda comisión, Tema 52 del programa, 31 de octubre del 2005) convirtiéndose en uno de los pocos productos alimentarios (sino el único) en ser reconocido completamente y propuesto como una posible solución definitiva a los problemas alimentarios mundiales.

2.1 Características generales de *Spirulina*

2.1.1 Clasificación taxonómica

El término *Spirulina* ha sido ampliamente utilizado para referirse indistintamente a dos especies de cianobacterias *Spirulina platensis* (Geitler, 1932) y *Spirulina maxima* (Geitler, 1925) que habitualmente son estudiadas debido a sus propiedades nutritivas.

Castenholz y Waterbury revisaron en 1989 la clasificación taxonómica (Tabla 2.1) de este microorganismo. Según apuntan los autores, antes de dicha revisión el término *Spirulina* también había sido utilizado para referirse a dos géneros distintos: *Arthospira*, utilizado por Stizenberger desde el año 1852 y *Spirulina* utilizado por Turpin desde el año 1829. Sin embargo desde 1989 se ha reconocido que estos dos géneros son distintos (Tabla 2.2) y que en realidad el término utilizado para referirse a las cianobacterias aptas para el consumo humano pertenecen al género *Arthospira* (Tomaselli, et al., 1996; Vonshak y tomaselli, 2000; Antenna Technologies, 2005).

El término utilizado por Turpin hace referencia al género de las cianobacterias del orden de las *Croococcales* y la familia de las *Spirulinaceae*, que no son aptas para el consumo humano.

El término *Arthospira platensis* (o bien *Spirulina*), incluye el conjunto de cianobacterias alimentarias vendidas bajo el nombre de espirulina (spiruline en francés, y spirulina en inglés) (Antenna Technologies, 2005).

Los nombres cianobacteria, algas verde-azules o cianofíceas, se consideran términos compatibles. El primero se refiere a la relación taxonómica filogenética, mientras el segundo representa la correlación ecológica y biológica.

Tabla 2.1.: Clasificación taxonómica.

- Dominio: **Bacteria**
 - Phylum: **Cyanobacteria**
 - Clase: **Cyanobacteria**
 - Subclase: **Oscillatoriophycideae**
 - Orden: **Oscillatoriales**
 - Familia: **Phormidiaceae**
 - Subfamilia: **Phormidioideae**
 - Género: **Arthrosphaera**
 - Especie: **A. platensis** (=Spirulina)
 - Variedades: **Lonar, Paracas, Toliara, etc...**

Tabla 2.2: Principales diferencias entre los géneros *Arthrosphaera* y *Spirulina*

**PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS QUE SEPARAN A LOS GÉNEROS
Arthrosphaera STIZENBERGER 1852 Y *Spirulina* TURPIN 1829**

Carácter	<i>Arthrosphaera</i>	<i>Spirulina</i>
Diámetro del tricoma	2,5-16µm	0,5-5µm
Tipo de hélice	hélice abierta	hélice cerrada
Septos	visibles al microscopio de luz	invisibles al microscopio de luz
Patrón de los poros de la pared celular	una fila alrededor del tricoma	varias filas en la parte cóncava de la hélice
Tipo de fragmentación	intracelular (necridio)	intercelular
Cuerpos cilíndricos	presentes	ausentes
Fotosíntesis anoxigénica	ausente	presente en algunas cepas
C-ficoeritrina	no encontrada	presente en algunas cepas
Ácido γ-linoleico (GLA)	presente	ausente

Modificado de Vonshak y Tomaselli (2000).

A lo largo del documento cuando se utiliza el término *Spirulina* hace referencia a la especie *A. platensis* del género de las *Arthrosphaeras*.

2.1.2 Morfología

La *Spirulina* se ha localizado en lugares muy distintos y eso ha originado una serie muy variada de tamaños y formas de los tricomas o filamentos (Tabla 2.3). Algunas veces las espiras son más cercanas en el centro de los tricomas que en las extremidades, y las espiras pueden ser de menor diámetro en el centro del filamento y más estrechos al final. Las espiras (realmente hélices) también pueden ser de igual diámetro y espaciado a lo largo de todo el tricoma.

Tabla 2.3: Resumen de distintas descripciones de *Arthospira Platensis* (Fox, 1996)

Año	Autor y localización	Célula [μm] longitud	Célula [μm] diámetro	Espiras [μm] diámetro	Distancia entre espiras [μm]
1844	Wittrock y Nordstedt; Montevideo, Uruguay	2-6	6-8	26-36	43-57
1893	Rich; Lago Elmenteita, Crater y Nakuru, Kenia	3-10	6-11	36-60	15-45
1931	Leonard y Compère; kanem, Chad	5	6-9	25-45	35-50
1967	Fox, Lago Orovilca, Perú	2.5	7.8	36	95
1980	Fox, Lago Lonar Maharashtra	4.5	12	99	55
1984	Fox, Lago del Cráter, México	3.2	12.45	52.3	52
1990	Planchon y Fuentes; Paracas, Perú	2.4	9.5	33	43
1993	Planchon y Fuentes; Camargue, France	2.3	11.6	44	109
1994	Fox, R y Fox, D; Toliara, Madagascar	3.8	7.2	21.2	32.5
1994	Fox; Olive Mill, California	2.6	6.1	32	65
promedios		3.7	8.6	44	59.7

Tiene una estructura filamentosa, no diferenciada pluricelular cuyas células cilíndricas tienen un ancho de 3 a 12 μm, pudiendo llegar a 16 μm. Sus tricosomas (filamentos) tienen un patrón de disposición en forma de hélice abierta y llegan a medir de 100 a 200 μm hasta 500 μm. La inclinación de una vuelta de la hélice generalmente varía de 10 a 70 μm y el diámetro de la misma mide de 20 a 100 μm: estas últimas características dependen en gran medida de las condiciones ambientales y de crecimiento. La distancia entre espiras varía considerablemente con la variación de la intensidad de la luz. Bajo una luz de alta intensidad la distancia se reduce (hasta 10 μm), si la intensidad de luz disminuye la distancia entre espiras puede aumentar hasta 100 μm.

El peso seco de un filamento medio de *Spirulina* es de 3 μg.

En las variedades de *Spirulina* que forman espiras, el sentido más habitual de éstas es el sentido inverso a las agujas del reloj si se mira por encima de la espiral en sentido descendiente; aunque no es siempre así. Esto depende de las variedades pero no del hemisferio Norte o Sur. En el interior de un mismo cultivo de la misma variedad (por ejemplo Lonar) se pueden encontrar tricosomas con espiras en ambos sentidos.

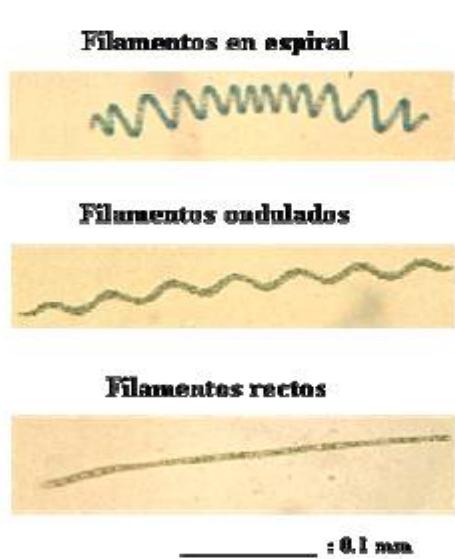


Figura 2.1: Diferentes variedades de *Spirulina* (Antenna Technologies)

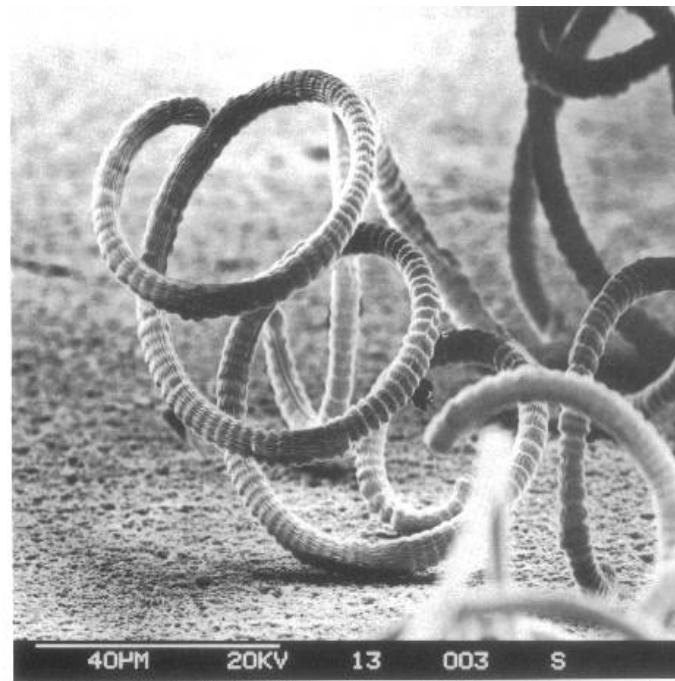


Figura 2.2: Micrografía electrónica de barrido de un tricoma de *Spirulina platensis* (Ciferri, 1983) Foto de R. Locci

2.1.3 Reproducción

La reproducción se efectúa por división binaria transversal. El alargamiento del tricoma o filamento se debe a las numerosas divisiones transversales de sus células. La multiplicación se produce solamente cuando se fragmenta el filamento y es de naturaleza intracelular, destruyendo la célula intercelular existente dentro de los mismos filamentos.

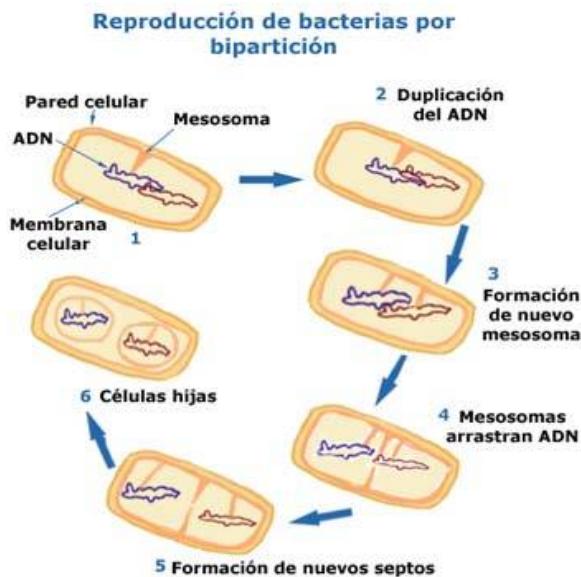


Figura 2.3: Reproducción de bacterias por bipartición

Para su reproducción se necesita de fuentes de carbono, nitratos y minerales, así como una iluminación elevada para desarrollar la reproducción fotosintética.

2.1.4 Spirulina en estado natural

La *Spirulina* crece de forma natural en lagos alcalinos que contienen carbonato de sodio (Na_2CO_3) o bicarbonato de sodio (NaHCO_3), otros minerales y una fuente de nitrógeno fijo. Habitualmente dichos lagos se hallan cerca de un volcán, o incluso en el mismo interior de la caldera. También se encuentra en desiertos que reciben agua mineralizada que se escurre periódicamente de las montañas.

Aunque estos lagos se pueden ubicar en todos los continentes, la mayoría de ellos están situados entre las latitudes que comprenden los 35° N hasta los 35° S

En la tabla 2.4 se recogen algunos lugares donde crece *Spirulina* de forma natural, o bien, ha crecido en el pasado.

Tabla 2.4: Selección de lugares donde crece o ha crecido *Spirulina*. (Fox, 1996)

Africa

Argelia	Tamanrasset (Boileau, 1988)
Chad	Lagos del distrito Kanem: Latir, Ouna, Borkou, Katam, Yoan, Leyla, Bodou, Rombou, Moro, Mombolo, Liwa, Iseiom, Ounianga kebir
Sudan	Cráter del Djebel Marra
Djibouti	Lago Abber
Etiopía	Lagos: Aranguadi, Lesouguatta, Nakourou, Chiltu, Navasha, Rodolphe
Tanzania	Lago Natron
Túnez	Lago Tunis (Belkir, M., 1978)
Madagascar	En lagos pequeños cerca de Toliara (Nguyen, Kim Ngam, 1994)

Asia

India	Lago Lonar (Damle, 1978) un estanque cerca de Madurai (Bai, 1984) un estanque cerca de Calcuta, Lago Nagpur (Pargaonkar, 1981)
Mianmar	Lago Twyn Taung, wyn Ma, Taung Pyank (Min Thein, 1984)
Sri Lanka	Lago Beira
Paquistán	Lahore (Fox, 1980; Ghose, 1924)
Tailandia	Lagos a 80km Sud-Oeste de Bangkok (Morakot Tanticharoen, 1985)
Azerbaiyán	Woronichin, 1924

América

Bolivia	Lago Titicaca (Fox, 1993) Cladophara (Planchon, 1993)
California	Oakland, Key Route Poewe House (Gardner, 1917) Playa Del Mar (Lewin, 1969)
Haití	Lago Gonâve (Pierre, 1986)
México	Conjunto lacustre del Valle de México en la época precolombina (Barros y Buenrostro, 1999)
Perú	Lago Orovilca (López, 1980) actualmente seco. Reserva de agua cerca de Paracas (Planchon y Fuentes, 1993)
República dominicana	Lago Enriquillo
Uruguay	Montevideo 1884, informado por Arechavaleta en Wittrock y Nordstedt

Europa

Hungría	(kiss, 1957)
Francia	La Camargue (Planchon y Fuentes, 1994)
España	Parque nacional de Doñana (Huelva)

2.1.5. Generalidades de las cianobacterias

Las cianobacterias son las principales bacterias capaces de realizar la fotosíntesis produciendo oxígeno. Pueden ser unicelulares o pluricelulares; en este último caso, sus células se distribuyen en grupos del tipo colonias o, mayormente, en filamentos compuestos de células alineadas.

Las cianobacterias fueron las primeras en realizar una variante de la fotosíntesis que ha llegado a ser la predominante, y que ha determinado la evolución de la biosfera terrestre. Se trata de la fotosíntesis oxigénica. La fotosíntesis necesita un reductor (una fuente de electrones), que en este caso es el agua (H_2O). Al tomar el H del agua se libera el O_2 . La explosión evolutiva y ecológica de las cianobacterias, hace miles de millones de años, dio lugar a la invasión de la atmósfera por este gas, que ahora la caracteriza, sentando las bases para la aparición del metabolismo aerobio y la radiación adaptativa de los organismos eucariontes.

Son verdaderas procariotas, organismos desprovistos de membrana nuclear, aunque tienen un sistema fotosintético similar al de las eucariotas ya que tienen clorofila y un fotosistema. Este fotosistema, así como los pigmentos fotosintéticos y los componentes del transporte de electrones se incluyen en las membranas tilacoides que contienen gránulos llamados ficobilisomas.

Estos gránulos contienen un pigmento en particular esencial para el transporte de la energía hacia el fotosistema: la ficocianina, una proteína que le confiere el color azul, así como un fluorescente rojo excepcionalmente eficaz.

Las cianobacterias asimilan el carbono a través del ciclo de Calvin (Figura 2.4) y almacenan la energía y el carbono en forma de glicógeno. Las cianobacterias varían considerablemente en sus esquemas metabólicos, tienen en común la ausencia del ciclo de Krebs completo.

Muchas cianobacterias, sobretodo las filamentosas, son capaces de fijar el nitrógeno del aire, gracias a estructuras especializadas llamadas heterocistas (Antenna Technologies, 2001). Sin

embargo, *Spirulina* no se encuentra entre dichas especies capaces de fijar el nitrógeno atmosférico; excepto en condiciones microaerofílicas (muy baja concentración de oxígeno). Así que el nitrógeno fijo es necesario para el crecimiento de *Spirulina* (Fox, 1996). Como fuente de nitrógeno se puede utilizar el amonio, nitratos, nitritos o la urea.

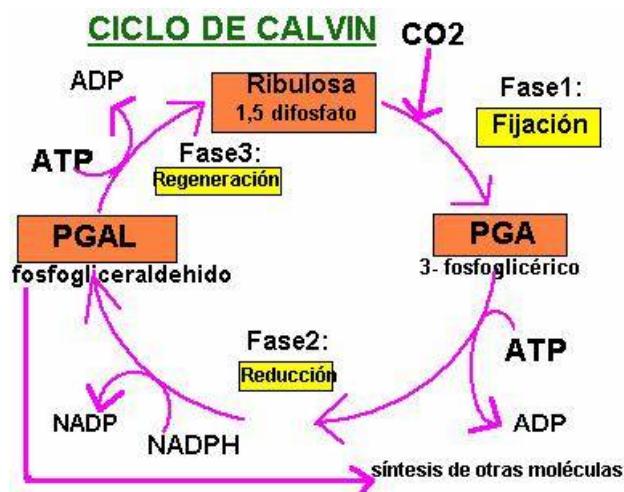


Figura 2.4: Ciclo de Calvin para la fijación de CO₂ de la fotosíntesis

2.2 Propiedades y usos de *Spirulina*

2.2.1 Composición de *Spirulina*

Spirulina destaca por sus propiedades nutricionales ya que contiene elevados niveles de un buen número de aminoácidos esenciales. Su composición a nivel nutricional se resume en las Tabla 2.5 y 2.6. Por su composición proteínica resultan aptas para el consumo animal y humano.

Tabla 2.5: Composición general de *Spirulina* (Henrickson, 1994)

Proteínas	55-70%
Carbohidratos	15-20%
Grasas	5-7%
Minerales	7-9%
Humedad	5-7%

Tabla 2.6: Valores nutricionales de *Spirulina* (Henrickson, 1994)

Composición de <i>Spirulina</i>			
Vitaminas	(mg/kg)	Aminoácidos esenciales	(g/kg)
Beta-caroteno (Provit A)	1900	Histidina	13
Vitamina E (Tocoferol)	100	Isoleucina	34
Vitamina B1 (Tiramina)	40	Leucina	50
Vitamina B2 (Riboflavina)	38	Lisina	28
Vitamina B3 (Niacina)	155	Metionina	14
Vitamina B5 (Ácido pantoténico)	8	Fenilalanina	27
Vitamina B6 (Piridoxina)	6	Treonina	30
Vitamina B12 (Cobalamina)	2	Triptófano	9
Ácido Fólico	0,4	Valina	39
Biotina	0,4	Aminoácidos No esenciales	
		Alanina	47
Minerales	(mg/kg)	Arginina	45
Calcio	5000	Ácido Aspártico	67
Magnesio	4400	Cistina	5
Potasio	12000	Ácido Glutámico	88
Hierro	900	Glicina	32
Fósforo	8000	Prolina	26
Sodio	6500	Serina	29
Zinc	33	Tirosina	27
Cobre	10	Pigmentos	
Manganese	40	Carotenoides	4000
Cromo	2	Ficocianina	132500
Selenio	1	Clorofila	10200
Ácidos Grasos Esenciales	(mg/kg)	Enzimas	
Ácido Linoleico	10450	Superóxido dismutasa (SOD)	
Ácido Gamma-linolénico	10633	Glutathionperoxidasa	

La tabla 2.7 muestra el contenido y el coste de obtención relativo de algunos componentes de *Spirulina* frente a otros productos alimentarios.

Tabla 2.7: Comparación de proteínas presentes en diversos alimentos. (Babu y Rajasekaran 1991)

	Contenido proteína por 100g (g)	Coste por 100g de proteína (Rs*)	Coste comparativo de la producción de:			
			Proteínas	Lysine	Cystine	Tryptophan
<i>Spirulina</i>	66	1,38	1	1	1	1
Huevos	13,2	11,20	8,23	5,10	5,11	3,82
Leche (100ml)	3,3	15,15	10,97	6,19	11,98	6,62
Judías	3,2	31,25	22,64	14,67	26,13	15,09
Berenjena	1,4	57,14	41,41	44,45	78,52	19,48
Zanahoria	0,9	88,88	64,41	10,10	28,90	14,13
Cebolla	1,20	66,66	48,30	46,30	96,66	13,88
Carne de ovino	18,50	16,21	11,75	6,31	26,45	1,68

Nota: El contenido de proteína de *Spirulina* se basa en el peso seco, mientras que el contenido de proteína de otras fuentes de alimentos se reporta en base al peso húmedo. Los costes por unidad de Vitamina A, ácido nicotínico, riboflavina, tiamina, Vitamina B12 y hierro son más baratos en *Spirulina* que en las otras fuentes.

*Rs: valor de rupia india (en este caso de 1991.)

2.2.2 Antecedentes históricos sobre su uso

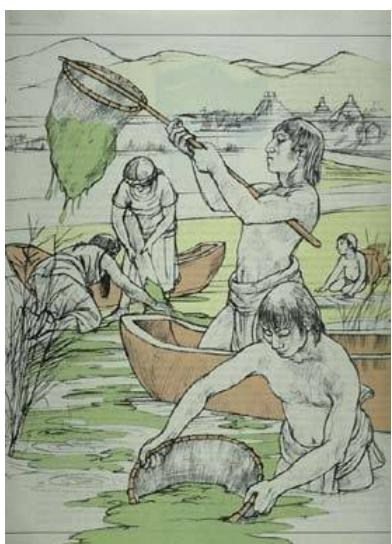


Figura 2.5: Aztecas recogiendo *Spirulina* en los lagos del Valle de México. Human Nature. Marzo 1978

Los antiguos habitantes de Tenochtitlán, hoy Ciudad de México, lograron mantener sana a una numerosa población a través de una dieta equilibrada, basada en el maíz, que representaba un 80% de la dieta diaria, frijol, calabaza, chía y amaranto (Paniagua-Michael et al., 2004). Estos alimentos provenían de los cultivos que crecían en tierra firme y de una gran variedad de productos como la hueva de mosco, o "el alga *Spirulina*" (Barros y Buenrostro, 1999) que provenía del conjunto lacustre del Valle de México. De acuerdo con la crónica de Francisco Hernández y la de Fray Toribio de Benavente, en algunos sitios del vaso del lago del Valle de México, en cierta época del año, los aztecas colectaban una especie de lodo muy fino de color azul, al cual le daban el nombre de *tecuitlatl*, nombre náhautl que significa "excremento de piedra", término que probablemente se sustituyó por el de *cocolín* como se le conoce actualmente (Ortega et al., 1994). Sobre la tierra o la arena de las cercanías, lo ponían a secar al sol y una vez seco le daban forma de tortas pequeñas y lo ponían sobre hierbas frescas. "El tecuitlatl tiene un sabor a queso y cierto olor a cieno; los aztecas lo comían en cantidades pequeñas con tortillas y también lo utilizaban para condimentar el maíz en lugar de la sal" (Mondragón, 1984). Por su parte, López de Gomara (Sahagún, 1938) explica que los campesinos comen "...un tipo de tierra; pues con la ayuda de redes de malla muy menuda, abarren, en cierto tiempo del año, una cosa molida que se cría sobre el agua de las

aztecas lo comían en cantidades pequeñas con tortillas y también lo utilizaban para condimentar el maíz en lugar de la sal" (Mondragón, 1984). Por su parte, López de Gomara (Sahagún, 1938) explica que los campesinos comen "...un tipo de tierra; pues con la ayuda de redes de malla muy menuda, abarren, en cierto tiempo del año, una cosa molida que se cría sobre el agua de las

lagunas de Méjico, y se cuaja, que ni es yerba ni tierra, sino como cieno. Hay de ello mucho y cogen mucho, y en eras, como quien hace sal, lo vacían y allí se cuaja y seca. Hácenlo tortas como ladrillos, y no sólo las venden en el mercado, más llévanlas también a otros fuera de la ciudad y lejos. Dicen que a este cebo viene tantas aves a la laguna, que muchas veces por invierno la cubren por algunas partes". A la vez, Soustelle (1985) en su obra "La vida cotidiana de los Aztecas antes de la conquista española", menciona que: "los pobres y los campesinos de los bordes de la laguna recogían sobre el agua misma una sustancia flotante: tecuitlatl, un poco parecido al queso, y que exprimían para hacer pan".

Por otro lado, en la revista de la Sociedad Lineana de Bordeaux se publicó en 1940 la investigación realizada por el investigador francés Dangear sobre una sustancia llamada *dihé* consumida por el pueblo Kanem (Henrikson, 1994; Abdulqader et al., 2000) 25 años más tarde al botánico Léonard, miembro de la expedición belga que recorrió el Sahara desde el Atlántico hasta el Mar Rojo, le llamó la atención la abundancia de una micro alga fácil de cosechar con una red bajo la forma de un puré y propone que esta alga es una especie vecina o de la misma especie que la que se vende en galletas en la región del Lago de Chad. Estas galletas o bizcochos fueron analizados y se descubrió que esencialmente contenían a la cianobacteria *Arthrospira platensis* y que en efecto era el mismo organismo que el de las muestras colectadas por Léonard (Paniagua-Michael et al., 2004). En 1976, Delpeuch y sus colaboradores de la Oficina de Investigación Científica y Tecnológica Ultramarina de París (ORSTOM) llevaron a cabo una investigación sobre la importancia nutricional y económica del *dihé* para las poblaciones de Kanem en Chad, y en 1991 Delisle y con otros colaboradores hicieron mención sobre el consumo de *Spirulina* por los Kanembous en un estudio sobre el consumo y valor nutricional de la comida casera en los valles de Chad (Abdulqader et al., 2000).

Por lo anterior es claro que los Kanembous, habitantes de Kanem, norte de Chad, consumen y venden desde hace mucho tiempo esta cianobacteria en forma de estos bizcochos que reciben el nombre de *dihé*, "madre de la salsa"; (Spiral Spring, 2005) y representan la fuente de la que obtienen la mayor cantidad de proteína.

Actualmente los Kanembous siguen utilizando *Spirulina* como fuente de alimento; sin embargo, en México, después de la conquista el uso del *tecuitlatl* cayó en el olvido, hasta que en 1967 se le volvió a poner atención cuando en los tanques de evaporación de la industria Sosa Texcoco S.A. (Spiral Spring, 1991) se observó que esta cianobacteria crecía en grandes cantidades. En 1973 instalaron una planta de procesamiento en las orillas del Lago de Texcoco, con una producción cercana a las 500 toneladas de *Spirulina* seca al año (Sasson, 1997.) Posteriormente, en 1991, la empresa Sosa Texcoco cerró las puertas y la producción de *Spirulina* fue abandonada. (Spiral Spring, 1991).

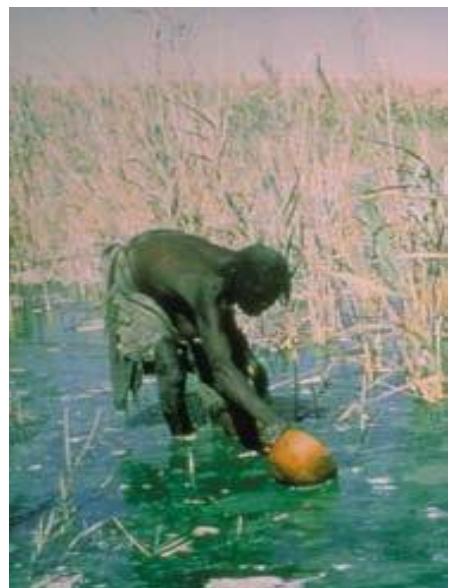


Figura 2.6: Recogiendo *Spirulina* de un lago en el Chad (Foto de J. Maley)



Figura 2.7 Tarta de *Spirulina* (*Dihé*) en venta en un mercado local en el Chad (Foto de J. Maley)

2.2.3 Estudios y usos actuales.

Actualmente se emplea cada vez más como fuente de pigmentos naturales, vitaminas y ácidos grasos, así como para la obtención de aditivos utilizados en fórmulas farmacéuticas y alimentos. En acuicultura se utiliza como alimento para moluscos, micro crustáceos y sobre todo para peces, ya que ayuda a mantener sana su piel e intensifica la coloración de la misma, además de incrementar las tasas de crecimiento, supervivencia y fertilidad.

2.2.3.1 Investigación del uso terapéutico de *Spirulina*

Existen más de 500 estudios científicos sobre los efectos del consumo de Spirulina (Grande, et al., 2009) A continuación se hace referencia a una pequeña parte de ellos:

Protección antioxidante: La *Spirulina* impide la muerte celular provocada por la acción de los radicales libres (Chu, et al., 2010) y protege de la isquemia cerebral (Thaakur y Sravanthi, 2010).

Efecto hepatoprotector: "Spirulina puede considerarse una alternativa terapéutica para las personas que sufren la dolencia hepática de grasa no alcohólica o desórdenes de dislipidemia" (Ferreira-Hermosillo, et al., 2010). Activa el sistema inmunitario innato según Hirahashi, et al. (2002) y mejora la respuesta inmune adaptativa de los humanos según Løbner et al. (2008)

Propiedades anticancerígenas: Diversos estudios científicos han concluido que el betacaroteno, uno de los antioxidantes presentes en *Spirulina*, inhibe el desarrollo de las células cancerígenas. (Suda, et al., 1986 y Wolf, 1992). Matthew et al. (1995) realizó un estudio sobre individuos que sufrían leucoplasia oral, una forma de cáncer bucal. Los pacientes del grupo de *Spirulina* consumieron 1g al día durante 12 meses y se consiguió detener el avance de la enfermedad. *Spirulina* reduce considerablemente los tumores cancerígenos de piel y de estómago (Dasgupta, et al., 2001)

Tratamiento de la diabetes: *Spirulina* ha resultado eficaz para tratar la diabetes. Un estudio (Parikh, et al., 2001) realizado sobre 25 pacientes con diabetes de tipo 2 constató que *Spirulina* controla el nivel de glucosa en sangre en aquellas personas que recibieron 2 gramos de este nutriente durante 2 meses.

Tratamiento del colesterol: *Spirulina* se ha demostrado eficaz para tratar el colesterol alto. Nakaya, et al. (1988) comprobaron que *Spirulina* era muy eficiente a la hora de reducir el colesterol nocivo (LDL) sin reducir el colesterol apropiado (HDL).

Potente actividad anti-viral: En un estudio de Laboratory of Viral Pathogenesis, Dana-Farber Cancer Institute, de la Harvard Medical School conjunto con Earthrise Farms (1996) anunció: "el agua extraída de *Spirulina platensis* inhibe la replicación del HIV-1 en humanos".

Anemia: Tanto en experimentos con animales como en estudios con humanos, el consumo de *Spirulina* recupera rápidamente los niveles de hierro porque no sólo lo contiene en cantidades importantes sino en forma fácilmente absorbible. "*Spirulina* previene la anemia porque tiene diez veces más hierro que las espinacas" (García, 1996).

Elimina metales pesados: El papel nefroprotector de *Spirulina* la convierte en un aliado para tratar la intoxicación de metales pesados (Yamane, 1988).

2.2.3.2. Uso en acuicultura

El uso de este organismo como alimento en la acuicultura ha sido limitado debido a su alto costo en el mercado, sin embargo experiencias de acuicultores japoneses, han señalado los beneficios que se obtienen utilizando *Spirulina* en las dietas para peces de ornato

principalmente (Lara-Adrade, et al., 2005).

El consumo de *Spirulina* por los peces ha demostrado (Henson, 1990) que:

- Incrementa la tasa de crecimiento
- Mejora la calidad y coloración a la carne del pez;
- Aumenta la supervivencia
- Reduce los requerimientos de medicamentos
- Disminuye los desechos en los drenajes de los estanques.

2.2.3.3. Otros usos

Por sus aportes nutricionales, la elevada fijación de CO₂ atmosférico y la posibilidad de fijar el nitrógeno presente en la urea hacen de esta cianobacteria un elemento muy interesante para el diseño de espacios completamente aislados.

MELiSSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative) es un sistema de bio-regeneración de vida diseñado por la Agencia Espacial Europea (ESA) para el reciclaje de residuos tales como gases, líquidos y sólidos durante exploraciones a larga distancia. El sistema combina diferentes organismos vivos: cultivos microbianos en biorreactores, compartimentos de plantas, y una tripulación humana. Spirulina también se está utilizando en la planta piloto en Barcelona diseñada para la experimentación de los compartimentos de MELiSSA (Gòdia, et.al., 2011)

Los resultados obtenidos de la experimentación (Lasseur, et al., 1996) en ratas durante un periodo de 16 semanas confirman que Spirulina puede ser usada para cubrir hasta un 40% de la dieta.

El uso de Spirulina para Sistemas de Soporte Vital Ecológico Cerrados (CELSS) también centra numerosos estudios (Oguchi, et al., 1987), (Yang, et al., 2008).

2.3 Características del cultivo

2.3.1 Parámetros del cultivo

Los parámetros más importantes que regulan el crecimiento de Spirulina son la variedad o tipo, la biodisponibilidad de nutrientes, el método y velocidad de recirculación del medio, la salinidad, el pH, la temperatura y la iluminación.

2.3.1.1 Variedad de *Spirulina*.

Existen muchas variedades de *Spirulina*. Habitualmente todas ellas tienen unas propiedades nutricionales muy similares, sin embargo las condiciones óptimas de cultivo pueden variar.

2.3.1.2 Medio de cultivo.

Como se ha dicho anteriormente la *Spirulina* vive en un medio acuático alcalino y salado. En la tabla 2.8 se describen más detalladamente las condiciones de algunos lagos en los que se multiplica la *Spirulina*.

Tabla 2.8: Características químicas y biológicas de algunos lagos donde hay *Spirulina* en África. (Fox, 1999)

Lago	pH	Salinidad (g L ⁻¹)	Conductividad (mS cm ⁻¹)	Alcalinidad (meq L ⁻¹)	Referencia
Arenguade	10,3	5	6	51-57	Wood y Talling (1988)
Abijalta	9,9	26	28	349	Kebede et al., (1944)
Chitu	10,2	45	49	581	Kebede et al., (1944)
Simbi	10,6		18	260	Melack, (1979)
Nakuru	10,3	20	14-26, 10-16	150	Vareschi, (1978 y 1982)
Rombou		13-26	17-30		Iltis, (1969)
Bodou			34-48		Iltis, (1969)

Agua: La cantidad de agua necesaria para el cultivo de *Spirulina* es muy poca (Henrickson, 2004). Una vez puesto el cultivo en funcionamiento sólo es necesario compensar el agua de evaporación. En la Tabla 2.9 se pueden ver comparadas las necesidades de agua respecto otras fuentes proteicas.

Tabla 2.9: Agua necesaria para producir 1kg de proteínas (Henrickson, 2004)

	litros	calidad
<i>Spirulina</i> ^(a) (65% proteínas)	2.100	salobre
Soja ^(b) (34% proteínas)	9.000	fresca
Maíz ^(b) (9% proteínas)	12.500	fresca
Carne de ternero ^(b) (20% proteínas)	105.000	fresca

(a) Y. Ota, Earthrise Farms, California (1995)

(b) David Pimentell, Cornell University (1981)

En el agua a utilizar se le tiene que realizar dos caracterizaciones: la fauna microbiana y la dureza.

El agua a utilizar debe superar el control bacteriológico heterotrófico y debe ser preferiblemente de origen potable, o al menos filtrada. Es de vital importancia la eliminación de algas extrañas. En el agua de lluvia generalmente es apropiado un control bacteriológico, o filtrarla por ósmosis inversa. Las aguas con un contenido notable en cloro no son apropiadas para el cultivo.

Si el agua es dura (<300 mg CaCO₃ L⁻¹) produce lodos de minerales (más o menos abundantes según las cantidades de Calcio, Hierro y Magnesio) que decantan rápidamente y no son particularmente problemáticos para el cultivo siempre que la concentración de *Spirulina* sea suficientemente elevada.

Alcalinidad: *Spirulina* puede vivir en un medio muy alcalino, con valores de pH que oscilan entre 8,5 y 11,3. (Jourdan, 2003)

Para lograr la alcalinidad se pueden utilizar varios métodos: agua con cenizas, bicarbonato sódico, carbonato o natrón (Planchon y Fuentes, 2003).

Debido a la absorción de CO₂ del aire, sin métodos suplementarios, el cultivo tiende a

estabilizarse a un pH aproximadamente de 10,4 (Fox, 1996).

Salinidad: André Iltis (1968) estudió la salinidad de los lagos de la región de Kanem donde *Spirulina* crece de forma natural. La salinidad total de los lagos varía entre 8,5 g/L hasta un máximo de 200 g/L. Estos extremos corresponden a los períodos de lluvia y a la estación seca donde los lagos están prácticamente secos debido a la evaporación.

Según Iltis, *Spirulina* prefiere aguas en las que el anión más abundante sea Na^+ , que haya abundante K^+ , y que no haya, o en muy pocas cantidades, los aniones Ca^{++} y Mg^{++} .

Tabla 2.10: Composición de las aguas de diversos lagos de *Spirulina* (g/L)

Lago	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Cl^-	$\text{SO}_4^=$	$\text{CO}_3^=$	HCO_3^-	Total
Rombo (Chad) ⁽¹⁾	0,012	0,005	6,877	3,034	1,349	2,959	14,52	4,575	33,33
	0,016	0,010	3,174	1,447	0,816	1,153	5,75	4,026	16,40
Bodou (Tcad) ⁽¹⁾	0,028	0,038	10,626	2,072	1,739	2,374	21,90	7,808	46,58
	0,016	0,002	12,455	1,681	1,686	3,066	27,9	7,747	55,55
Elmenteita (Kenya) ⁽²⁾	0,008		9,453	0,383	5,183	4,401	17,34		36,77
Rudolf (Kenya) ⁽²⁾	0,100		0,805	0,019	0,475	0,134	1,5		3,03
Nakuru (Kenya) ⁽²⁾	0,008		37,996	1,314	12,993	8,553	86,4		147,26
Chiltu (Etiopía) ⁽²⁾	0,088		12,397	0,672	0,852	8,591	24,00		46,52
Aranguadi (Etiopía) ⁽²⁾	0,012		1,628	0,317	0,770	0,067	3,06		5,85

⁽¹⁾. Iltis. *Note sur Oscillatoria (sous-genre Spirulina) platensis (Nordst.) au Tchad.* O.R.S.T.O.M. 1971.

⁽²⁾. Wood. *The production Spirulina in Open Lakes.* Communication au Swedish Council For Applied Research, Stockholm 1968.

2.3.1.3 Nutrición del cultivo

Como se ha descrito anteriormente *Spirulina* necesita de una fuente de nitratos fijos y carbono. *Spirulina* es un organismo mixotrófico por tanto puede obtener el Carbono tanto de fuentes inorgánicas, como de fuentes orgánicas.

Carbono: La *Spirulina* contiene un 47% de carbono, por eso es necesario un aporte importante de carbono para un crecimiento rápido. En los lagos naturales el carbono proviene del carbonato volcánico, o del gas carbónico atmosférico. En este último caso el dióxido de carbono atraviesa la interfase entre el aire y el agua y queda disuelto en el agua. Una parte de este CO_2 disuelto es absorbido inmediatamente por las algas. La tasa varía en función de la actividad fotosintética y la proximidad entre los tricomas. Las otras moléculas de CO_2 reaccionan con el agua para formar ácido carbónico (H_2CO_3). Este ácido se disocia en iones bicarbonato HCO_3^- y iones H^+ . Los iones bicarbonato pueden disociarse y dar CO_2 o bien iones

carbonato CO_3^{2-} según el pH de la solución. Todas estas reacciones son muy rápidas, y elevan el nivel de CO_2 en la solución, las algas tienden a producir iones OH^- y así elevar el pH. La proporción de CO_2 disuelto en el agua y los iones carbonato o bicarbonato varían según el pH de la solución.

Nitrógeno fijo: La *Spirulina* contiene un 12% en peso de nitrógeno y no es una cianobacteria heterocista, por tanto no puede fijar el nitrógeno del aire. Así el nitrógeno fijo es necesario para mantener el crecimiento de *Spirulina*.

La fuente más sencilla de utilizar es el nitrato de sodio o de potasio (NaNO_3 o KNO_3). Sin embargo también existe la posibilidad de utilizar urea, o bien directamente orina humana (Yang, et al., 2007).

Pedrosa-Bezerra et al., 2011 establecen que el uso de urea proporciona un mayor rendimiento energético que el nitrato. Y concluyen que el uso de urea es una fuente de nitrógeno prometedora de bajo coste para el cultivo de *Spirulina*. En este sentido hay numerosos estudios abiertos como el del Centro de Biotecnología Marina de Gran Canaria donde se está estudiando la producción de *Spirulina* bajo una alimentación totalmente basada en la orina humana.

Minerales: La *Spirulina* contiene muchos minerales y es necesario que también se encuentren en el medio, pues sin un correcto equilibrio de estos elementos en el medio, la *Spirulina* no se puede desarrollar. Sin embargo, una vez se obtienen los elementos principales: carbono, nitrógeno, potasio, fósforo y hierro, los otros se pueden encontrar en el agua, o si ésta es muy pura se puede añadir sal marina no refinada, o directamente agua de mar. (Fox, 1999)

2.3.1.4 Temperatura

La temperatura para un crecimiento óptimo depende de la variedad de *Spirulina*.

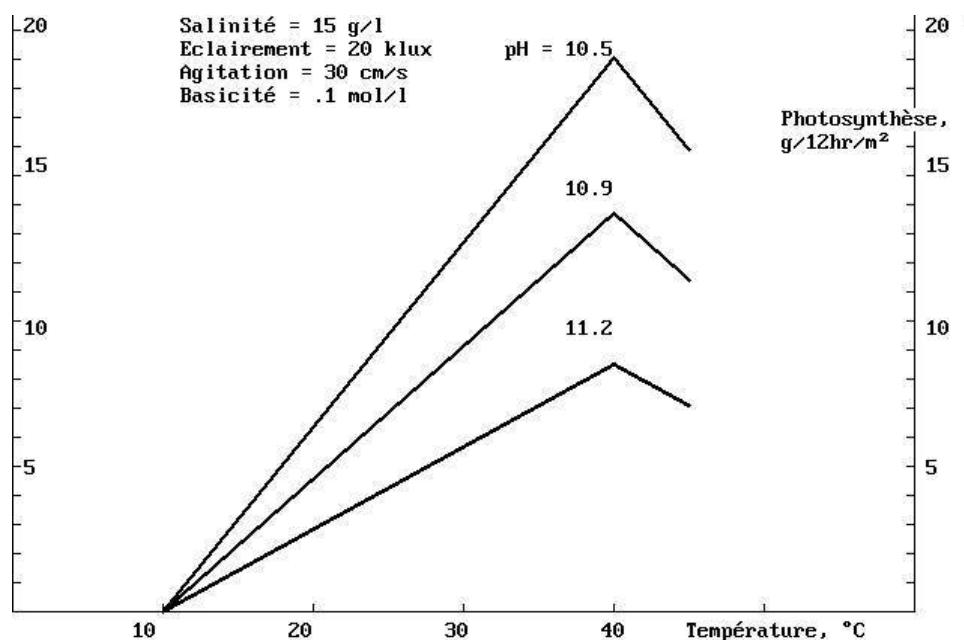


Figura 2.8: Velocidad de fotosíntesis en función de la temperatura. Zarrouk (1966)

Habitualmente la temperatura ideal se encuentra en los 37°C. El crecimiento empieza a partir de los 15-20°C y a partir de los 40-42°C la *Spirulina* experimenta un rápido descenso productivo hasta alcanzar una temperatura que llega a dañar las células y desnaturalizar la

proteínas, lo que provoca la muerte de éstas.

En la figura 2.8 se puede ver como afecta la temperatura a la velocidad de fotosíntesis de *Spirulina*.

2.3.1.5 Mezcla

En la superficie del medio de cultivo se forma una capa compacta y densa de *Spirulina*, debido al crecimiento competitivo de las mismas, que limita el paso de la luz al fondo del recipiente, actuando como aislante térmico y formando una estratificación en el perfil vertical de temperatura del medio de cultivo. Se ha podido medir (Eliach, et al., 2004) hasta 10°C de diferencia entre la superficie y el fondo del estanque. Esto limita el crecimiento del alga en superficie del líquido, desaprovechándose la mayor parte del volumen del estanque. Por eso es necesario una mezcla del cultivo que permita:

- Que mayor número de individuos puedan exponerse a la luz solar o artificial.
- Un mayor intercambio gaseoso entre el medio ambiente y el medio de cultivo, favoreciendo la liberación del oxígeno generado por la respiración.
- Disminuir la estratificación y formación de coágulos o grumos, que impiden el paso de la radiación hacia el interior del medio de cultivo.
- Disminuir la precipitación de sales del medio de cultivo, manteniendo una mezcla de sales más homogénea.

2.3.1.6 Iluminación

La iluminación es necesaria para garantizar que la *Spirulina* pueda realizar la fotosíntesis y debido a la gran cantidad de pigmentos que posee puede absorber un rango de longitudes de onda muy amplio.

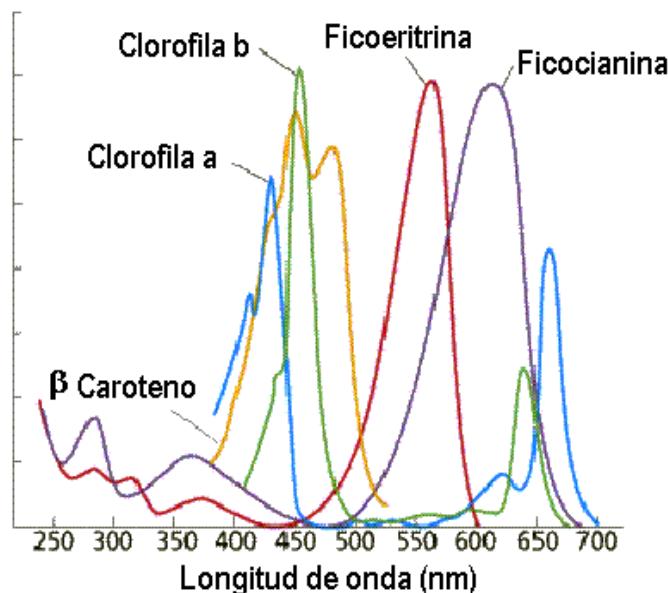


Figura 2.9: Absorción frente a la longitud de onda de la luz de los diferentes pigmentos presentes en *Spirulina* (Curtis, 2003)

2.3.1.7 El pH

El nivel de pH inicial tendrá que ser suficientemente elevado; de 7,8 a 8,5 según el medio. El pH óptimo de un cultivo se sitúa entre 9,5 a 10,5. La *Spirulina* no puede sobrevivir en un pH superior a 11,3.

La afectación del nivel de pH al crecimiento de *Spirulina* está detallado en el punto 2.3.4 *Influencia de diferentes factores*.

2.3.2 Tipos de cultivo

La *Spirulina* puede producirse en una amplia variedad de condiciones, desde sistemas cerrados y controlados en laboratorio hasta métodos menos productivos en recintos al exterior. La terminología para describir diferentes tipos de cultivo incluye:

Interior/exterior: Los cultivos de interior permiten un control en la iluminación, temperatura, nivel de nutrientes, contaminación, mientras que los cultivos de exterior hacen más difíciles dicho control, y es prácticamente imposible cultivar en según qué regiones geográficas.

Esterilizados/no esterilizados: Los cultivos esterilizados están libres de organismos extraños como bacterias y requieren una esterilización estricta de todos los vidrios, recipientes, medio de cultivo para evitar la contaminación. Este tipo de cultivo queda reducido a escala de laboratorio ya que el elevado coste lo hace inviable a nivel comercial.

Por lotes, continuo y semi-continuo: En este tipo de cultivo de microalgas existen tres sistemas básicos descritos a continuación.

2.3.2.1 Por lotes (o en modo batch)

Es un sistema cerrado, de volumen limitado, donde no hay entradas ni salidas de materiales. La densidad de población del alga se incrementa constantemente hasta encontrar un factor limitante, mientras que otros componentes del medio de cultivo disminuyen con el tiempo. Otros productos son producidos por la población y se incrementan en el medio de cultivo. Cuando los recursos son usados por la población, el cultivo muere a no ser que se añadan recursos con un nuevo medio. Esto se hace transferiendo una pequeña cantidad de cultivo

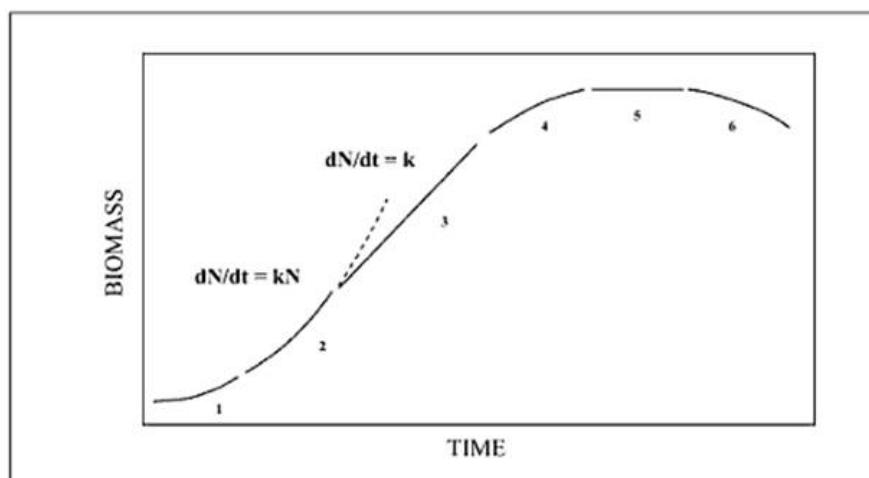


Figura 2.10: Función sigmoidal, patrón de crecimiento en modo por lotes.

existente a un volumen grande de cultivo nuevo a intervalos regulares. En este método las algas pueden crecer en sistemas cerrados.

En el cultivo por lotes muestra un típico patrón de crecimiento acuerdo con la curva de sigmoide (Figura 2.10) que consiste en una sucesión de seis fases: que comprenden desde la adaptación al nuevo cultivo, la aceleración y crecimiento exponencial, la disminución en el crecimiento, el estancamiento y la muerte del cultivo.

2.3.2.2 Sistemas continuos

En sistemas de cultivo continuo los recursos son potencialmente infinitos. Los cultivos se mantienen en el punto de la curva de crecimiento escogido. Se añade un volumen de nuevo medio de cultivo mientras se elimina una parte proporcional de cultivo. Este método puede mantener el cultivo muy cerca del punto de máximo crecimiento, ya que el cultivo idealmente nunca encuentra factores limitantes.

2.3.2.3 Sistemas semi-continuos

El sistema semi-continuo permite el uso de grandes recintos para el cultivo con una recolección parcial periódica, a la que sigue de forma inmediata la adición de medio de cultivo y nutrientes hasta el nivel original. Así el cultivo crece de nuevo hasta ser recolectado parcialmente. Los cultivos semi-continuos pueden ser interiores o exteriores, pero normalmente su duración es difícil de predecir. Competidores, depredadores y/o contaminantes aparecen eventualmente, dejando el cultivo no apto para un uso posterior. Si el cultivo no se recolecta de forma completa, el tipo semi-continuo tiene un mejor rendimiento que el cultivo por lotes en un mismo recinto.

Abierto/cerrado: Según el tipo de recinto se puede diferenciar en recintos abiertos y recintos cerrados. En este segundo caso reciben el nombre de fotobiorreactores (PRs) o biorreactores.

2.3.2.4 Estanques abiertos (open ponds)

Los cultivos abiertos son circuitos diseñados a la intemperie o en el interior de invernaderos donde se cultivan las microalgas. Los nutrientes pueden ser añadidos con el agua de alguna zona cercana, o canalizando el agua hacia una planta de tratamiento. Los recintos se mantienen poco profundos para mantener las algas expuestas a la luz solar y permitir que ésta penetre hasta el fondo del recinto, habitualmente entre 10 y 50 cm. Normalmente el agua circula gracias a una rueda de paletas o a estructuras rotatorias (Figura 2.11).

Los nutrientes se deben añadir al amanecer justo delante de la rueda de paletas, para garantizar una distribución uniforme en todo el estanque, y la recolección se hace en la zona anterior a la rueda de paletas, en la zona en la que *Spirulina* tiende a concentrarse (Figura 2.12).

Normalmente los recintos abiertos son más susceptibles a la condiciones ambientales, siendo muy difícil el control de temperatura, evaporación e iluminación. Su uso es limitado a determinadas zonas geográficas y son más fáciles de contaminar que los sistemas cerrados.

La productividad en los recintos abiertos se mide en términos de biomasa producida por día y por unidad de superficie.

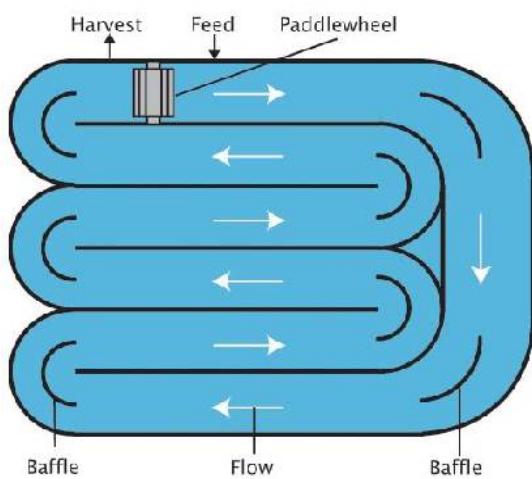


Figura 2.11: Recinto de cultivo de un circuito de estanque abierto para una escala industrial. Tipo "race-way"



Figura 2.12: Rueda de paletas.
(Cantarane, 2009)

2.3.2.5 Fotobiorreactores

La *Spirulina* puede crecer en sistemas cerrados como los Fotobiorreactores (PBRs). Estos sistemas son biorreactores que incorporan algún tipo de fuente de luz. Son sistemas flexibles que proporcionan un ambiente protegido de la contaminación con otros microorganismos y donde los parámetros de cultivo pueden ser controlados. También previenen la evaporación y reducen el consumo de agua, disminuyen la pérdida de CO₂ y permiten mayores concentraciones de biomasa y consecuentemente una facilidad de recogida y posible aumento de la productividad.

La iluminación artificial es una opción en los PBRs pero siempre es más cara comparada con la iluminación natural.

La productividad en los fotobiorreactores se mide en términos de biomasa producida por día y unidad de volumen.

Existen muchos tipos de PBRs que se pueden dividir en tres grupos:

- Tubulares verticales
- Tubulares horizontales
- Sistemas de bolsas plásticas.

La característica principal que define a los PBRs es la trayectoria de la luz; ésta es la distancia transversal que debe recorrer un fotón para pasar a través de un fotobiorreactor (Richmond, 2003), concepto que se ilustra en la Figura 2.13. Su magnitud se determina por diferentes medidas en los diferentes tipos de reactores. Así, la trayectoria de la luz se determina por la profundidad de líquido en un reactor de tipo carrusel, por la separación entre las placas en un reactor de placas (horizontal o vertical) o por el diámetro del tubo en un reactor tubular. Alargar la trayectoria de la luz implica reducir el volumen iluminado en relación al volumen no iluminado en el fotobiorreactor, debido a que el autosombreado entre las células sólo permite a la luz penetrar una corta distancia dentro del cultivo. En consecuencia, un incremento de la trayectoria de la luz reduce tanto la frecuencia promedio con la que las células están expuestas a la luz, como la relación de los períodos L/O (Grobbelaar, 1994; Ogbonna y Tanaka, 1998). Por el contrario, una trayectoria pequeña de la luz aumenta la

relación de volúmenes iluminado/oscuro, permitiendo así períodos L/O mayores, una mayor frecuencia con la que las células son expuestas en promedio a la luz y, por ende, un mejor régimen de iluminación.

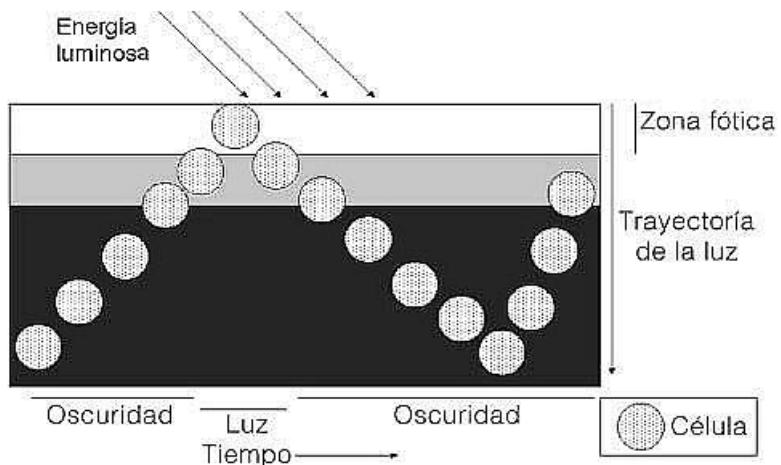


Figura 2.13 Trayectoria de la luz y ciclos luz/oscuridad.

En reactores tubulares de diámetro pequeño (1-3 cm) se pueden lograr ciclos de alta frecuencia de L/O, que contribuyen a obtener una alta productividad. Lo anterior ha sido verificado en cultivos de Spirulina y otras especies de microalgas, tanto en reactores tubulares horizontales como en reactores planos verticales e inclinados. Hu et al. (1996) han reportado que al reducir la trayectoria de la luz se obtiene un aumento significativo de la densidad celular óptima y de la velocidad específica de crecimiento. En un fotobioreactor de plano inclinado estos autores observaron además que con una trayectoria de la luz de 10,4 cm, la productividad fue sólo 6% de la obtenida en otro reactor con una trayectoria de la luz de 1,3 cm. En fotobioreactores tubulares, se han reportado resultados similares al reducir la trayectoria de la luz. Richmond et al. (1993) usando un nuevo diseño de reactor tubular horizontal reportaron un aumento de 77% en la productividad volumétrica cuando el diámetro del tubo disminuyó de 5 a 2,8 cm. La productividad en este último caso fue 640% superior a la obtenida en un sistema convencional de carrusel con 15 cm de profundidad. Las trayectorias luminosas que mejores resultados han dado en diferentes fotobioreactores están entre 2,6 y 3,0 cm; sin embargo, en cultivos de alta densidad celular, una trayectoria de la luz de 1 cm aumenta la probabilidad de que las células en promedio, estén expuestas a un régimen de iluminación óptimo (Javanmardian y Palsson, 1991). En virtud de lo anterior, actualmente no es recomendable utilizar rutas luminosas de más de 10 cm en ningún tipo de biorreactor.

2.3.2.6 Comparación de tipos de cultivo

Tabla 2.11: Comparación del cultivo en estanques abiertos y PBRs

Parámetro	Estanque abierto	Fotobioreactor (PBR)
Espacio requerido	Alto	Para el PBR solo, bajo
Pérdida de agua	Muy alta, puede incluso causar precipitación de sales	Baja
Pérdida de CO ₂ añadido	Alta, dependiendo de la profundidad	Baja
Concentración de oxígeno	Normalmente suficientemente baja	Los sistemas cerrados requieren sistemas de intercambio de gas
Temperatura	Muy variables	Puede controlarse
Limpieza	No necesaria	Necesaria (la suciedad en los cristales disminuye la intensidad de luz)
Riesgo de contaminación	Medio	Bajo
Calidad de <i>Spirulina</i>	Variable	Reproducible
Control de procesos	Limitado	Possible con ciertas tolerancias
Dependencias climáticas	Altas (intensidad de luz, temperatura y lluvias)	Media (intensidad de luz y temperatura)
Tiempo para empezar a recolectar	Medio	Bajo
Capital inicial	Medio	Alto
Coste de operación	Bajo	Medio
Coste de recolección	Medio	Medio
Aplicaciones comerciales existentes	5000 t de biomasa al año	Limitado en el momento, pero en pleno auge.

2.3.3 Tipos de producción

En función de la superficie total de explotación de los recintos, así como de la tecnología utilizada se puede distinguir tres tipos de producción: familiar, artesanal e industrial.

La línea que diferencia cada tipo de producción puede ser muy fina, para hacerse una idea la diferenciación se puede comprobar en la medida de la producción anual, así la producción anual en el cultivo familiar se cuantifica en gramos, en el cultivo artesanal en kilogramos y finalmente en el cultivo industrial en toneladas.

Además de estos tres tipos de producción también existe la experiencia de los cultivos en lagos naturales y los cultivos de laboratorio.

En este apartado se describen las experiencias hasta el momento de cada tipo de cultivo, exponiendo también algunos ejemplos representativos de cada modelo de producción.

Finalmente se comparan los tres tipos de producción.

2.3.3.1 Producción en cultivos industriales

Más allá del tamaño de las explotaciones, la distinción entre cultivo artesanal y cultivo industrial reside en las ventajas en relación con las técnicas utilizadas. Son las investigaciones concernientes al desarrollo del género *Arthrospira* en medio natural y medios controlados las que han permitido la elaboración de protocolos para optimizar el cultivo de *Spirulina* a escala industrial.

En primer lugar, las instalaciones industriales de producción de *Spirulina* se rigen por un conjunto de normas sanitarias. Son estudiadas la condiciones ambientales óptimas: la calidad del agua, del aire y de la alimentación, juegan un papel principal en la calidad final del producto. Las grandes instalaciones industriales habitualmente disponen de equipos de laboratorio que permiten controlar los insumos y así hacer un seguimiento de la producción.

Seguidamente, la tecnología utilizada en los cultivos industriales son en la actualidad temas de investigaciones científicas con el objetivo de maximizar los rendimientos de la producción sin mermar la calidad.

Además, la superficie unitaria y la superficie total de los recintos de cultivo son más importantes que en otros tipos de cultivos. El tipo de cultivo más extendido es el cultivo abierto de tipo "raceway" (Figura 2.11), sistemas de cultivo en masa utilizados después de los años 1950.

Con respecto a homogeneizar el medio de cultivo, debido a las formas de los recintos, el método más habitual es la mezcla mecánica a través de ruedas de paletas (Figura 2.12).

El secado industrial encima de tambores de calefacción, muy nefasto para los filamentos de *Spirulina*, se ha ido substituyendo progresivamente por la pulverización con aire caliente (spray-drying) que constituye hoy el principal método utilizado en las grandes producciones. (Cruchot, 2008.) Los pequeños productores industriales han adoptado el método utilizado en los cultivos artesanales de secar una fina capa con un flujo de aire a temperatura moderada; este método está considerado como la mejor técnica de secado con respecto a la calidad nutricional del producto final. (Gonçalves, 2006)

Ejemplos de cultivo industrial:

- **Sosa Texcoco, México:** Fue en México donde la *Spirulina* fue explotada de forma industrial por primera vez. La planta de producción (Figura 2.14) está situada en las proximidades del lago Texcoco donde crecía de forma natural *Arthrospira máxima*. Aunque ahora la explotación está cerrada, cabe mencionar que en el año 1992 se llegó a producir una cantidad anual de 500 toneladas de *Spirulina* seca. (Sasson, 1997).
- **Earthrise Farms. EEUU:** Situada en el Imperial Valley de California (figuras 2.15 y 2.16), es la granja de *Spirulina* más conocida a nivel mundial y la más respetada gracias a su papel de pionera en los cultivos de cianobacterias desde principios de los años 80. La granja dispone de 40 balsas de 5000 m² que corresponde a una superficie de producción total de 20 hectáreas, donde trabajan 50 personas. Actualmente produce alrededor de las 450 toneladas de *Spirulina* al año, que suponen un 13% de la producción mundial (Natesis, 2007).



Figura 2.14: Planta de Sosa Texcoco.
(Spirulinasource.com)



Figura 2.15: Vista aérea de Earthrise Farms.
(Earthrise Nutritionals, 2004)



Figura 2.16: Secado por atomización (tres etapas)
en Earthrise Farms (Henrikson, 2000)

- **INTER'CHINA, República Popular de China:** La *Spirulina* cultivada por la Sociedad Inter'china se cultiva en lagos naturalmente alcalinos, (pH entre 8,6 y 9,3) por ejemplo en el lago Chenghai situado en la provincia de Yunnan a 1500 metros de altitud (Figuras 2.17 y 2.18). Para los expertos es considerado como el paraíso natural de *Spirulina* (Inter'china, 2005a). La Sociedad fue creada en julio de 1997 por una diplomada de la Universidad de la Ciencias Médicas de China de Senyang. Actualmente existen alrededor de 80 unidades de producción con una capacidad total de 500 toneladas anuales (Inter'china, 2005b).



Figura 2.17: Detalle de agitación del cultivo
en el lago Chenghai (Inter'china, 2005)



Figura 2.18: Producción de la Sociedad Inter'china. Lago Chenghai. China (Inter'china 2005)

2.3.3.2 Producción en cultivos artesanales

Dichos tipos de cultivo se desarrollan principalmente para satisfacer el consumo local de *Spirulina*, esto los hace intencionadamente flexibles para poder adaptarse a las condiciones locales que a su vez pueden ser muy distintas entre ellas. Principalmente este tipo de producción se sitúa en países en vías de desarrollo, aunque también se conocen cultivos en Francia.

En el cultivo artesanal las instalaciones se basan más en la relación sensorial que pueda haber

con el cultivo: la observación seguida por los ojos, olfativas y táctiles suelen sustituir a los instrumentos y dispositivos de laboratorio. La calidad artesanal de *Spirulina* es esencialmente garantizada por la higiene de los manipuladores así como de los materiales utilizados.

Los recintos de cultivo son muy variables, ya que las condiciones de los distintos lugares también lo son. Así la estructura del recinto puede darse con madera, piedras, ladrillos, arcilla, etc, y el recubrimiento interior con materiales plásticos (PVC, polietileno, EPDM) de calidad alimentaria, o con recubrimientos para impermeabilizarlo como pinturas epoxy. Hay veces que es necesario instalar una cubierta en el recinto, sea con una simple tela transparente, o bien con la construcción de un invernadero.

La agitación suele hacerse con rueda de paletas, aunque no es raro la agitación manual (Figura 2.21) otras formas dadas son mediante bombas de agua.

La recolección en cultivos artesanos suele ser manual, a veces con la ayuda de una bomba de agua si se dispone de ella. La prensa es esencial para escurrir el agua pendiente, esto se hace mediante el uso de prensas mecánicas (Figura 2.19).

La conservación mediante el secado constituye uno de los principales obstáculos para el cultivo artesanal, ya que en él es cuando las propiedades nutricionales pueden marchitarse de forma más rápida si no se hace el proceso adecuadamente. El secado a pleno sol es el más rápido y económico, pero el que daña de forma más violenta los pigmentos de clorofila. Este tipo de secado es válido cuando las condiciones producen un secado rápido y cuando la iluminación solar es pobre en ultravioletas. La forma más habitual de secado en cultivos artesanales es el uso de secadores solares, que pueden variar en forma y productividad según los requisitos de la explotación y el nivel de irradiación local. Otros métodos son las cámaras oscuras con ventiladores y radiadores, o los secadores eléctricos de frutas y verduras.

Ejemplos de cultivo artesanal:

- **La Spiruline artisanale de Cantarane.** El joven productor francés Mathieu Belles recibió en 2009 el premio "envie d'agir" por el Ministerio Francés de Juventud y Deporte en la categoría de desarrollo sostenible gracias a la características innovadoras y respetuosas con el medio ambiente de su producción de *Spirulina* de forma artesanal. Situado a 25 km de Narbona (Figura 2.20), su producción se caracteriza por un equilibrio con el entorno: energía eléctrica procedente de paneles fotovoltaicos, reciclaje de materiales, bajo consumo de agua, etc. Él mismo es quien produce, distribuye y vende su producto, siendo así partícipe de todo el sistema económico. La producción anual aproximada es de 130kg con 200 m² y el precio de venta directa al público está alrededor de los 150 €/kg. Mathieu afirma: "hace falta llegar a los 300 m² para así poder vivir de la explotación."



Figura 2.19: Derecha: Tipo de prensa utilizada por Jean Paul Jourdan. (Miallet, 1999) Izquierda: Prena de tornillo utilizada por Les Ets AFAP (Pahou, 2001)



Figura 2.20: Granja de Mathieu Belles situada en la región de l'Aude

- **Technap:** Es una ONG que ha puesto en marcha distintos cultivos de *Spirulina* principalmente en Benín y Burkina Faso. En Davougou (Benín) existe una granja de *Spirulina* desde el año 1994, donde actualmente se cultiva 24 m² de *Spirulina* (Figura 2.21). Toda la producción se distribuye en los hospitales de alrededor sin previo método de conservación más que el escurrido. La producción anual se estima en 35-44 kg.



Figura 2.21: Vista parcial de la granja en Davougou, (Benín , 2003)

- **AtlaSpiruline:** Es un proyecto comunitario en Zaouïa (Ouarzazate, Marruecos) donde se produce *Spirulina* de forma artesanal desde el año 2010 con uso de energías renovables y un estricto control higiénico. Las instalaciones cuentan con dos recintos de 40 m² y un próximo recinto va a ser instalado en breve (Petites nouvelles août, 2011). El precio de venta varía según el consumidor (principalmente francés o marroquí) haciendo ofertas especiales para los locales (Figuras 2.22 a 2.24).



Figura 2.23: Prensado de *Spirulina* en las instalaciones de AtlasSpiruline (Ouarzazate, 2011)



Figura 2.22: Instalaciones en construcción de AtlasSpiruline (Ouarzazate, 2010)



Figura 2.24: Instalaciones de AtlasSpiruline (Ouarzazate, 2010)

2.3.3.3 Producción en cultivos familiares

El cultivo familiar es el objeto de estudio del presente trabajo.

La producción familiar está destinada a personas que quieren producir su propio alimento, dejando a un lado el ciclo de distribución y/o comercialización. Desde hace un tiempo (2003, Francia; 2010, Catalunya) los cultivos familiares han experimentado un aumento debido a redes como “*Les idées blues*”, o “*Les spirulinaires*” que facilitan manuales y cepas para el cultivo en casa.

Al no haber una posterior comercialización no se está sujeto a las normas o protocolos establecidos para el proceso de producción de *Spirulina*.

En muchos casos se puede omitir el secado del producto, produciendo así un abaratamiento del proceso productivo.

Los cultivos familiares suelen tener productividades bajas (frente a la productividad industrial) debido a que el espacio no está diseñado exclusivamente para el cultivo. La comodidad y simplicidad del proceso productivo son una prioridad frente a la productividad, debido a que, normalmente estos cultivos se llevan a cabo durante el tiempo libre de los productores.

Los cultivos familiares suelen ser más intermitentes, principalmente es debido a la suma de dos factores: la inadaptación de las instalaciones a una climatología adversa como puede ser el invierno, desembocando a una insignificante productividad durante esos períodos y el descanso necesario del productor. Ambos factores se pueden reducir con una mejor adaptación del método a las condiciones locales, y con una simplificación del proceso.

Ejemplos de cultivos familiares:

- **Can Masdeu** es una comunidad situada en la Serra de Collserola, Barcelona. Fue uno de los lugares pioneros en el cultivo familiar de *Spirulina* en el año 2005. Se ha cultivado de forma 100% manual y actualmente con bombas de aire. Se alimenta *Spirulina* a base de orina humana junto con un sirope de clavos oxidados. Actualmente aún se cultiva la microalga durante las estaciones calurosas siendo un aporte nutricional en la dieta de los habitantes.



Figura 2.25: Recolección de *Spirulina* en Can Masdeu. (2011)

- **Jean Paul Jourdan** (Figura 2.26) es conocido por muchos cultivadores de *Spirulina* franceses como el “padre de *Spirulina*”. Es el autor del libro *Cultivez votre spiruline* y de la revista electrónica *Petites nouvelles de la spiruline* que viene publicando desde el año 2002 con una periodicidad mensual. Jean Paul está dando a conocer *Spirulina* en el territorio francés y alrededor del mundo desde principios de la década de los noventa y cultiva su propia *Spirulina* desde el año 1993 en diversos lugares (Mialet y Montpellier). Actualmente se encuentra en Angers y tiene una producción experimental de 1,5 m² (Figura 2.27) con un buen aislamiento térmico, especialmente durante la noche. Jean Paul ha dedicado buena parte de su vida al cultivo de *Spirulina* para el auto-consumo, y con esta filosofía ha estado



Figura 2.26: Jean Paul Jourdan

ayudando a desarrollar nuevas producciones en sitios tan distintos como Bangui (República Centroafricana), Kabinda (Zaire), Linares y Catemu (Chile), Masiapo y Arequipa (Perú), etc.



Figura 2.27: Cultivo de 1,5m² de Jean Paul en Angers

- **Centre spirulinaire Almacelles** fue uno de los primeros lugares donde se implantó la Red de *Les spirulinaires*. Se cultiva *Spirulina* de primavera a otoño desde el año 2010. Actualmente existen 2 recintos de 1 m² cada uno (Figura 2.29), y otro recinto de 0,5 m² en la terraza como banco de pruebas (Figura 2.28). Existe un cuarto recinto construido de 3,5 m² que se prevé que entre en funcionamiento en la primavera del 2012. Actualmente la producción se estima superior a los 400 g anuales.



Figura 2.28: Producción en el balcón con pequeño invernadero. (Almacelles , 2011)



Figura 2.29: Producción de 1 m² en Almacelles. (2011)

2.3.3.4 Comparación entre los tipos de producción.

Se observa claramente que el coste y el funcionamiento de las distintas formas de producir son diferentes ya que las tres persiguen objetivos también diferentes:

- La **producción industrial** es básicamente comercializada como complemento alimentario, o “de confort” en los países ricos. Habitualmente se vende en farmacias o dietéticas, a precios de reventa muy elevados (pueden llegar a superar los 400 €/kg).

En estos países la *Spirulina* no responde a una necesidad vital, se utiliza para estimular el apetito, como complemento alimentario en dietas de pérdida de peso o para el refuerzo de la masa muscular en los deportistas de alto nivel. Las industrias buscan en todo momento la producción de una *Spirulina* que tenga las cualidades nutricionales óptimas.

- La **producción artesanal**, principalmente localizada en países en vías de desarrollo, está destinada a la población local, normalmente afectada por la desnutrición más o menos severa. El consumo no es un lujo para dicha población y debe ser accesible con los medios de que se dispone. Es en parte por esto que las técnicas utilizadas son más simples y accesibles, para no aumentar los costes de producción y el precio de venta. La población que la consume no presta tanta atención a la calidad nutritiva. Los precios oscilan desde los 15 hasta los 200 €/kg y es habitual la venta directa al consumidor.
- Los **producción familiar** no cuenta con una posterior comercialización. Surge de la necesidad de un consumidor que quiere a la vez ser el productor de sus alimentos. Necesita de manuales, cursos, espacio y tiempo libre para llevar a cabo el cultivo. La producción familiar compite con las otras formas de producción debido a la omisión del proceso de conservación (secado principalmente) que es el principal encarecimiento del proceso productivo en los otros tipos de cultivo.

Para terminar, otra diferencia entre los distintos métodos de producción se encuentra en el vocabulario utilizado: los productores industriales suelen llamarse "ingenieros" o "científicos"; el diseñador de la explotación es un "técnico"; y *Spirulina* es producida en "explotaciones" o "laboratorios".

En el cultivo familiar o artesanal el personal está compuesto por "cultivadores de algas", "activistas", "espirulinaires" o "investigadores en el terreno". Ésta última designación indica que los investigadores trabajan directamente sobre el terreno o en laboratorios improvisados, en todo caso, un poco alejados del mundo universitario y de sus medios técnicos.

Esta diferencia de vocabulario revela claramente la existencia de un agujero entre los distintos tipos de cultivo y en el enfoque al uso de las potencialidades de *Spirulina*.

2.3.4 Influencia de diferentes factores en el crecimiento

En el punto 2.3.1 *Parámetros de cultivo* se han introducido algunos parámetros del cultivo. En este apartado se detallará qué influencia tienen así como la combinación entre ambos.

En condiciones de cultivo mixotrófico existen dos procesos metabólicos en cada célula de *Spirulina*. Por un lado existe el metabolismo fotosintético, influenciado por la intensidad lumínica y por otro la respiración aeróbica, influenciada por la concentración de sustratos orgánicos. Sin embargo, para el cálculo teórico de la productividad sólo se tendrá en cuenta el proceso autótrofo.

Se puede admitir (Jourdan, 2003) que la velocidad máxima de fotosíntesis la producción puede llegar a 1,8 g hora⁻¹ m⁻² en un recinto bien mezclado y en las mejores condiciones de temperatura, iluminación, alcalinidad, salinidad y pH. Esta velocidad puede variar en función de la variedad de *Spirulina* cultivada así como con la presencia de catalizadores.

2.3.4.1 Absorción de carbono y nivel de pH

Como ya se ha comentado el pH inicial del medio tiene que ser suficientemente elevado, entre 7,8 y 8,5. El pH óptimo para un cultivo se encuentra entre 9,5 y 10,5. Cuando el pH sobrepasa el valor de 10,5 el aporte de CO₂ procedente del aire es insuficiente para

compensar la eliminación por las algas. Cuando esto ocurre se dice que el cultivo está limitado por el CO₂. El aporte de CO₂ baja el pH y proporciona el carbono necesario para continuar con el crecimiento.

Si no se añade CO₂ el crecimiento disminuye y el pH se estabiliza alrededor de 10,9 cuando el CO₂ atmosférico se disuelve en el agua a la misma velocidad que la absorción de *Spirulina* a crecimiento lento ($\pm 3 \text{ gr m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) (Fox, 1999).

Para compensarlo se puede aumentar la concentración de CO₂ en el aire, o bien aumentar la superficie en contacto con la atmósfera del recinto del recinto provocando olas u otras anomalías, y así aumentar la tasa absorción del gas carbónico por la misma superficie de cultivo.

En la figura 2.30 se presentan varios ejemplos de la variación de la velocidad de absorción del CO₂ del aire en función de la concentración de CO₂ en el aire y del pH del medio de cultivo. Se muestra también la variación de la velocidad de fotosíntesis expresada con la mismas unidades que la absorción del CO₂ (productividad de *Spirulina*) en función del pH, para una iluminación dada, en ausencia de otros factores limitantes. El gráfico es un ejemplo a nivel ilustrativo, sin valores precisos, para mostrar la interacción fotosíntesis/absorción de CO₂ (Jourdan, 2003).

Se puede observar en la curva de velocidad de fotosíntesis, partiendo del pH mínimo, que dicha velocidad disminuye después del valor de pH 10. Simultáneamente la velocidad de absorción de CO₂ crece; el punto de cruce corresponde al equilibrio entre la velocidad de fotosíntesis bajo una atmósfera con la concentración de CO₂ que se indica. El pH de equilibrio es más alto cuando las condiciones de fotosíntesis son mejores y la concentración de CO₂ en el aire es más baja.

2.3.4.2 Influencia de la iluminación en el crecimiento

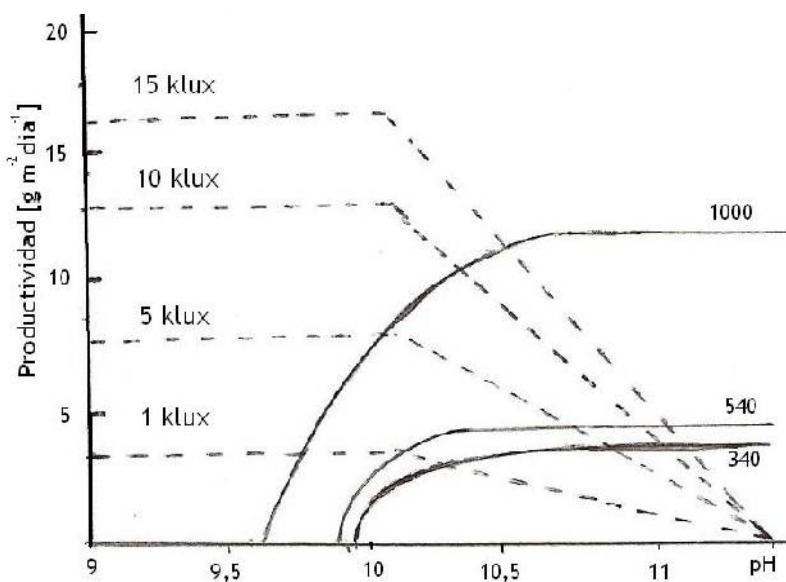


Figura 2.30: Variación de la velocidad de absorción del CO₂ del aire (-) en función de la concentración de CO₂ [vpm] en el aire y del pH del medio. Con la velocidad de fotosíntesis (—) a diferentes niveles de radiación (klux) (Temperatura 30°C, Alcalinidad 0,1 N) (Jourdan, 2003)

La luz es necesaria para el proceso fotosintético de *Spirulina*. En condiciones mixotróficas la productividad aumenta conforme aumenta la iluminación hasta los 30 klux (Figura 2.31) Por otra lado, Wang et al. (2007) comprobaron el efecto del cultivo fotoautótrofo de *Spirulina*

usando LEDs. En su trabajo estudiaron la influencia de diferentes longitudes de onda e intensidades luminosas comparando la eficiencia energética con la producción de biomasa. En su estudio determinaron que “el uso de LED rojo da la forma más efectiva de cultivo fotoautótrofo” y concluyeron que “el uso de bandas de LED de color rojo como fuente de fotones para impulsar la fotosíntesis sería más económico que el uso de lámparas fluorescente o bombillas.”

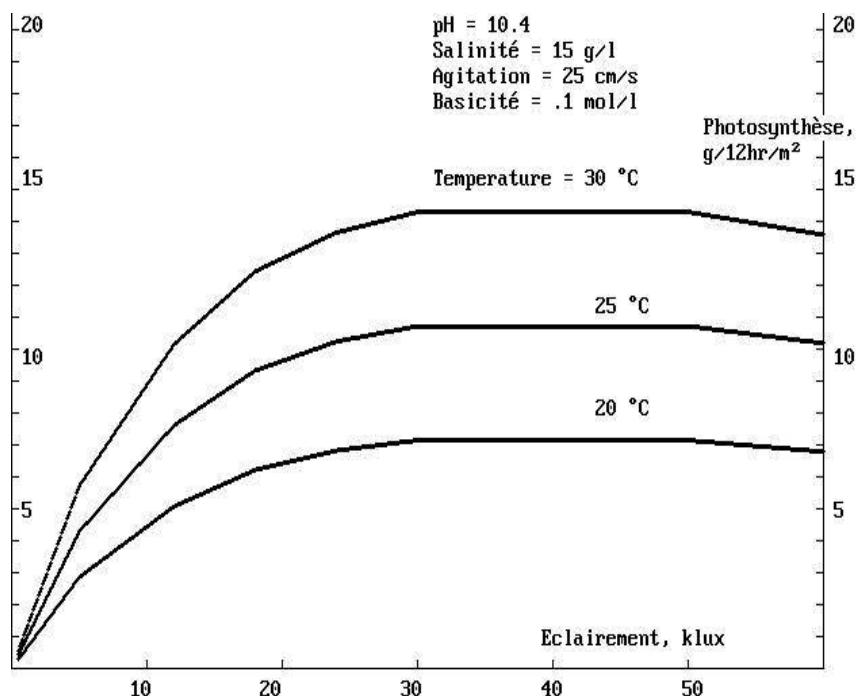


Figura 2.31: Velocidad de fotosíntesis de *Spirulina* en función de la iluminación. Zarrouk (1966)

2.3.4.3 Aireación y mezcla

La mejora en la uniformización de las células del cultivo afecta a la transferencia de masa y el ciclo luz-oscuridad de la células. Ante una fuerte iluminación es imprescindible una buena distribución de las células en el recinto por el riesgo de ser foto inhibidas.

Se experimentó con tres formas distintas de agitar el medio: magnética, bombeando y burbujeando (Ravelonandro, et al., 2011). El método de uniformización burbujeando es el que produce un estrés menor en *Spirulina* y también con el que la tasa de reproducción es más elevada.

A esto se ha de añadir que algunas variedades (las más espiraladas como la Lonar) no toleran bien una agitación mediante bomba de agua.

2.3.4.4 Efecto combinado de luz y temperatura.

La exposición de *Spirulina* a una intensidad de luz fuerte causa una reducción en la actividad del fotosistema II (PSII). Este efecto es conocido como foto inhibición. En la figura 2.32 se puede observar como decrece la eficiencia del PSII (F_v/F_m) cuando se alcanzan los valores máximos de temperatura e iluminación.

Por otro lado también existe la foto inhibición a bajas temperaturas. Torzillo et.al. (1996) indican que la foto inhibición puede reducir drásticamente la producción de los cultivos con una concentración baja de *Spirulina*. Incluso con una iluminación moderada como la observada en Octubre en Florencia, Italia. Aunque la foto inhibición puede ocurrir incluso en verano en altas concentraciones de biomasa cuando el cultivo se mantiene a una temperatura por debajo de la óptima (Torzillo y Vonshak, 1994)

La foto inhibición producida a bajas temperaturas (también conocida como fotolisis) es la más común en cultivos familiares. Así pues es importante que los cultivos a menos de 20°C no reciban iluminación directa del mediodía extremando la precaución cuando la concentración de *Spirulina* es baja.

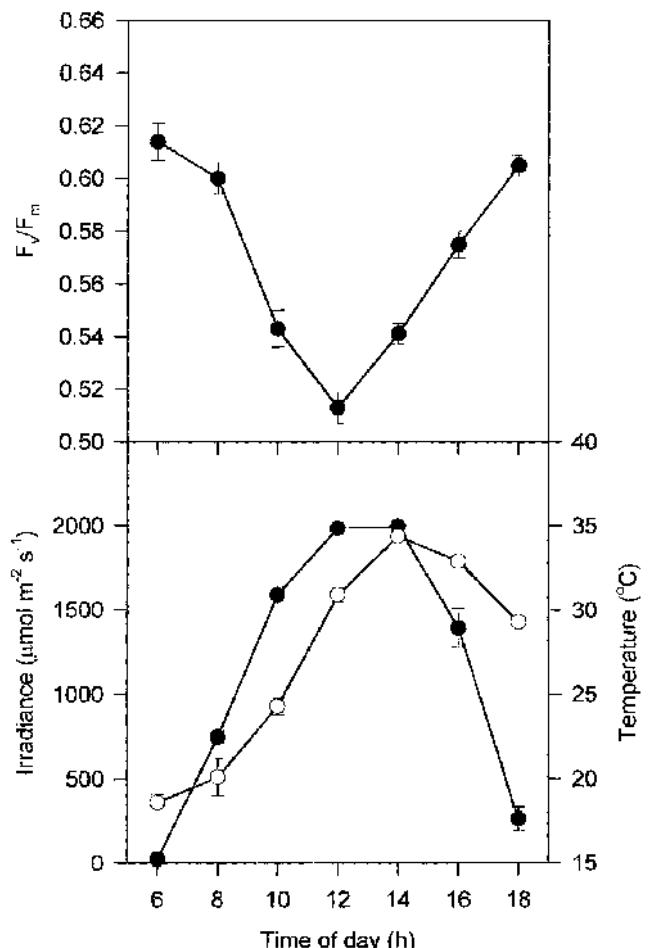


Figura 2.32 Arriba: Eficiencia del PSII (inverso a la foto inhibición diurna) en cultivos al aire libre de *Spirulina*. Abajo: Cambios diarios en la irradiación (•) y la temperatura (○); (Lu y Vonshack, 1999)

2.3.4.5 Efecto combinado de la aireación e iluminación

El tiempo que las células permanecen en zonas iluminadas y la frecuencia con la que son iluminadas (frecuencia de los ciclos L/O) dependen de la trayectoria de la luz, pero al mismo tiempo dependen del mezclado del medio de cultivo (Grobbelaar, 1994). En un mismo fotobiorreactor es posible establecer diferentes condiciones de mezclado para manipular el régimen de iluminación y así la tasa de fotosíntesis. Richmond (1993) ha reportado que la eficiencia fotosintética disminuye al aumentar la intensidad luminosa en cultivos de baja densidad celular con una aireación de 0,6 L de aire/min. En cambio, a una densidad celular óptima y una aireación de 4,2 L de aire/min, las eficiencias fueron similares a pesar de aumentar la intensidad de luz en un factor de 4. Adicionalmente, al aumentar la aireación de 0,6 a 4,2 L de aire/min la productividad aumentó al doble. En cultivos de alta densidad celular en los que se utilizan niveles de iluminación como los que se presentan típicamente al mediodía, con frecuencia se reportan aumentos de la productividad al aumentar la intensidad de mezclado. Por ello, para lograr una alta productividad y un aprovechamiento óptimo de la luz, Richmond (1993) recomienda una iluminación intensa (mediodía), el uso de reactores con

una trayectoria de la luz pequeña, y un mezclado vigoroso hasta donde lo permita la fragilidad de las células. Por otra parte, Grobbelaar (1994, 2000) determinó experimentalmente la contribución de los ciclos L/O y de la transferencia de nutrientes, y concluyó que los dos componentes del mezclado actúan sinérgicamente sobre la productividad. Una frecuencia alta o mediana de ciclos L/O ayuda a evitar la foto inhibición, aún a niveles elevados de iluminación, debido a que las células no están expuestas permanentemente a la luz (Grobbelaar, 1994). La tasa de fotosíntesis y la productividad de los cultivos aumentó al aumentar la frecuencia de los ciclos L/O en el intervalo de 0,05-5000Hz. La metodología empleada podría adecuarse para optimizar los ciclos L/O en diferentes especies de algas.

2.3.4.6 Recolección de la biomasa

La propiedades y la productividad también vienen influenciadas por el momento de recolección.

Según la experiencia de Richmond, et al. (1990) cuando se recoge por la tarde/noche la productividad puede aumentar de un 15-20%.

Sin embargo cuando se recoge por la mañana es cuando el contenido de ficocianina y proteínas es más elevado (Planchon y Fuentes, 2003; Jourdan, 2003)

Por otro lado la filtración a pleno sol está muy desaconsejada (Jourdan, 2003)) ya que la biomasa de los bordes del filtro cambia rápidamente a marrón y ensucia el filtro de tela.

2.3.5 Tasa de reproducción de *Spirulina*

Se define la productividad como el aumento de biomasa de *Spirulina* que experimenta un cultivo en un volumen y período de tiempo acotados.

La productividad de *Spirulina* puede expresarse de diferentes formas dependiendo de las condiciones y métodos de cultivo.

En los cultivos abiertos la productividad se expresa en [g m⁻² día⁻¹]: gramos de *Spirulina* seca por metro cuadrado de superficie de cultivo y por día (media de todos los días desde que empezó a cultivarse hasta el fin de cultivo).

En los cultivos en biorreactores la unidades hacen referencia al volumen en lugar de superficie [g L⁻¹ día⁻¹].

En el presente documento la productividad se expresa en [g m⁻² día⁻¹]. Otro dato que acompaña la productividad son los días de cultivo tenidos en cuenta en el período de un año: [días de cultivo] Dejando los días más fríos en el período de no cultivo.

Se puede admitir (Jourdan, 2003) que el crecimiento fotosintético de *Spirulina* es una función directamente proporcional a las funciones de la temperatura, iluminación, salinidad, pH y velocidad de agitación, multiplicado por un factor de ajuste k:

$$\text{Velocidad defotosíntesis} = k * \Phi_T(T) * \Phi_i(klux) * \Phi_s(\text{salinidad}) * \Phi_{pH}(pH) * \Phi_a(\text{agitación})$$

Esta hipótesis se apoya en los resultados realizados por Zarrouk (1966) quién constató experimentalmente la influencia de cada parámetro. Y aunque no tiene una verdadera base científica, establece un método de predicción de la producción de *Spirulina* fiable (Jourdan, 2003).

A diferencia de métodos de cálculos de la productividad como el desarrollado por Jimenez et al. (2003) en el que establecen un modelo predictivo, a posteriori, en función de los datos del cultivo; el desarrollado por Jourdan permite hacer un cálculo definiendo las características del

cultivo y climatológicas.

Así pues, para el cálculo de la productividad, así como las necesidades de nutrientes se utiliza la serie de programas desarrollados por Jean-Paul Jourdan (spirpac-f.exe y durjour.exe). Para el buen uso de los programas y la creación de nuevos casos, se ha consultado con el autor.

Los detalles del funcionamiento del programa, así como las variables de entrada de cada ejecución se encuentran en el Apéndice I.

CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE DISTINTOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

En este capítulo se estudian y analizan diferentes sistemas de producción para diferentes condiciones de contorno.

Las partes indispensables del módulo de producción comprenden el recinto, el sistema para uniformar la concentración de las células y el sistema para su recolección. Posteriormente se definen algunos sistemas para aumentar la productividad y la estabilidad del cultivo.

3.1 Condiciones iniciales

Se contempla una amplia variedad de condiciones de contorno, para que los sistemas de producción sean adaptables a las necesidades de cada productor, espacio y zona geográfica.

Las variables que se tienen en cuenta para el diseño de los diferentes sistemas son :

- Características y disponibilidad del espacio
- Acceso a la red eléctrica
- Comodidad del usuario
- Climatología local
- Capital inicial disponible y coste de operación
- Productividad esperada

Según la Federation Spiruline France la ración diaria de Spirulina seca se puede fijar en 5 g por persona; admitiendo como raciones diarias el consumo de Spirulina comprendido entre 2 y 10 g por persona y día.

En base a esto se definen tres tipos de consumo para diferenciar los sistemas diseñados:

- Individual: consumo entre 2 y 10 g Spirulina seca al día. (1-2 integrantes)
- Familiar: consumo entre 8 y 40 g Spirulina seca al día. (3-6 integrantes)
- Comunidad: consumo entre 20 y 100 g Spirulina seca al día. (8-15 integrantes)

Para el cálculo de la productividad esperada se han escogido tres zonas geográficas distintas: Barcelona, Madrid y Santa Cruz de Tenerife. Las características de cada zona están definidas en el Apéndice II. Se pueden ordenar:

- De mayor a menor irradiación:
Santa Cruz de Tenerife → Madrid → Barcelona
- De mayor a menor temperatura media:
Santa Cruz de Tenerife → Barcelona → Madrid

3.2 Forma y construcción del recinto de cultivo.

Se diferencia entre dos tipos de recintos: abiertos y cerrados.

Se tiene en cuenta que las paredes internas del recinto contienen una mezcla de la que se extrae un producto que debe ser apto para el consumo humano. Así las características de los materiales cuanto menos son atóxicas y, a ser posible, de calidad alimentaria.

3.2.1. Recintos abiertos

Los recintos abiertos donde se cultiva *Spirulina* tienen una apertura en la cara superior, siendo estanca en las otras caras.

La superficie útil hace referencia a las partes del recinto que pueden recibir irradiación solar al mismo tiempo. Para el cálculo de la productividad se tiene en cuenta las partes que pueden recibir una irradiación solar y también cuáles están en contacto directo con la atmósfera, o bien con aire que contenga una concentración de CO₂. Definidas la dimensión y forma del recinto se indica de forma orientadora el tipo de consumo posible.

La profundidad del recinto puede oscilar entre 18 y 50 cm. La profundidad del recinto tiene una relación directa con la productividad del cultivo y la resistencia a fallecer por causas imprevistas. Así, la resistencia del cultivo en recintos abiertos aumenta con la profundidad del recinto (debido a que *Spirulina* puede presentar concentraciones de tricomas más grandes, y que la descomposición de la *Spirulina* muerta genera un amoníaco que tiene menor afectación, cuanto mayor es el volumen de cultivo) y la productividad del cultivo aumenta cuando menos profundidad tiene el recinto de cultivo (debido a que un porcentaje más alto de filamentos están expuestos a la luz y que hay menos cantidad de agua, y consecuentemente el recinto puede calentarse más rápidamente).

El coste de puesta en funcionamiento hace referencia a la adquisición de materiales y a la instalación en caso de requerirse, teniendo en cuenta diferentes opciones disponibles en el mercado. Se realiza una media de la relación coste/superficie útil de cultivo, de todos los recintos estudiados dentro de cada tipo.

Se especifica si el recinto es apto para estar situado en interiores o exteriores, así como si se necesita de condiciones especiales, como puede ser el disponer de un suelo que se pueda excavar, hacer obras, etc.

Se especifica también el tipo de agitación que puede ser apto para cada tipo de recinto.

A continuación se describen los recintos abiertos.

3.2.1.1 Piscina infantil

- **Descripción general:** La piscina infantil se puede adquirir fácilmente en los supermercados o en tiendas especializadas. Se recomienda el uso de piscinas infantiles con forma circular para facilitar la agitación. El material usado habitualmente es el PVC; los tratamientos recibidos por el PVC dependen de cada marca y modelo. Es preferible el uso de piscinas infantiles no hinchables, ya que las hinchables son más vulnerables a pinchazos. Una vez terminado el período de cultivo debe vaciarse y guardar el recinto. Su vida útil se estima en 2 años.
- **Posibilidades de consumo:** individual
- **Superficie necesaria:** circular de 1,20 a 2,70 m²

- **Superficie útil de cultivo:** de 1,13 a 2,63 m²
- **Superficie en contacto con la atmósfera:** de 1,13 a 2,63 m²
- **Profundidad máxima de cultivo:** de 23 a 35 cm
- **Coste:** de 5,98 a 12,98 €
- **Coste/superficie útil de cultivo:** media de 5,05 €/m²
- **Características del emplazamiento del recinto:** resguardado de animales, posibilidad de interior y exterior.
- **Posibilidades de agitación:** bomba de aire y bomba de agua.

3.2.1.2 Piscina autoportante

- **Descripción general:** La piscina autoportante se puede adquirir en tiendas especializadas. Se recomienda el uso de piscinas autoportantes con forma circular para facilitar la agitación. Habitualmente están construidas con PVC, dependiendo de la marca y el modelo el tratamiento que éste ha recibido. Son más resistentes que las piscinas infantiles. Una vez terminado el período de cultivo debe vaciarse y guardar el recinto. La vida útil del recinto se estima en 5 años.
- **Posibilidades de consumo:** individual y familiar
- **Superficie necesaria:** circular de 4,7 a 7,3 m²
- **Superficie útil de cultivo:** de 3,94 a 6,94 m²
- **Superficie en contacto con la atmósfera:** de 3,94 a 6,94 m²
- **Profundidad máxima de cultivo:** 60 cm
- **Coste:** de 41,70 a 72 €
- **Coste/superficie útil de cultivo:** media de 10,48 €/m²
- **Características del emplazamiento del recinto:** resguardado de animales, posibilidad de uso en interiores o exteriores.
- **Posibilidades de agitación:** bomba de aire y bomba de agua.

3.2.1.3 Marco de cristal o acuario

- **Descripción general:** el acuario se caracteriza por una gran ratio de superficie necesaria / superficie útil de cultivo. Se puede adquirir en tiendas especializadas, en tiendas de segunda mano o bien, se pueden conseguir los materiales de recuperación para la autoconstrucción. Una vez adquirido no necesita de instalación previa. Los materiales utilizados son cristales o metacrilato, las juntas suelen ser metálicas, o plásticas dependiendo de la marca y modelo. Puede estar en funcionamiento todo el año. La vida útil se estima superior a los 10 años.
- **Posibilidades de consumo:** individual
- **Superficie necesaria:** de 0,13 a 0,76 m²
- **Superficie útil de cultivo:** de 0,53 a 2,116 m²
- **Superficie en contacto con la atmósfera:** de 0,13 a 0,76 m²

- **Profundidad máxima de cultivo:** de 25,6 a 34 cm
- **Coste:** de 36 a 225 €
- **Coste/superficie útil de cultivo:** media de 89,10€/m²
- **Características del emplazamiento del recinto:** Especialmente para uso en interiores.
- **Posibilidades de agitación:** bomba de aire.

3.2.1.4 Recinto sin estructura

- **Descripción general:** el recinto sin estructura se realiza mediante una excavación en el suelo. El agujero producido se aprovecha como estructura del recinto. Éste se recubre de una tela plástica que garantiza la estanquedad. En la figura 3.1 se pueden observar los detalles de construcción. La vida útil se estima superior a los 5 años.
- **Posibilidades de consumo:** individual, familiar y comunidad.
- **Superficie necesaria:** mínimo 2,5 m²; hasta 11 m²
- **Superficie útil de cultivo:** mínimo 2 m²; hasta 10 m²
- **Superficie en contacto con la atmósfera:** mínimo 2 m²; hasta 10 m²
- **Profundidad máxima de cultivo:** 50 cm
- **Coste:** depende de la superficie.
- **Coste/superficie útil de cultivo:** de 15 a 25€/m²
- **Características del emplazamiento del recinto:** Exterior, necesita de suelo con posibilidad de ser excavado, necesita de material especial para su construcción; tiempo aproximado de puesta en marcha 2 días.
- **Posibilidades de agitación:** bomba de aire, bomba de aire comprimido, bomba de agua, rueda de paletas.

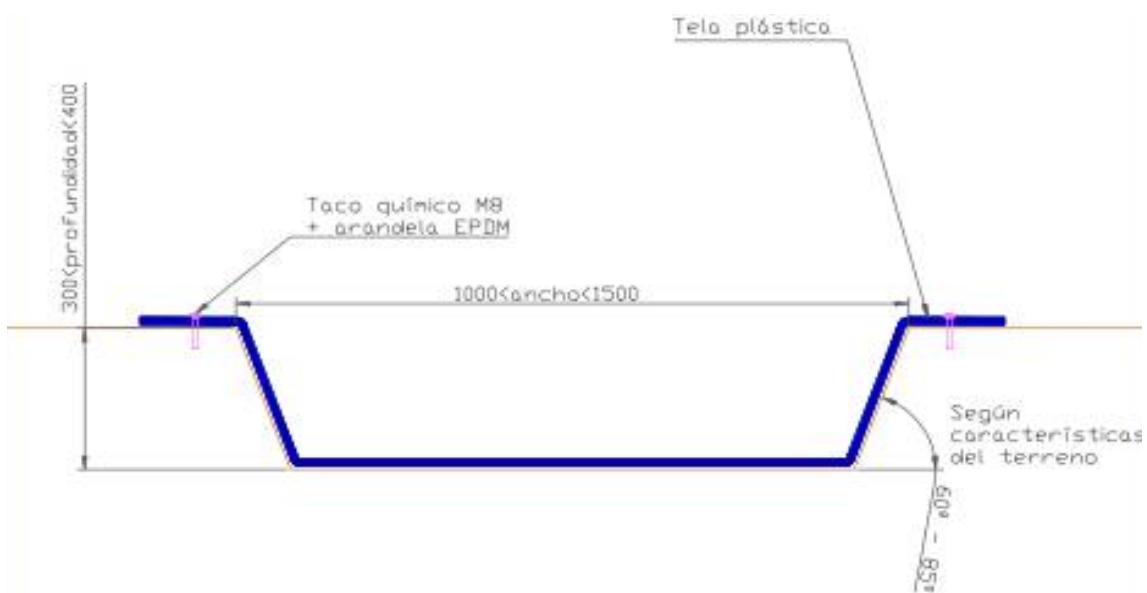


Figura 3.1: Esquema del recinto sin estructura

3.2.1.5 Recinto con estructura de obra:

- **Descripción general:** el recinto con estructura de obra se realiza mediante el uso de materiales de obra que pueden ser muy variados: ladrillos, bloques de hormigón, balas de paja recubiertas con adobe, tadelaq, etc. La estanquedad de la estructura se puede conseguir con algún tipo de pintura epoxi o tela plástica. En la figura 3.2 se pueden observar los detalles de construcción. La vida útil del recinto se estima superior a los 10 años (dependiendo del tipo de material utilizado).
- **Posibilidades de consumo:** familiar o comunidad
- **Superficie necesaria:** de 3 a 20 m².
- **Superficie útil de cultivo:** de 3 a 20 m².
- **Superficie en contacto con la atmósfera:** de 3 a 20 m².
- **Profundidad máxima de cultivo:** 50 cm
- **Coste/superficie útil de cultivo:** de 30 a 50 €/m²
- **Características del emplazamiento del recinto:** Exterior. Necesita de suelo firme, necesita de material especial para su construcción; tiempo aproximado de puesta en marcha 3 días.
- **Posibilidades de agitación:** bomba de aire ,bomba de aire comprimido, bomba de agua, rueda de paletas.

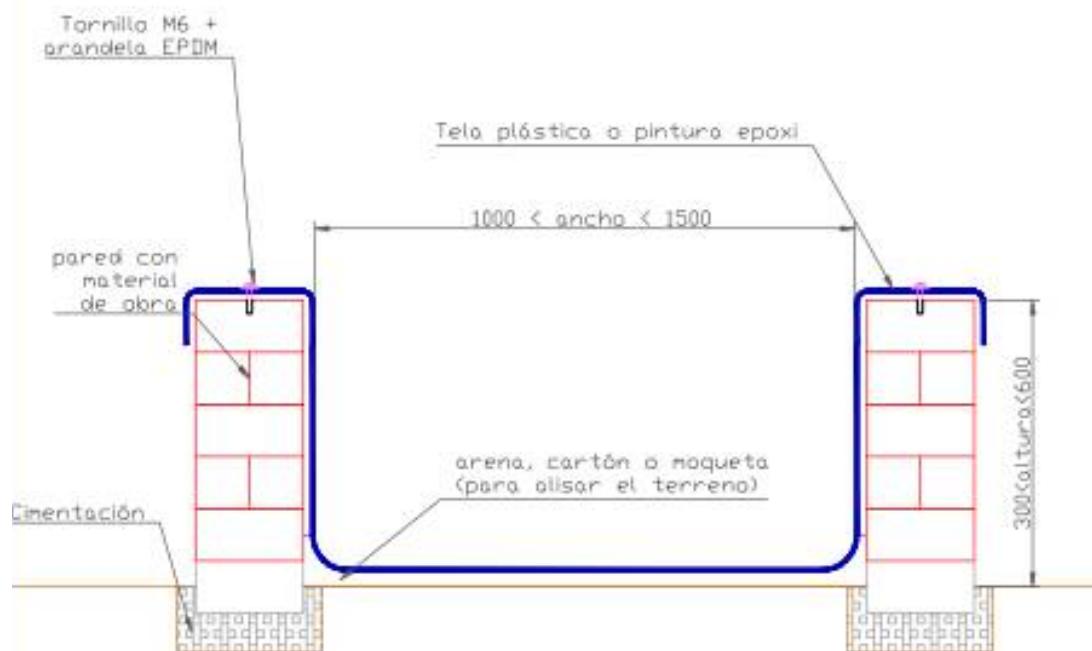


Figura 3.2: Esquema de la estructura de obra

3.2.1.6 Recinto con estructura de madera o metálica:

- **Descripción general:** el recinto con estructura de madera o metálica se realiza mediante el uso de listones de madera o varillas metálicas. Esta estructura se recubre con una tela plástica. En las figuras 3.3 y 3.4 se pueden observar los detalles de construcción de ambas estructuras. La vida útil se estima superior a los 10 años.
- **Posibilidades de consumo:** familiar o comunidad
- **Superficie necesaria:** de 3 a 20 m².
- **Superficie útil de cultivo:** de 3 a 20 m².
- **Superficie en contacto con la atmósfera:** de 3 a 20 m².
- **Profundidad máxima de cultivo:** 50 cm
- **Coste/superficie útil de cultivo:** de 20 a 40 €/m²
- **Características del emplazamiento del recinto:** Exterior. Según el tipo de estructura puede necesitar de suelo firme o excavable; tiempo aproximado de puesta en marcha 2 días.
- **Posibilidades de agitación:** bomba de aire ,bomba de aire comprimido, bomba de agua, rueda de paletas.

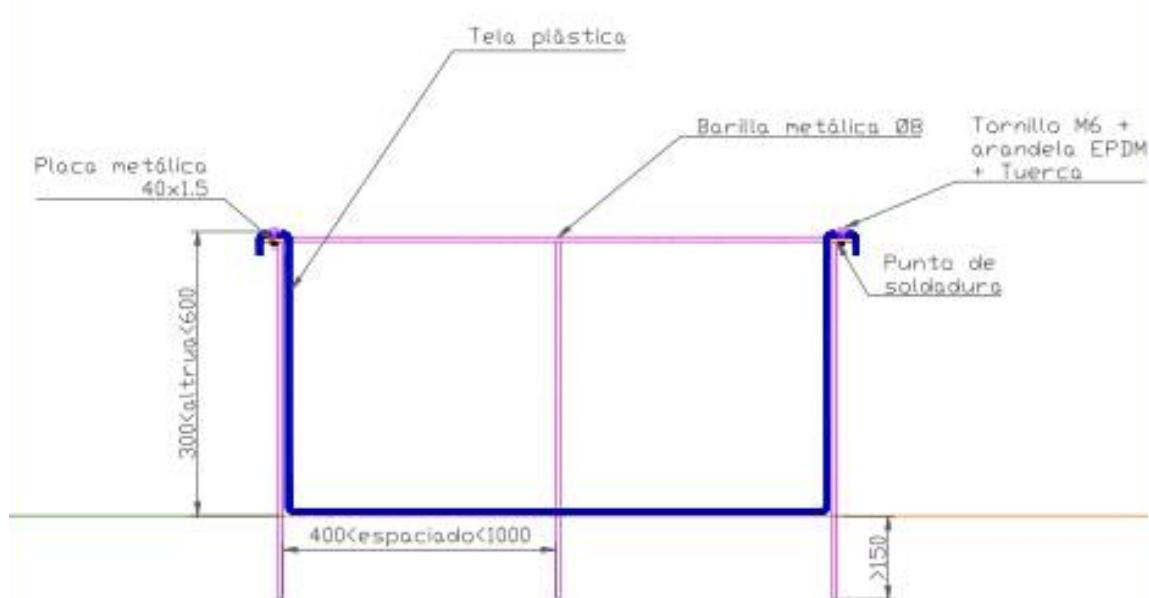


Figura 3.3: Esquema de la estructura metálica

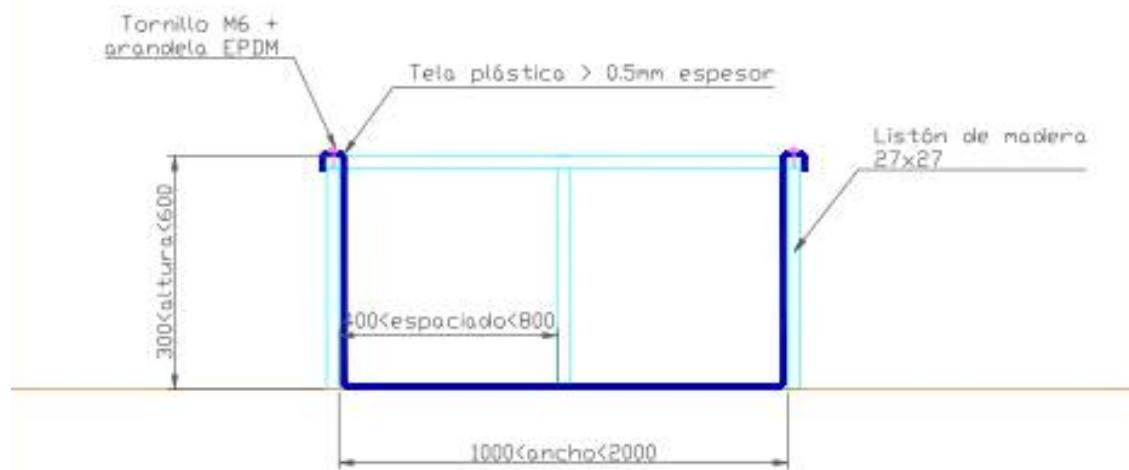


Figura 3.4: Esquema de la estructura de madera

3.2.2 Recintos cerrados.

Los recintos cerrados, comúnmente denominadas biorreactores, son sistemas en que el cultivo tiene poco o ningún contacto con la atmósfera. Sin embargo, no tienen porque estar aislados térmicamente o de la irradiación solar.

Para el diseño de los recintos cerrados se tienen en cuenta las características de diseño de los fotobiorreactores (apartado 2.3.2.5):

- **El volumen con posibilidad de ser irradiado.** Según Flores et al. (2003) las rutas luminosas que mejores resultados han dado se encuentran en fotobiorreactores tubulares con diámetros de 2,6 a 3 cm; en estos casos la productividad puede llegar al 640% de un sistema normal con 15 cm de profundidad. Se desaconseja plenamente el uso de sistemas cerrados con un diámetro superior a 10 cm.
- **La longitud máxima** no debe sobrepasar los 20 m, para prevenir la fotoinhibición debido a una acumulación de O₂ disuelto en el fotobiorreactor.
- **La cantidad máxima recolectada** se calcula conociendo la oscilación en la concentración de *Spirulina*. Habitualmente las concentraciones en las que oscila el cultivo son de 0,27 g/L (disco de Secchi a 3,5 cm) a 0,75 g/L (disco de Secchi a 1,5 cm). Siendo pues, la cantidad máxima recolectada de 0,48 g de *Spirulina* seca por litro de cultivo existente. Esta cantidad se toma como referencia para calcular el volumen total mínimo para que la recolección cumpla los requisitos locales.

A continuación se describen los distintos recintos cerrados.

3.2.2.1 Manguera flexible de calidad alimentaria.

- **Descripción general:** la manguera flexible de calidad alimentaria es fabricada en PVC biológico plastificado reforzado interiormente con un alambre acerado. Tiene la certificación D.M. 21/03/1973 y el sello FDA de calidad alimentaria. Se caracteriza por un gran ratio de volumen de cultivo/superficie irradiada. Se puede adquirir el material en tiendas especializadas. Constituye el elemento principal en los fotobiorreactores. Garantía de 2 años, vida útil estimada en más de 5 años.

- **Diámetro interior/Diámetro exterior:** de 25 a 38 / de 33 a 47 mm
- **Superficie útil de cultivo/metro:** de 0,10 a 0,15 m² /m
- **Volumen de cultivo/metro:** de 0,49 a 1,13 L/m
- **Coste/metro:** de 5,08 a 8,06 €/m
- **Coste/superficie útil de cultivo:** media de 51 € / m² útil de cultivo.
- **Características del emplazamiento del recinto:** interiores o exteriores.
- **Posibilidades de agitación:** bomba de aire, bomba por aire comprimido, bomba de agua.

3.2.2.2 Tubo rígido de calidad alimentaria

- **Descripción general:** el tubo rígido de calidad alimentaria es fabricado en polimetilmetacrilato (PMMA) Tiene la certificación D.M. 21/3/1973. Habitualmente es utilizado para el tipo de cultivo por lotes, debido a esto las medidas tanto de diámetro como de longitud se deben estudiar para que el volumen contenido permita realizar una recolección mínima adecuada. Se puede adquirir el material en tiendas especializadas. Garantía de 2 años, vida útil estimada en más de 5 años.
- **Diámetro interior/Diámetro exterior:** de 64 a 114 / de 70 a 120 mm
- **Superficie útil de cultivo/metro:** de 0,20 a 0,36 m²/m
- **Volumen de cultivo/metro:** de 3,12 a 10,21 L/m
- **Coste/metro:** de 26 a 38 €/m
- **Coste/superficie útil de cultivo:** media de 117 €/m² útil de cultivo
- **Características del emplazamiento del recinto:** Los tubos rígidos pueden situarse tanto en interiores como exteriores.
- **Posibilidades de agitación:** bomba de aire, air-lift pump, bomba de agua.

3.2.2.3 Tubo rígido recuperado

- **Descripción general:** el tubo rígido de recuperación es una opción de cultivo por lotes reutilizando los envases de vidrio de 0,75 a 1,5 L. Consiste en cortar los envases por ambos lados y juntarlos mediante silicona plástica. El corte del vidrio se puede realizar mediante choque térmico localizado. Su vida útil puede superar los 10 años.
- **Diámetro:** de 85 a 110 mm
- **Superficie útil de cultivo/metro:** de 0,27 a 0,35 m²/metro
- **Volumen de cultivo/metro:** de 5,7 a 9,5 L/m
- **Coste:** 7,42 € (silicona)
- **Coste/superficie útil de cultivo:** 12,30 €/m² de cultivo.
- **Características del emplazamiento del recinto:** Los tubos rígidos recuperados pueden situarse tanto en interiores como exteriores.
- **Posibilidades de agitación:** bomba de aire, air lift, bomba de agua.

3.2.3 Recipientes auxiliares

En algunos casos es necesario un recipiente auxiliar para facilitar el período de crecimiento, para evacuar el medio filtrado, o bien, para acumular una cantidad importante de medio de cultivo y para su posterior filtrado.

A continuación se describen los distintos recipientes auxiliares.

3.2.3.1 Recipiente auxiliar cerrado

- **Descripción general:** El recipiente auxiliar cerrado es realizado con polietileno de alta densidad. Incorpora un grifo en la parte inferior. Puede ser con base circular o rectangular.
- **Capacidad del recinto:** de 10 a 50 L
- **Coste:** de 3,99 a 37,89 €
- **Coste / Capacidad:** 0,43 €/L

3.2.3.2 Recipiente auxiliar abierto

- **Descripción general:** El recipiente auxiliar abierto puede ser un barreño, un cubo, etc. Puede ser utilizado durante la fase de crecimiento o bien en el proceso de filtrado fuera del recinto.
- **Capacidad del recinto:** de 12 a 70 L
- **Coste:** de 1,42 a 13,18
- **Coste / Capacidad:** 0,14 €/L

3.2.4 Comparación entre los distintos tipos de recinto

La comparación entre los distintos tipos de recintos posibles se resume en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Comparación de los recintos descritos

Tipo de recinto	Tipo de consumo	Coste/superficie útil de cultivo [€/m²]	Ubicación	Higiene y salubridad
Piscina infantiles	Individual	5,05	Interior Exterior	Baja
Piscinas auto-portantes	Individual Familiar	10,48	Interior Exterior	Baja
Marcos de cristal	Individual	89,10	Interior	Media
Recintos sin estructura	Individual Familiar Comunidad	20,00	Exterior especial	Baja
Estructura de obra	Individual Familiar Comunidad	40	Exterior	Baja
Estructura de madera o metálica	Individual Familiar Comunidad	35	Exterior	Baja
Manguera flexible	Individual Familiar	51,00	Interior Exterior	Alta
Tubo rígido calidad alimentaria	Individual Familiar	117,00	Interior Exterior	Alta
Tubo rígido recuperado	Individual Familiar	12,30	Interior Exterior	Muy baja
Recipiente auxiliar cerrado	-	0,43 € / L	-	Alta
Recipiente auxiliar abierto	-	0,14 € / L	-	Baja

3.3 Sistemas para uniformar la concentración en el cultivo.

Para mantener la uniformidad de la concentración de las células de Spirulina es necesario incorporar un sistema de agitación del medio (véanse apartados 2.3.1.5 y 2.3.4.3).

Una buena agitación del cultivo facilita el intercambio CO₂-O₂ de *Spirulina* que a su vez favorece el aumento de la productividad. De esta forma se puede aumentar la superficie efectiva del recinto (Fox, 1996) creando olas en la superficie. Cuanto mayor sea el ratio de la amplitud de la onda y el período de la longitud de la onda, mayor será la superficie útil, por tanto mayor productividad se alcanzará.

Para caracterizar los sistemas de agitación se diferenciará en sistemas con acceso a la red eléctrica o sin acceso.

La caracterización de los sistemas de agitación viene definido por:

- Universalidad (posible adaptación a distinto tipos de cultivo)
- Coste de instalación
- Coste de operación:
 - Consumo [KWh/mes] ; coste [€/mes]
- Superficie (o volumen) agitable.
- Dedicación diaria

3.3.1 Agitación con acceso a la red eléctrica

Si se dispone de una fuente eléctrica próxima, acceder a ella como fuente de energía, resulta el método más fácil, económico y práctico para garantizar un perfecto homogeneizado de la concentración de los tricomas del cultivo.

A continuación se recogen las características principales de los métodos de uniformar con acceso a la red eléctrica.

3.3.1.1 Sistema mediante bomba de aire:

- **Descripción general:** en la agitación mediante bomba de aire se utiliza una bomba de aire de 220 V, tubo de silicona de calidad atóxica, un difusor de oxígeno y un programador analógico. Este método proporciona una agitación adecuada y una aceleración del intercambio CO₂-O₂, que provoca que un aumento de la productividad valorado en 2.
- **Universalidad:** Puede adaptarse a todo tipo de cultivo, abiertos y cerrados. Sin embargo no puede transportar medio de cultivo, por tanto no es apto para cultivos que así lo precisen.
- **Coste inicial:** varía en función de la potencia de la bomba de aire.
 - Sistema bomba de aire normal: 20 €
 - Sistema bomba de aire para columna de agua: 60 €
- **Coste de operación:**
 - Bomba de aire normal: Consumo: 1,26 kWh/mes; Coste: 0,18 €/mes.
 - Bomba de aire columna de agua: Consumo: 9,2 kWh/mes; Coste: 1,3€/mes.
- **Superficie agitable:** Se recomienda el uso de una bomba de aire por cada metro cuadrado de cultivo. Se recomienda el uso de bombas de aire de columna de agua cuando la salida de aire del tubo de silicona esté sumergida una altura superior a 1 metro de columna de agua.
- **Dedicación diaria:** con la inclusión del programador analógico, el sistema de agitación de los tricomas queda completamente automatizado.

3.3.1.2 Sistema mediante bomba de agua:

- **Descripción general:** en la agitación mediante bomba de agua se utiliza una bomba de agua de 220 V y un programador analógico. Este método proporciona una agitación adecuada, según el tipo y forma de las ondas provocadas en la superficie también aumentará el intercambio CO₂-O₂ de la superficie.
- **Universalidad:** No es apto para cepas helicoidales (tipo Lonar) ya que el paso de las células a través de la bomba puede romperlas. Superado este inconveniente es apto para todo tipo de sistemas de producción, especialmente de aquellos que necesitan de un movimiento en el recinto.
- **Coste inicial** estimado del sistema es de 21,21€
- **Coste de operación:** Consumo: 1,26kWh/mes; Coste: 0,18€/mes.
- **Superficie agitable:** Se recomienda una bomba de agua por cada dos metros de superficie.
- **Dedicación diaria:** con la inclusión de un temporizador en el sistema, el sistema de agitación de los tricomas queda completamente automatizado. Sin embargo es necesario revisar el funcionamiento de la bomba de agua y hacer un mantenimiento del filtro.

3.3.1.3 Rueda de paletas

- **Descripción general:** en la agitación mediante rueda de paletas se utiliza un motor de limpiaparabrisas, un transformador a 12V, dos cojinetes, un ventilador, barilla metálicas Ø8 mm, material plástico y un programador analógico. Este método proporciona una agitación adecuada y una aceleración del intercambio CO₂-O₂ debido a las ondas provocadas en la superficie. En la figura 3.5 se muestra un esquema del montaje del sistema.
- **Universalidad:** Sólo es aplicable a recintos abiertos. La instalación depende de la forma y tamaño de cada recinto.
- **Coste inicial** estimado del sistema es de 120 €
- **Coste de operación:** Consumo 7,44 kWh/mes; Coste: 1,06 €/mes.
- **Superficie agitable:** Las ruedas de paletas sólo son válidas para recintos abiertos. La superficie mínima es de 2 m². La superficie máxima es alrededor de los 20 m². (Cuando la forma del recinto es la adecuada.)
- **Dedicación diaria:** con la inclusión del programador analógico el sistema para uniformar las células queda completamente automatizado.

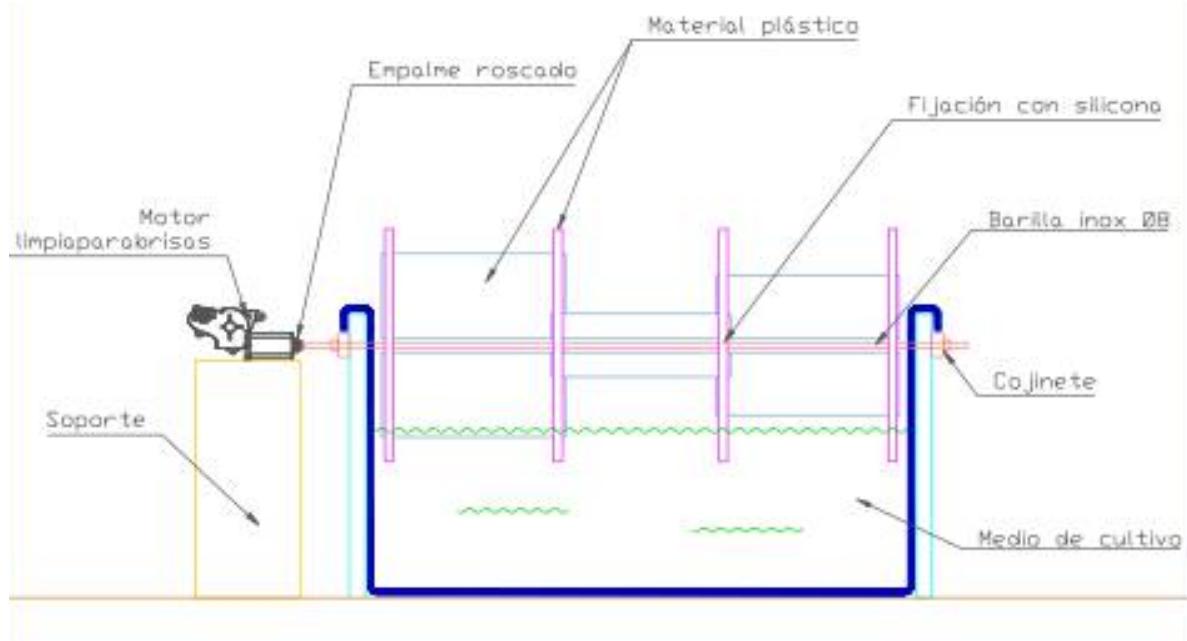


Figura 3.5: Esquema del sistema de rueda de paletas

3.3.1.4 Bomba de aire comprimido (air-lift pump) :

- **Descripción general:** En las bombas de aire comprimido la energía requerida proviene del aire. Este aire es habitualmente comprimido por un compresor o bomba de aire. Este aire es inyectado en la parte inferior de un tubo que transporta el líquido. Por flotabilidad el aire, que tiene una menor densidad que el líquido, se eleva rápidamente. El líquido se mueve en la misma dirección que el aire. En la figura 3.6 se puede ver un esquema del funcionamiento de este tipo de bombas.
Para la agitación mediante la bomba de aire comprimido se necesita una bomba de aire de 220V, un tubo de silicona de 4/6 mm, un tubo de una pulgada de diámetro y un programador analógico.
- **Universalidad:** El sistema de agitación mediante bomba de aire comprimido proporciona una uniformidad de las células del cultivo así como una posible traslación de las mismas sin necesidad de uso de bombas de agua. Aunque no se encuentran bombas de aire comprimido disponibles para el uso en los cultivos de *Spirulina* estudiados, puede ser fácil reunir los materiales para la fabricación de las bombas con las características específicas.
- **Coste inicial:** estimado del sistema es de 60 €
- **Coste de operación:** Consumo: 9,2 kWh/mes; Coste: 1,3 €/mes
- **Superficie agitable:** El uso de bombas por aire comprimido queda prácticamente reducido a módulos en PBRs. La superficie del cultivo viene determinada por la longitud y el diámetro de los tubos del PBR. El diámetro puede variar de 25 a 100 mm y la longitud siempre es inferior a 20 metros.
- **Dedicación diaria:** con la inclusión del programador analógico el sistema de agitación de las células queda completamente automatizado.

- Cálculo y conceptos:**

Lift (elevación) distancia entre la superficie del agua y el punto de descarga o la distancia vertical que el agua tiene que ser movida desde la superficie (de 1 a 2).

Total lift (elevación total) es la distancia entre el punto de inyección de aire y el punto de descarga, o la distancia vertical que el agua debe ser movida (de 1 a 3).

Submergence (inmersión) es la distancia entre el nivel de agua y el punto de inyección de aire (de 2 a 3).

Submergence ratio (ratio de inmersión) es el ratio entre la distancia del punto de inyección de aire y la superficie de agua (de 2 a 3) y entre la elevación total (de 1 a 3).

Para el diseño de una bomba de aire-lift se puede utilizar el propuesto por Reinemann, et al., (2001) donde se propone como cálculo el cruce de las siguientes funciones:

Donde:

- A: Sección del tubo [sq ft]
- D: Diámetro interior del tubo [in]
- L: Elevación [ft]
- S: Inmersión [ft]
- V_G : Velocidad del gas en condiciones de descarga [cu.ft/min]
- V_L : Caudal del líquido [gal/min]
- ρ_G : Densidad del gas [lb/cu.ft]
- ρ_L : Densidad del líquido [lb/cu.ft]

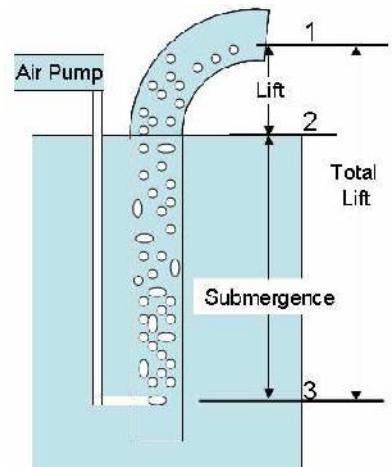


Figura 3.6 Principales operativos en un sistema air-lift. (Johnson)

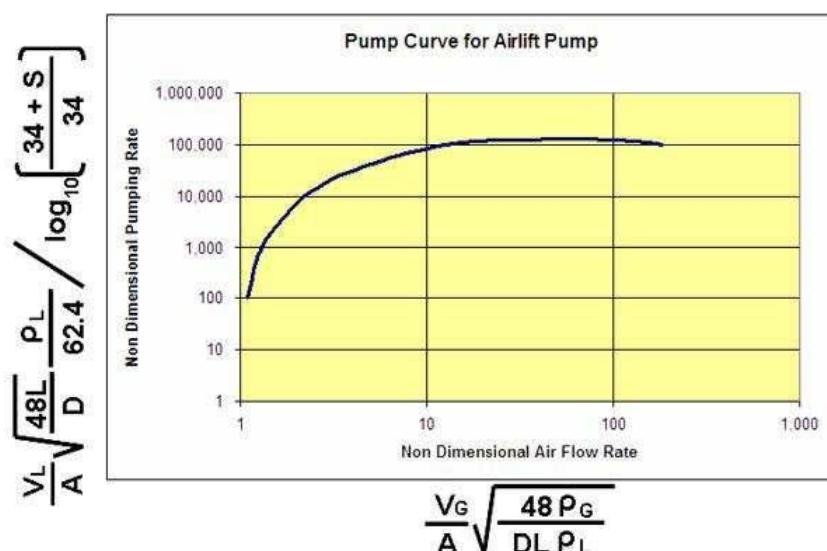


Figura 3.7: Curva de funcionamiento para bombas air-lift

3.3.2. Agitación sin acceso a la red eléctrica

Principalmente existen tres formas de uniformar la concentración de los tricomas del cultivo sin acceso a la red eléctrica nacional: con energía eléctrica procedente de paneles fotovoltaicos u otras fuentes renovables, de forma manual o por termosifón.

3.3.2.1 Con energía procedente de paneles fotovoltaico u otras fuentes renovables

Con el uso de paneles fotovoltaicos se puede agitar el medio de cultivo con diferentes sistemas.

Los paneles solares habitualmente utilizados para la producción de *Spirulina* a pequeña escala son paneles de una potencia inferior a 100 W. Habitualmente el coste de estos paneles se encuentra alrededor de 3,5 €/watt aumentando el coste cuando disminuye la potencia del panel.

El sistema más simplificado de agitación mediante el uso de paneles fotovoltaicos consiste en un sistema conformado por un panel fotovoltaico y una pequeña batería que se utiliza como acumulador y temporizador (figura 3.8 a). El coste de estas baterías suele estar alrededor de los 30 €, y tienen una vida útil de 4 años. La capacidad de la batería depende del sistema de agitación instalado. Este sistema es el más económico y simplificado, aunque tiene el inconveniente del mantenimiento de la batería. Este sistema no es adecuado para sistemas con agitación mediante bomba de agua, ya que el funcionamiento continuo no es adecuado para el cultivo ni para la bomba de agua.

El sistema anterior se puede complementar con un programador para que funcione durante las horas diurnas (Figura 3.8 b). Su coste se sitúa alrededor de los 30 €. En 3.8 b se recomienda utilizar una batería de mayor capacidad (dependiendo de la instalación pero alrededor de los 14 A). Su coste se sitúa alrededor de los 100 €. La vida útil de la batería se estima en 14 años sin mantenimiento. En este sistema de puede añadir otro temporizador para los sistemas de agitación mediante bomba de agua o rueda de paletas.

Los dos anteriores sistemas tienen la particularidad de que necesitan de dispositivos que funcionen en corriente continua. Según el tipo de instalación esto puede ser una ventaja (agitación mediante rueda de paletas) o bien una desventaja (agitación mediante bomba de aire, ya que no existe un amplia oferta en el mercado).

Otra opción consiste en incorporar un convertidor DC/AC (coste entre 40 y 100 €) al anterior sistema descrito (Figura 3.8 c). En este caso los dispositivos utilizados para agitar son de corriente alterna.

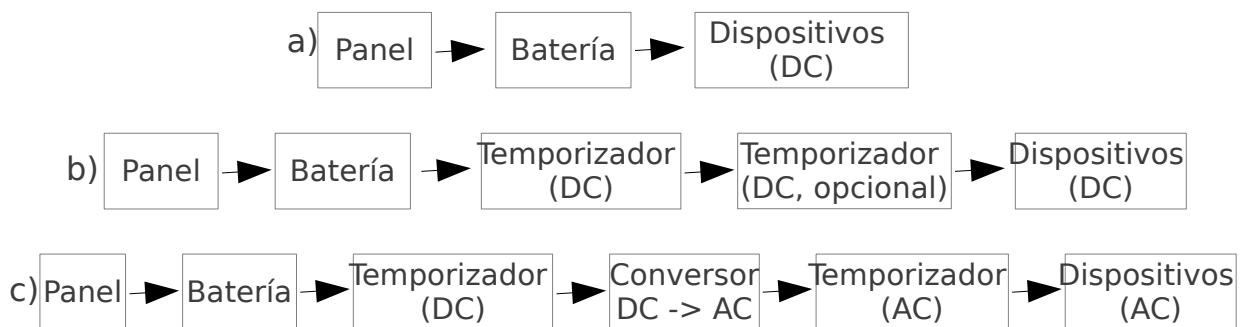


Figura 3.8: Esquemas de los circuitos eléctricos con el uso de paneles solares

3.3.2.2 Sistema manual

- **Descripción general:** Es el método más básico y rudimentario de todos. Se puede realizar con la ayuda de una escoba, o agitando el recipiente, (dependiendo de lo grande que este sea). Es necesario un mínimo de cuatro veces al día, dependiendo de las condiciones climáticas, siendo imprescindible una buena agitación en las horas de más radiación solar. Las ventajas de este método son el bajo presupuesto y materiales para empezar, así como que da un mayor seguimiento al cultivo. Por contra no existe grado de automatización alguno y eso lo hace prácticamente inviable en muchos casos.
- **Universalidad:** Posible en cultivos abiertos de todo tipo.
- **Coste inicial:** 4 €
- **Coste de operación:** Mano de obra.
- **Superficie agitable:** Todo tipo de superficies abiertas.
- **Dedicación diaria:** Aproximadamente 3 h/día para cultivos abiertos de 1 a 20 m²).

3.3.2.3 Sistema por termosifón

- **Descripción general:** En este método se aprovecha el principio del termosifón en el cual el agua caliente siempre tiende a subir para proporcionar la agitación del medio. Consiste en diseñar un circuito cerrado en el cual el agua del cultivo circule de tal forma que propicie un zaguero adecuado.

En la figura 3.9 se muestra un esquema de la agitación por termosifón. Se compone de un circuito conectado al recinto por donde circula el medio de cultivo. El recinto tiene que estar perfectamente adaptado a dicho sistema de agitación. Los materiales necesarios para construir el circuito por dónde circula el medio de cultivo son: tubo de calidad alimentaria aislado, intercambiador de calor y material para realizar las conexiones.

Se tiene que tener en cuenta que *Spirulina* no puede experimentar cambios bruscos de temperatura ni movimientos excesivos, por eso será necesario separarla para que no se introduzca en el circuito de circulación.

Las ventajas de éste método es que no necesita de una fuente eléctrica y tiene un grado de automatización mayor que el método manual, sin embargo necesita de una revisión casi a diario del filtro antes del circuito, así como una ayuda manual en ciertos momentos para uniformar bien la concentración del cultivo. Otro inconveniente es que no existe una solución universal sino que es necesaria una personalización en cada caso según el tipo de recinto utilizado.

- **Universalidad:** Para cada recinto y zona geográfica se debe diseñar un sistema de termosifón.
- **Coste inicial:** Variable.
- **Coste de operación:** mano de obra.
- **Superficie agitable:** Depende del sistema instalado.
- **Dedicación diaria:** 30 minutos / persona / día

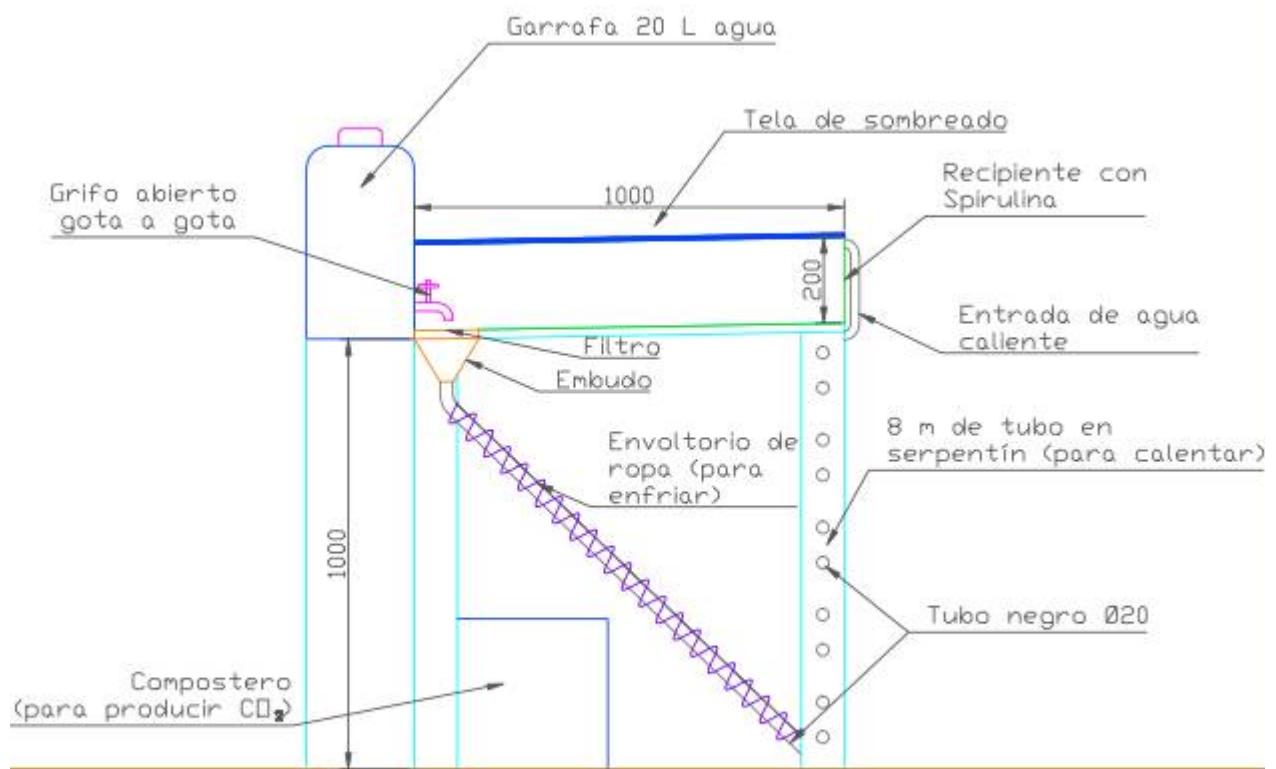


Figura 3.9: Esquema de funcionamiento del sistema de agitación por termosifón

3.3.3 Comparación entre los distintos sistemas de agitación

Tabla 3.2: Comparación de los sistemas de agitación descritos

Tipos de sistema	Coste inicial [€]	Comentarios
Bomba de aire		Simple y eficaz para pequeñas superficies.
Normal	20	
Columna de agua	60	
Bomba de agua	21	No apto para cepas muy helicoidales
Rueda paleta	120	Óptimo para de grandes superficies abiertas
Air-lift	60	Proporciona traslación del medio.
Paneles fotovoltaicos		
Conexión directa DC	120*	Sólo agitación mediante bomba de aire.
Temporizador DC	210*	Adaptable a todo tipo de sistemas.
Conversor DC/AC	270*	Uso de dispositivos AC.
Manual	4	Necesita mucha atención, puede complementar a los anteriores.
Termosifón	Variable	Necesita un diseño especial para cada tipo de recinto y zona geográfica.

*a este coste se le tiene que sumar el coste de los dispositivos utilizados.

3.4. Sistemas para recolectar la biomasa

El método de recolección de biomasa más recomendado para pequeñas cantidades de *Spirulina* (<1kg *Spirulina* fresca) consiste en hacer pasar una parte del cultivo por un filtro (malla de 25-50 µm).

Antes de llegar al filtro que retiene los tricomas de *Spirulina*, se recomienda que el cultivo pase por un tamiz mínimo de 300 µm destinado a interceptar cuerpos extraños como insectos, larvas, hojas, bolas o grumos de *Spirulina*. (Puede ser una tela mosquitera o colador por ejemplo).

El filtro tiene que cumplir las siguientes características:

- No tóxico y/o de calidad alimentaria.
- Espaciado entre hilos de 25-50 µm.
- La biomasa no debe apegarse en él.

La *Spirulina*, en buen estado, tiende hacia la superficie (Jourdan, 2003). Así pues la recolección manual de la capa flotante que se forma (con una concentración de *Spirulina* de 3-6 g/L) permite una mayor velocidad de recolección y se encuentran hasta diez veces menos de atascos en el filtro. Los tricomas helicoidales (variedades tipo Lonar) flotan más rápido que los onduladas (variedades tipo Paracas) o los rectos (variedades diferentes, o evolución según el tipo de cultivo de otra variedad inicial). Sin embargo, no es recomendable recoger la capa flotante en cultivos que no sean 100% helicoidales o que no estén en flotación total; porque aumentarán en el cultivo el porcentaje de las variedades menos flotantes, y probablemente serán las dominantes en el cultivo. La existencia de tricomas de *Spirulina* rectos dificulta muchísimo su recolección.

3.4.1. Tipos de tela en los filtros

Existen muchos filtros que cumplen los requisitos anteriores. Principalmente son telas de unos 100 hilos/cm². Aquí se caracterizan algunas posibles soluciones.

- Filtro de serigrafía: muy costoso y frágil (33 €/m²)
- Nilón: Plana Stretch, no adherente. (3 €/m²)
- Lonas de 50% poliéster 50% algodón (4,15 €/m²)
- Algodón: Habitualmente la biomasa se pega en él. Si no es así, puede ser la solución perfecta. Se puede obtener de ropas viejas. (recuperación)

La funcionalidad (adaptación al prefiltrado, y posterior prensado) el coste y la durabilidad son los principales parámetros para escoger la tela del filtro.

3.4.2. Formas de filtrar

En este apartado se define el proceso de recolección de la biomasa. El proceso se puede realizar de forma manual o mediante la ayuda de una bomba de agua. El medio de cultivo una vez filtrado puede quedar en el propio recinto de cultivo o bien en otro recinto auxiliar.

Existen formas de filtrar donde el medio de cultivo queda en el propio recinto, o bien va a parar a otro recinto. Cuando el medio de cultivo va a parar a otro recinto auxiliar, tiene la ventaja de que este proceso puede servir para purgar una parte del medio; sin embargo, tiene el inconveniente que necesita de un recipiente auxiliar. Los métodos de filtrado en el mismo recinto no requieren de recinto auxiliar, pero no se puede aprovechar el filtrado para realizar la purga del cultivo.

3.4.2.1 Filtrado manual.

El filtrado manual puede realizarse procurando el movimiento al equipo de filtrado, o procurando el movimiento al medio de cultivo. Los sistemas manuales permiten escoger la zona del recinto a filtrar.

Cuando se realiza el filtrado manual procurando el movimiento al equipo de filtrado este tiene que ser ágil y ligero. Un ejemplo de este tipo de filtrado es el de la figura 3.10, un sistema formado por un colador (prefiltro), y una tela de algodón (filtro) sostenido mediante pinzas.

Cuando se realiza el filtrado manual procurando el movimiento al medio de cultivo, este puede ir a parar a un recinto auxiliar o bien en el mismo recinto. El movimiento del medio de cultivo hasta el equipo de filtrado puede realizarse mediante un cubo. El equipo de filtrado se conforma por una estructura y las telas de prefiltrado y filtro.



Figura 3.10: Equipo de filtrado manual

3.4.2.2. Filtrado mediante bomba de agua.

Consiste en una bomba de agua conectada a un filtro en la salida de la bomba, y una tela mosquitera a la entrada de la bomba. Se introduce la bomba así como el filtro en el interior del recinto de cultivo. Se pone en funcionamiento, y al cabo de un tiempo (dependiendo de la cantidad esperada a recolectar) se puede parar el funcionamiento de la bomba y recoger el filtro. En la figura 3.11 se encuentra un esquema de funcionamiento de este sistema.

Este método de filtrado es rápido y adecuado para cantidades superiores a 10 g de *Spirulina* filtrada. Puede ser adaptado para filtrados en el mismo recinto, o bien un recinto auxiliar. Tiene el inconveniente de que es de difícil adaptación en cultivos cerrados.

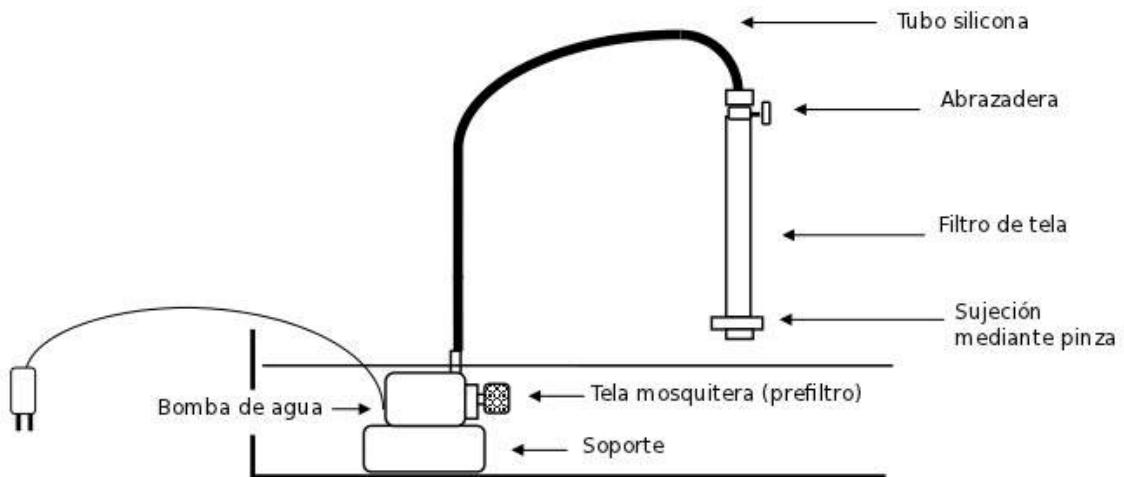


Figura 3.11: Esquema filtrado mediante bomba de agua

3.4.2.3 Filtrado por gravitación

El filtrado por gravitación es recomendado para aquellos cultivos que queden con una altura relativa y con una apertura del recinto en la parte inferior. Consiste situar una apertura en la parte inferior del recinto por donde pueda salir el medio de cultivo que es conducido a un recipiente auxiliar donde se sitúa el filtro.

El filtrado por gravitación siempre necesita de un recipiente auxiliar.

3.4.3 Formas de prensar la biomasa

La biomasa de algas recogida por el filtro habitualmente contiene un 90% de agua. Por eso es necesario prensarla para escurrir al máximo el medio de cultivo líquido aun presente.

Para un consumo directo (tiempo inferior a 30 minutos entre la recogida y el consumo) es suficiente con la presión que se puede ejercer con las manos.

Existe la posibilidad de un breve enjuague con agua fresca antes de la prensa; sin embargo, se tiene que ir con cuidado al realizar dicha operación ya que hay veces que el contacto directo de las células de Spirulina con una salinidad distinta (o más exactamente con diferente fuerza iónica) puede producir la ruptura o decoloración de algunas células. El lavado con agua también tiene el riesgo de causar contaminaciones microbianas: por una parte si el agua utilizada no es pura, y por otra parte porque el bajo pH hace que la biomasa se vuelva más fermentable para su conservación o secado. (Jourdan, 2003)

En el presente proyecto sólo se contempla la posibilidad del consumo de Spirulina fresca o congelada. Con la prensa manual es suficiente para el consumo en dichos estados. Para un secado de *Spirulina* para su conservación durante largo tiempo sería necesario otras formas de prensado, que no son objeto de estudio en el presente proyecto.

3.5 Sistemas para aumentar la productividad y estabilidad del cultivo

En este apartado se detallan sistemas para mejorar la productividad del cultivo, así como métodos para evitar la fotolisis, la foto inhibición y aumentar la estabilidad del cultivo.

Habitualmente el método más económico y simple para aumentar la producción de cultivo es aumentar el tamaño del cultivo. Si esto no puede ser una solución debido a las condiciones de contorno se pueden presentar diferentes formas de aumentar la productividad.

La estabilidad del cultivo aumenta cuando aumenta la profundidad del recinto, debido a que esto reduce los posibles procesos de fermentación.

3.5.1 Aporte de calor

El aporte de calor es válido para aumentar la producción para todos los tipos de cultivo (personal, familiar o comunal).

Los aportes de calor sirven para mantener el cultivo a una temperatura adecuada para su reproducción (ver Figura 2.8).

Para un crecimiento óptimo la *Spirulina* necesita de una oscilación térmica día/noche considerable. Por ello el aporte de calor debe centrarse principalmente a primera hora de la

mañana evitando el aporte de calor durante la noche.

3.5.1.1 Invernadero

La construcción de un invernadero puede ser una buena opción para aumentar la productividad y alargar el período de producción anual.

Se debe tener en cuenta que con la construcción de un invernadero se aumenta la temperatura máxima del recinto por un lado, pero por el otro se disminuye la irradiación solar incidente sobre el cultivo y se limita la disponibilidad de carbono en el aire. Ello puede conducir a que en algunos casos los cultivos en invernadero tengan una menor productividad que los cultivos sin invernadero.

En la tabla 3.3 se presentan los datos obtenidos con el programa *spirpac-f* (Apéndice I) con el que se simula el cultivo con y sin invernadero. Como se puede observar, para las zonas geográficas analizadas y el período analizado, la construcción de un invernadero sin añadir una fuente de carbono alternativa a la del aire atmosférico reduce la productividad. Como ya se ha dicho, las causas son la reducción de carbono disponible y la reducción de la irradiación solar recibida en la superficie de cultivo.

Tabla 3.3: Comparación de la productividad con y sin invernadero sin aporte de carbono suplementario

Zona geográfica	Productividad sin invernadero [g m ⁻² día ⁻¹]	Productividad con invernadero [g m ⁻² día ⁻¹]	Aumento de productividad [%]
Barcelona	3,11	1,64	- 47,3
Madrid	3,11	1,65	- 47,0
Santa Cruz de Tenerife	5,06	2,78	- 45,1

3.5.1.2 Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor pueden ser un método para aportar calor cuando se tenga una fuente próxima de calor excedente de algún proceso.

Se pueden aprovechar sistemas de calefacción existentes, como la calefacción de los hogares. Los intercambiadores de calor se pueden poner como tubos de agua en el fondo del recinto.

3.5.1.3 Red eléctrica

Los calentadores para acuarios son un método de aportar calor al cultivo con la energía eléctrica. Aunque este método no se recomienda debido al gradiente térmico que se experimenta y al elevado coste con relación al calor aportado.

Si se optimiza el movimiento de los tricomas y se temporiza un aporte de calor solamente en las primeras horas de la mañana, puede aumentar significativamente la productividad.

3.5.1.4 Aislantes

El construir un recinto con un buen aislamiento térmico (en caso de cultivos exteriores) es de vital importancia para garantizar una productividad adecuada. Sin embargo, es importante tener en cuenta que *Spirulina* es más productiva cuando existe una oscilación térmica día/noche.

3.5.2 Sombreado

Para prevenir la fotolisis a bajas temperaturas ($T > 10^\circ$) es necesario colocar una malla de sombreado para procurar que el cultivo no reciba la luz solar directamente.

Se pueden utilizar la telas para jardinera negras o verdes que proporcionan un sombreado del 50%. Es importante que la malla deje pasar una parte de la incidencia solar sin difuminarla.

Como se muestra en la tabla 3.4, un 50% de sombreado solo disminuye un 7% la productividad, produciendo un ahorro de agua de alrededor del 22% (dato calculado a partir la interpolación de los datos experimentales). También se muestra que la máxima productividad se produce cuando no hay sombreado (aunque disminuye el contenido de proteínas de *Spirulina*) y que existe un mínimo de consumo de agua alrededor del 65% de sombreado.

Tabla 3.4: Estudio de la productividad y el consumo de agua en función del sombreado (Jourdan, 2003).

% de sombreado	Productividad [$\text{g m}^{-2} \text{día}^{-1}$]	Litro de agua/kg <i>Spirulina</i>
0	14,3	732
50	13,3	N/D
65	N/D	556
75	9,9	623
80	8,4	698

3.5.3 Disponibilidad de luz

De acuerdo con Richmond (2004) la disponibilidad de luz es uno de los factores limitantes más importantes para la producción de microalgas. El aporte de luz artificial u optimizar la luz natural es particularmente interesante en cultivos interiores, o en los módulos de producción que no tienen una alta disponibilidad de la luz solar.

3.5.3.1 Aporte de luz artificial

El aporte de luz se puede realizar con el uso de fluorescentes, bombillas halógenas, tiras de LEDs, fluorescentes LED, o bombillas LED. A continuación se describen los sistemas de aporte de luz más adecuados.

Tiras de LEDs: Según Chih-Yu Wang, et al. (2007) cuando se utiliza una iluminación LED de color rojo es cuando se consigue un mayor ratio de productividad de *Spirulina* y cuando se utiliza el LED de color azul es cuando la productividad es menor. Sin embargo el ratio de flujo lumínico potencia consumida (lumen/watt) cuando se utiliza una luz roja, puede verse reducido muchíssimo (hasta un 30%) con los modelos LED actuales comparados con los LED blancos. Debido a esto si se escoge un aporte de luz mediante tiras de LED se recomienda el uso de LED del modelo SMD 5050, de 60 piezas por metro en color blanco cálido que proporcionan una intensidad lumínica alrededor de los 1080 lm/m² y tienen un consumo de 14,4 W/m. El coste de estas tiras en el mercado español se encuentra situado alrededor de los 16 €/m sin embargo este precio se puede reducir a la mitad cuando se adquiere el producto directamente en China.

Fluorescentes: La opción LED es imprescindible cuando se quiere focalizar la luz, sin embargo si la focalización es prescindible (como en cajas de cultivo aisladas) puede ser una buena opción los fluorescentes de un espectro lumínico blanco cálido y con un elevado ratio entre el flujo lumínico y el consumo.

Un ejemplo de esta forma de aporte de luz es el flourescente KDL-L de 317 cm de la casa Narva que tiene un flujo lumínico de 1800 lm con una potencia de 24 W y un coste al por mayor de 5 € (en tiendas suele ser de 10-15€).

3.5.3.2 Optimización de la luz.

Alrededor de la zona de cultivo se puede incorporar reflectores para optimizar la luz natural, u otras fuentes de luz existentes pudiéndose diferenciar los siguientes tipos de reflectores:

Papel de aluminio: Es el más económico. En los supermercados se puede adquirir rollos de 30 cm por 10 metros por menos de 2 €. Es también el más ligero de todos los materiales listados, debida a su extrema delgadez (inferior a 0,2 mm) y su baja densidad (2700 kg/m³). Consecuentemente de ser tan delgado, es extremadamente frágil y se arruga con facilidad lo cual puede dar problemas en su uso como reflector. Hay que pegarlo muy bien. Es importante señalar que una de sus caras es más reflectante que la otra, por lo que se debe tener en cuenta y usar la cara adecuada.

El papel de aluminio refleja más de un 90% de la radiación visible incidente. Y en el infrarojo el aluminio refleja más del 98% de la radiación. Su punto de fusión es de 660°C.

Plástico reflectante: Existe un reflector plástico que se puede encontrar con el nombre comercial de Mylar cuyo nombre científico es Tereftalato de polietileno. Se puede encontrar en rollos que se usan para papel de regalo o como reflectores para cultivos de plantas en interiores. Tiene un alto poder reflectante (según fabricante, normalmente suele ser del 99% de reflectividad). También se puede encontrar en tiendas de bricolaje como adhesivo espejo, lo cual suele encarecer mucho su precio.

Su principal ventaja es que es difícil de arrugar, y es mucho más resistente a rotura que el papel de aluminio. Es mucho mejor para conseguir superficies reflectoras lisas y con buen acabado. Tiene una reflectividad algo mayor que el papel de aluminio. Sin embargo, al ser plástico a partir de los 100°C empieza a fundirse.

Su precio varía en función de si se vende bajo forma de adhesivo o no. En el caso de no ser adhesivo su coste se encuentra alrededor de los 3 €/m². En el caso de Mylar adhesivo su precio varía desde 5 hasta 18 €/m² dependiendo del fabricante y distribuidor.

Aluminio: Este metal se encuentra a la venta en forma de láminas o planchas de diferentes espesores, desde 0,5 mm hasta más de 5 mm. El tratamiento más común con el que se vende el aluminio es el lacado, sin embargo el lacado hace que sea menos reflectante. Así pues se tiene que tener en cuenta que debe ser aluminio especial brillo espejo. Tienen el inconveniente que suele ser caro (precio superior a 30 €/m²).

Metacrilato espejo: Existe un tipo de metacrilato cuyo tratamiento le confiere las mismas propiedades que un espejo de cristal, con la ventaja de que éste es flexible y más resistente a los golpes. Se puede encontrar con el nombre de metacrilato espejo, o a veces espejo acrílico. Tienen una vida muy prolongada y un acabado liso. Sin embargo tienen un coste muy elevado (precio superior a los 40 €/m²)

Cristal: Es rígido, frágil, pesado y duro. Puede ser una opción si se obtiene cristal de recuperación. De lo contrario se desaconseja su uso debido a la propiedades y al elevado coste.

3.5.4 Aporte de Carbono

El alimento principal de *Spirulina* es el carbono, y su forma habitual es el dióxido de carbono. El método de cultivo más simple, donde el carbono viene del aire atmosférico (que contiene dióxido de carbono extremadamente diluido, del orden de 392 ppm) presenta una productividad modesta y está limitada en condiciones óptimas de crecimiento alrededor de los 4 g/día/m² si la superficie de absorción se limita a la superficie del recinto.

El aporte extra de carbono normalmente va acompañado de un aumento de la productividad ya que el carbono suele ser el factor limitante a la reproducción fotosintética. A continuación se presentan algunos métodos para aportar carbono al cultivo.

3.5.4.1 Aporte de CO₂

En cultivos industriales es habitual introducir CO₂ proveniente de industrias alimentarias para incrementar la productividad. Para introducir CO₂ en cultivos pequeños se puede utilizar los sistemas de aporte de CO₂ de los acuarios. Estos sistemas son perfectos en cuanto a su funcionamiento, ya que permiten añadir CO₂ al medio de cultivo y obtener el valor de pH deseado, sin embargo su precio de instalación es un poco elevado, (alrededor de los 200 €). Una vez instalado el sistema la recarga de la bombona suele costar entre 5 y 7 €/kg de CO₂.

Otra fuente de CO₂ puede ser un combustible que a la vez sirva para calentar el cultivo en caso de necesidad. Desde una simple vela, hasta una estufa de leña. Aunque no se recomienda dicha fuente debido al alto contenido en impurezas.

Para cultivos en exteriores una fuente de obtención de CO₂ puede ser el situar el cultivo de *Spirulina* al lado de un compostero, o un biodigestor que permita añadir el CO₂ producido en el cultivo.

Para el caso de los cultivos situados en interiores, el simple cohabitar entre los humanos y *Spirulina* beneficia a ambos; en este sentido se ve particularmente interesante los cultivos en oficinas, o escuelas, ya que es habitual en estos sitios la pérdida de concentración y fatiga debido a las altas concentración de CO₂ en el aire. Sin embargo, más que un beneficio para el hombre, es un beneficio con el aumento en la productividad de *Spirulina* (Tabla 3.5). Debido a que la producción de CO₂ de un humano es muy superior a las capacidades de absorción de los posibles cultivos situados en dichos espacios. Por ejemplo un humano emite 1140 g al día, mientras que *Spirulina* necesita 1,8 g de CO₂ por gramo producido y teniendo en cuenta que la productividad suele oscilar entre 2 y 10 g/día/m² se necesitaría un cultivo aproximado de 100 m² por humano.

En la tabla 3.5 se presentan los datos obtenidos con el programa spirpac-f (Apéndice I) con el que se simula la influencia de distintas concentraciones de CO₂ en el aire en la productividad de *Spirulina*. Comprobándose un aumento de su productividad a medida que aumenta la concentración de CO₂.

Tabla 3.5: Productividad en función de la concentración de CO₂ en el aire en Barcelona

Concentración CO ₂ [ppm]	Agitación mediante bomba de aire		Agitación mediante bomba de agua	
	Productividad [g/día/m ²]	Δ productividad	Productividad [g/día/m ²]	Δ productividad
300	2,39	-7,0%	2,08	-11,5%
392	2,57	--	2,35	--
500	2,69	4,7%	2,55	8,5%
750	2,88	12,1%	2,78	18,3%
1000	2,95	14,8%	2,90	23,4%

3.5.4.2 Bicarbonato de sodio

La productividad es una función inversa al nivel del pH con el resto de parámetros fijados. Por otro lado la fotosíntesis consume el CO₂ y aumenta así el pH del medio. Así pues se puede añadir bicarbonato de sodio para compensar el CO₂ consumido:



Cuando se reduce el pH añadiendo bicarbonato de sodio se acumula el carbono y aumenta la salinidad del medio hasta que llega un momento en que se tiene que purgar el medio para mantener los niveles de salinidad y pH adecuados. Cuanto más elevada es la productividad más elevado es el consumo de bicarbonato de sodio, que tiene por efecto un aumento en el coste de producción y en los residuos. En la figura 3.12 se muestra una evolución entre el aumento de precio de producción y el aumento de la productividad frente al uso de bicarbonato de sodio. Como puede observarse existe una cantidad óptima (aporte de bicarbonato alrededor de los 3 kg por kg de *Spirulina*) que minimiza los costes de producción.

3.5.4.3 Azúcar

El azúcar constituye otra posibilidad para introducir el carbono en la alimentación (Jourdan, 2003). El consumo teórico, con ausencia de otras fuente de carbono es de 1,11 kg/kg. La masa de azúcar que un recinto es capaz de oxidar en un día es del mismo orden que la producción de *Spirulina*.

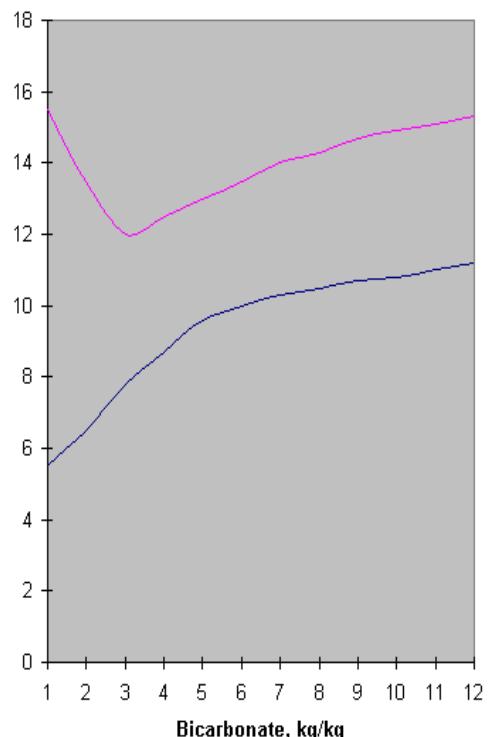


Figura 3.12: Productividad (azul, g/día/m²) y coste de producción (rosa, €/kg) frente al consumo de Bicarbonato de sodio por kg producido (Jourdan, 2003).

Para que el azúcar fermente y produzca el CO₂ a menudo es necesario que el pH sea inferior a 10,8. No se recomienda superar la dosis de 6 gramos de azúcar al día por metro cuadrado de cultivo.

En la tabla 3.6 se presentan los datos obtenidos con el programa spirpac-f (Apéndice I) con el que se simula la influencia en la productividad de diferentes aportes de Carbono.

Tabla 3.6: Comparativa de las productividades con relación al aporte de Carbono.

Aporte de:	Cultivo sin invernadero				Cultivo con invernadero			
	Nada	CO ₂	NaHCO ₃	Azúcar	Nada	CO ₂	NaHCO ₃	Azúcar
Barcelona:	Problemas por fotolisis							
productividad [g/m ² /día]	3,11	4,09	3,44	3,37	1,64	6,85	5,22	3,28
Δ productividad [%]		31	11	8		318	218	100
Consumo [g/g Spirulina]		1,19	2,78	0,16		1,71	5,94	0,63
Madrid:	Problemas por fotolisis							
productividad [g/m ² /día]	3,11	4,27	3,57	3,47	1,65	7,20	5,45	3,35
Δ productividad [%]		37	15	11		336	230	103
Consumo [kg/kg Spirulina]		1,64	2,84	0,19		1,74	5,98	0,64
Tenerife:					Problemas por T muy elevada			
productividad [g/m ² /día]	5,06	7,04	5,75	5,70	2,78	11,39	8,55	5,43
Δ productividad [%]		39	14	13		310	207	95
Consumo [kg/kg Spirulina]		1,88	2,22	0,20		1,76	5,88	0,6

3.5.5 Introducción de arcillas

La introducción de arcillas en el cultivo se ha visto que favorecen la estabilidad e incluso pueden lograr un ligero aumento de la productividad (Planchon y Fuentes, 2003)

Dichas arcillas pueden permanecer en el fondo del recinto. No se ha cuantificado cual puede ser dicho aumento.

3.5.6 Introducción de deflectores.

La introducción de deflectores facilita el intercambio luz/oscuridad en las células de cultivo.

Dicha introducción se contempla principalmente en los recintos abiertos, y según Fox (1999) puede llegar a un aumento de la productividad hasta valores de 30 g m⁻² día⁻¹. A parte de mejorar el intercambio de luz/oscuridad también facilita el intercambio CO₂-O₂ de ahí el gran aumento en la productividad.

CAPÍTULO 4. DISEÑO DE MÓDULOS DE PRODUCCIÓN.

En este apartado se hace una selección de los diferentes procedimientos descritos en el Capítulo 3 para diseñar varios módulos de producción con diferentes objetivos y condiciones de contorno. Los módulos que se van a diseñar y comparar son los siguientes:

- Módulo 1: Cultivo simple.
- Módulo 2: Cultivo para familias en el jardín.
- Módulo 3: Cultivo para una comunidad situado en una terraza.
- Módulo 4: Cultivo en tubos rígidos verticales.
- Módulo 5: Prototipo para cultivo en fotobiorreactor.

De cada módulo se detallan los objetivos, la descripción del módulo, las características de contorno, el estudio económico y las justificaciones técnicas de la solución adoptada.

Para realizar el estudio económico se realizan dos estudios distintos:

- Estudio de la producción: se calcula la producción anual de *Spirulina* en base a la productividad diaria. Para ello se utiliza el programa *Spirpac-f*. Los datos de entrada para el cálculo se encuentran en el Apéndice I.
- Estudio de la amortización: para el cálculo de la amortización se tiene en cuenta la producción anual, el coste de instalación, y el coste de producción. La amortización se expresa como en el coste, €, de cada kilogramo de *Spirulina* producido. El período de amortización depende de cada módulo.

Para el cálculo de la amortización se fija un interés anual del 3% y se sigue la siguiente relación:

$$\text{Amortización} = \frac{\text{Coste inicial} + \sum_{i=1}^{i=n} \text{Coste funcionamiento} \cdot (1+\text{interés})^{(i-1)}}{\text{Producción anual} \cdot n}$$

Siendo n el número de años tenidos en cuenta para el cálculo de la amortización.

El coste de instalación (*coste inicial*) lo compone el material necesario, así como el coste de la instalación de dicho material en caso de requerirse.

El coste de producción (*coste de funcionamiento*) lo compone la mano de obra, la nutrición del cultivo, el consumo eléctrico y el mantenimiento del módulo. Debido a que la producción es para el auto-consumo la mano de obra necesaria para el mantenimiento, recolección, purgas, etc., no se considera como un coste contabilizado en euros. Dicho tiempo se contabiliza para definir el grado de comodidad del usuario del módulo.

4.1 MÓDULO 1: Cultivo simple

4.1.1. Objetivo

El módulo de cultivo simple tiene por objetivo desarrollar un método de producción de *Spirulina* lo más simplificado posible, adaptable en cualquier lugar con un mínimo de superficie disponible y que pueda abastecer una familia.

4.1.2 Descripción del módulo

El recinto de cultivo está compuesto por una piscina infantil de material plástico (PVC). El PVC no ha recibido ningún tratamiento especial más que el tratamiento habitual de los plásticos usado en piscinas infantiles al aire libre. No posee ninguna certificación ni sello de garantía conforme para estar en contacto con productos alimentarios. Antes de utilizarlo como recinto de cultivo es preciso un lavado del mismo con agua sin cloro y vinagre de manzana. Tiene una forma circular que favorece la agitación.

El diámetro de la piscina es de 1,83 m. Las paredes laterales son rígidas con una altura de 38 cm. La profundidad de cultivo recomendada es de 15 cm siendo 30 cm la máxima.

El recinto auxiliar de 40 L se utiliza durante el período de aumento de volumen de cultivo. Una vez terminado dicho período se puede utilizar para realizar la purgas que sean necesarias.

El método para uniformar los tricomas en el cultivo está basado en un sistema de agitación mediante bomba de aire de acuario. El sistema tiene dos bombas de aire con dos salidas cada una donde se conecta el tubo de silicona que se introduce dentro el medio de cultivo. En una salida se conecta el difusor y en la otra no.

Se incorpora un programador analógico para que su funcionamiento sea continuo durante el día, y sólo se active tres veces durante la noche, en períodos de 15 minutos cada vez.

El método de recolección está basado en un método manual sin recinto externo. Para ello se cuenta con un colador y tela de nilón fijada al colador mediante pinzas de tender la ropa.

El recinto está recubierto por una tela de sombreado fijada al recinto principal mediante pinzas de tender la ropa.

4.1.3 Características de contorno

El módulo está diseñado para obtener una producción que pueda abastecer de 2 a 4 personas.

El módulo puede situarse tanto en interiores como exteriores, aunque los cálculos de la producción esperada corresponden a un módulo situado en el exterior.

Debe evitarse que la zona esté transitada por mascotas como perros o gatos u otros animales, que pudieran dañar la estructura.

Los lugares para instalar el módulo pueden ser balcones, terrazas, aulas, habitaciones espaciosas y bien iluminadas, huertos, etc.

El espacio requerido es de 3,2 m².

Es necesario de acceso a la red eléctrica nacional.

El módulo tiene un bajo coste de instalación (73 €), y es posible reducir el coste al utilizar otros materiales para el recinto como pueden ser antiguas bañeras, depósitos de agua, etc.

La alimentación del cultivo puede ser mineral u orgánica.

El tiempo de recolección y prensado se estima en 45 segundos por cada gramo de *Spirulina* recolectada. La recolección diaria puede llegar hasta los 25 g de *Spirulina*, siendo su valor habitual 10 gramos.

El tiempo dedicado a la limpieza de los utensilios después de la recolección, así como la alimentación del cultivo diaria se estima en 3 minutos.

4.1.4 Estudio económico

4.1.4.1 Estudio de la producción:

Se tienen en cuenta tres zonas geográficas de cultivo: Barcelona, Madrid y Santa Cruz de Tenerife.

Para zona de Barcelona la temporada empieza el 1 de marzo con una duración de 245 días

Para la zona de Madrid la temporada empieza el 21 de marzo con una duración de 210 días.

Para la zona de Santa Cruz de Tenerife la temporada se considera continua a lo largo de todo el año.

La superficie de cultivo útil es de 2,63 m².

En la tabla 4.1 se resume el estudio de producción del módulo 1.

Tabla 4.1 Resumen de la producción del módulo 1

	Días de cultivo	Productividad [g/m ² /día]	Producción diaria [g/día]	Producción anual [g]
Barcelona	245	3,27	8,60	2107
Madrid	210	3,15	8,28	1740
Tenerife	365	3,57	9,39	3427

4.1.4.2 Estudio de la amortización:

El período de amortización se calcula en base a 1 año.

La vida útil del módulo se estima en cuatro años, con un mantenimiento anual del 5% del coste de instalación.

El coste de instalación es de 78 €.

El coste de producción es de 24 €/anuales (27 en el caso de Santa Cruz de Tenerife).

Los costes de instalación y producción están detallado en el apartado AV-1 del Apéndice V.

En la Tabla 4.2 se resume el estudio de la amortización para cada zona geográfica.

Tabla 4.2: Resumen de la amortización del módulo 1

	Coste		Coste producción [€/kg Spirulina]	
	Instalación [€]	Funcionamiento [€/año]	Primer año	A partir del segundo año
Barcelona	75	24	47	11
Madrid	75	24	57	14
Tenerife	75	27	30	8

4.1.5 Justificaciones técnicas

4.1.5.1 Recinto

Las dimensiones del recinto son un compromiso entre una producción de *Spirulina* superior a los 8 gramos al día, y que la superficie necesaria no supere las dimensiones de un balcón espacioso, una terraza o un jardín. Por otro lado también se ha considerado el ratio entre el coste del recinto y la superficie de cultivo útil.

Para la elección del tipo de material del recinto, así como para la forma se ha valorado que sea un tipo de recinto disponible con piezas estándar y que no necesite instalación ni montaje.

Con estas consideraciones se ha elegido una piscina infantil con un diámetro que podría oscilar entre 1,5 y 2 metros.

4.1.5.2 Sistema de agitación

Debe ser lo más simplificado, económico y universal posible.

El sistema de agitación tiene que beneficiar el intercambio CO₂-O₂, ya que no se ha previsto la incorporación de sistemas de aporte extra de carbono.

Con estas consideraciones se ha elegido un sistema de agitación mediante bomba de aire, equipada con un difusor de aire y un programador con una salida con difusor y la otra sin difusor.

La salida directa al medio produce unas burbujas de aire más grandes que contribuyen principalmente al movimiento de los tricomas; la salida con difusor ayuda al intercambio CO₂-O₂.

Debido a la superficie (2,63 m²) se ha considerado equipar el módulo con dos bombas de aire; que permitirían que el cultivo siguiese en funcionamiento si se estropease una bomba por causas imprevista.

4.1.5.3 Sistema de recolección

Se ha valorado entre la opción de recolección en el mismo recinto o en un recinto auxiliar. Puesto que la recolección en el mismo recinto necesita de menos materiales y menos movimiento del medio de cultivo (importante si el sistema es manual) y debido a que las purgas no tienen porqué ser muy habituales (debido a que no se alimenta el cultivo con bicarbonato o azúcares) se ha elegido el sistema de recolección en el mismo recinto.

Se ha valorado entre las opciones de un sistema manual o un sistema mediante una bomba de agua; debido a que la cantidad diaria de *Spirulina* recolectada es inferior a 15 gramos (tiempo de recolección inferior a los 10 minutos) se ha elegido un sistema de recolección manual con un colador como prefiltrado y una tela de nilón como filtro.

4.1.5.4 Sistema de sombreado

El sistema de sombreado puede ser prescindible durante algunos períodos del año. Sin embargo se ha considerado necesario incorporar un sistema de sombreado que pueda ser retirado fácilmente, y que no aumente el precio del módulo debido a la estructura de sujeción del sombreado.

Con estas consideraciones se ha elegido un sistema de sombreado de una tela de sombreado sujeta al recinto mediante pinzas para prevenir la fotolisis.

4.1.5.5 Adaptaciones

El módulo se puede adaptar a espacios y/o producciones menores (hasta 1 m² y alrededor de los 4 gramos al día) reduciendo el tamaño del recinto.

Se puede utilizar otro tipo de recinto como antiguas bañeras.

El sistema de recolección se puede semi-automatizar con un sistema de recolección mediante bomba de agua.

4.2 MÓDULO 2: Cultivo para familias en el jardín

4.2.1 Objetivo

El módulo de cultivo para familias en el jardín tiene por objetivo ser ubicado en una zona del jardín, u otro espacio que no disponga de acceso a la red eléctrica para producir *Spirulina*.

4.2.2 Descripción del módulo

Se realiza una excavación de una superficie de 1,8 x 2,5 metros, con una profundidad de 0,4 metros, que supone un total de 1,8 m³ de tierra removida.

Las paredes laterales de la excavación tienen una inclinación de 80° sobre el plano inferior horizontal. De esta manera la base superior es de 1,8 x 2,5 metros y la base inferior es de 1,54 x 2,24 metros.

La excavación se recubre de un lona atóxica utilizada en piscifactorías. Está hecha de poliéster AT y recubierta por PVC por ambas caras. Se suministra con un ancho de 3 metros. Esta lona está en contacto directo con el medio de cultivo.

La lona se fija al suelo mediante varillas roscadas y arandelas de EDPM.

El sistema para uniformar las células consiste en 4 bombas de aire, a dos de las cuales se conectan a la salida del tubo de silicona un difusor de 60 cm.

Las bombas de aire se conectan directamente al panel fotovoltaico de 20 W. No existe ningún tipo de temporizador y/o batería conectados entre el panel fotovoltaico y la placa solar. Las bombas de aire se conectan en serie.

Alrededor del recinto se construye una estructura para sujetar la tela de sombreado y proteger el recinto de posibles animales u otros objetos. Esta estructura se realiza con tubo de riego de PVC de 1/2". Tiene unas dimensiones de 2 x 2,8 x 1 metros.

La estructura de PVC se fija en el suelo mediante grapas que aprovechan la varilla roscada utilizada para fijar la lona plástica en el suelo.

La tela de sombreado se sujeta a la estructura mediante bridas.

El filtrado se realiza en el propio recinto con la ayuda de una bomba de agua 12V.

4.2.3 Características de contorno

El módulo se ha diseñado para abastecer un familia de 2 a 5 integrantes.

El módulo necesita de la adecuación del espacio donde ubicarse, para ello es necesario herramientas y mano de obra para la realización del recinto. Es imprescindible que el suelo del lugar donde se ubique el módulo se pueda excavar.

Las dimensiones del espacio requerido son de 2 x 2,8 metros, que componen una superficie de 5,6 m².

No es necesario de acceso a la red eléctrica, puesto que el módulo obtiene la energía procedente del panel fotovoltaico.

La alimentación del cultivo puede ser mineral u orgánica.

El sistema de recolección está automatizado con una bomba de agua. La recolección máxima puede superar los 40 gramos de *Spirulina*, siendo el valor habitual 14 gramos diarios.

El tiempo dedicado a la limpieza de los utensilios después de la recolección, así como la alimentación del cultivo diaria se estima en 5 minutos.

4.2.4 Estudio económico

4.2.4.1 Estudio de la producción

Se tienen en cuenta tres zonas geográficas de cultivo: Barcelona, Madrid y Santa Cruz de Tenerife.

Para la zona de Barcelona la temporada empieza el 1 de marzo con una duración de 265 días.

Para la zona de Madrid la temporada empieza el 21 de marzo con una duración de 210 días.

Para la zona de Santa Cruz de Tenerife la temporada se considera continua a lo largo de todo el año.

La superficie de cultivo útil es considerada como 4,22 m².

En la tabla 4.3 se resume el estudio de producción del módulo 2 (Apartado A1-3.4 del Apéndice I).

Tabla 4.3: Resumen de la producción del módulo 2

	Días de cultivo	Productividad [g/m ² /día]	Producción diaria [g/día]	Producción anual [g]
Barcelona	245	3,27	13,80	3381
Madrid	210	3,15	12,29	2792
Tenerife	365	3,57	15,07	5499

4.2.4.2 Estudio de la amortización:

El período de amortización se calcula en base a 1 año.

La vida útil del módulo se estima en diez años, con un mantenimiento anual del 3% del coste de instalación.

El coste de instalación es de 355 €.

El coste de producción son de 43 €/año (47 en el caso de Santa cruz de Tenerife).

Los costes de instalación y producción están detallado en el apartado AV-2 del Apéndice V.

En la Tabla 4.4 se resumen las amortizaciones para cada zona geográfica.

Tabla 4.4: Resumen de la amortización del módulo 2

	Coste Instalación [€]	Coste Funcionamiento [€/año]	Coste producción [€/kg Spirulina] Primer año	Coste producción [€/kg Spirulina] A partir del segundo año
Barcelona	355	43	118	13
Madrid	355	43	143	15
Tenerife	355	47	73	9

4.2.5 Justificaciones técnicas

4.2.5.1 Recinto

EL recinto se realiza aprovechando la estructura que supone al realizar una excavación en el suelo. Se ha escogido esta estructura porque es la que tiene un ratio entre el coste y la superficie útil de cultivo menor.

Este tipo de estructura también reporta un aislamiento térmico por los lados siendo un tipo de recinto óptimo para climatologías frías. Sin embargo en este caso no se ha equipado con un invernadero, en el apartado 4.3.5.5 se explican las consideraciones de dicha instalación.

Un recinto excavado en el suelo tiene el inconveniente de la incomodidad que supone operar en él.

El material que recubre la estructura depende del tipo de suelo en que se sitúe el recinto. Se ha escogido un tipo de lona para un suelo sin piedras.

4.2.5.2 Sistema de agitación

Se propone un módulo sin acceso a la red eléctrica nacional, por tanto el método de agitación tendrá que disponer de su propia fuente de energía.

Se ha descartado el sistema de agitación mediante rueda de paletas debido al tamaño del recinto. Ya que dicho tipo de instalación necesitan de recintos más grandes.

También se han descartado los sistemas manuales, por la gran dedicación que supondría, y el sistema por termostifón, debido a la imposibilidad de aplicación en un recinto medio enterrado.

Se ha escogido un sistema mediante bombas de aire, ya que es el método que mayor beneficia el intercambio CO₂-O₂. Este sistema tiene el inconveniente de la poca disponibilidad en el mercado de bombas de aire de 12 V. No obstante se puede sustituir por bombas de agua, aunque tienen el inconveniente de que pueden dañar los tricomas.

El módulo dispone de 4 bombas de aire repartidas en dos lados del recinto

Se ha decidido conectar directamente las bombas de aire al panel fotovoltaico debido a que *Spirulina* sólo necesita de agitación cuando hay iluminación, por tanto una conexión directa proporciona una funcionamiento adecuado.

Sin embargo, se tiene que tener en cuenta que *Spirulina* necesita de una agitación más vigorosa a primera hora de la mañana para homogeneizar la capa flotante. Esto debe ser realizado antes de que el sol ilumine directamente el recinto, sino aumentaría enormemente el riesgo de muerte de tricomas por fotolisis.

4.2.5.3 Sistema de recolección

El sistema de cultivo en el jardín puede proporcionar cantidades relativamente grandes de *Spirulina* a recolectar (>100 g spirulina fresca). Como se ha dicho anteriormente, el recinto se encuentra excavado en el suelo, y este hecho aumenta la incomodidad del usuario a la hora de recolectar.

Debido a estos factores se ha decidido incorporar un sistema de recolección semi-automatizado con filtrado mediante bomba de agua en el propio recinto.

4.2.5.4 Sistemas auxiliares.

Se ha decidido incorporar una estructura que a la vez sirva para proteger el recinto de posibles objetos que lleguen a él, y para sujetar la tela de sombreado.

Debido a la ubicación del módulo se ha considerado necesario proteger el módulo de animales, hojas de los árboles próximos, pelotas, niños, etc., puesto que puede ser fácil que alguno de estos objetos o los niños entren en contacto con el recinto.

La tela de sombreado se instala principalmente para prevenir la fotolisis.

4.2.5.5 Otras consideraciones y posibles adaptaciones.

Si el suelo fuese pedregoso sería necesario colocar algún tipo de acolchado entre la lona y el suelo como pueden ser cartones, arena, etc.

Una forma de aumentar la productividad del módulo sería aumentar la inclinación de las

paredes laterales del recinto, sin embargo, se debe tener en cuenta que este aumento de la productividad comporta un descenso de la simplicidad de la producción, incrementando el riesgo de fermentaciones ácidas en el momento de la adición de nutrientes al cultivo.

Para climas fríos sería interesante valorar la incorporación de una lona plástica transparente en la estructura, para crear el efecto invernadero y aumentar la temperatura del recinto. Si así se procede se tendría que tener en cuenta la disponibilidad de carbono para el cultivo. Una forma sencilla de cubrir este aporte sería añadir bicarbonato al cultivo, que tiene el inconveniente de necesitar más purgas; otra opción sería aprovechar la entrada de aire que posee el tipo de bomba utilizado en este módulo y situarlo fuera del invernadero.

Si se optase por un sistema de agitación mediante bombas de agua, sería necesario incluir un temporizador entre el panel fotovoltaico y la bomba de agua para disminuir la agitación que pudiera dañar los tricomas, y para aumentar la vida útil de la bomba de agua.

En el caso de que estuviese disponible el acceso a la red eléctrica, sería interesante valorar la posibilidad de cambiar el sistema de agitación por uno con acceso a la red eléctrica mediante bombas de aire.

4.3 MÓDULO 3: Cultivo para una comunidad situado en una terraza

4.3.1 Objetivo

El módulo de cultivo para una comunidad en una terraza tiene por objetivo aprovechar el espacio de las terrazas urbanas colectivas para la producción de *Spirulina*.

4.3.2 Descripción del módulo

El recinto tiene una superficie de 8 m². Las dimensiones del recinto son 2 m de ancho, 4 m de largo y 0,4 m de alto.

La estructura del recinto de cultivo está realizado con piezas metálicas componibles con una longitud de 2 m cada pieza.

La estructura no necesita de ningún anclaje en el suelo, es suficiente con el peso de la misma estructura y el cultivo.

En la parte central del recinto se sitúa un lomo realizado por bloques de hormigón. Este lomo tiene una longitud de 3 metros, y permite una mejor agitación del cultivo.

La estructura del recinto se recubre de una tela plástica de uso en piscifactorías de 3 m de ancho. Las juntas de esta tela plástica se realizan con silicona selladora, y donde sea posible con tornillos y arandelas EPDM.

La estructura del invernadero está realizada con tubería de PVC para riego de 1/2". Esta estructura está fijada en el suelo mediante grapas y tornillos.

El recubrimiento de la estructura para el invernadero se realiza con una lona plástica polietileno de 200 micras de grosor.

El sistema para uniformar los tricomas se realiza mediante una rueda de paletas.

El sistema de filtrado se realiza con la ayuda de una bomba de agua en el propio recinto.

La profundidad de cultivo recomendada es de 15 cm.

El sistema de aporte de carbono se sitúa en la parte posterior de la rueda de paletas. Consiste en un sistema automatizado que aporte carbono en función del nivel de pH del medio. Este sistema actuará solamente por las mañanas.

El método para uniformar los tricomas en el cultivo está basado en un sistema de agitación mediante bomba de aire de acuario. Se incorpora un programador analógico para que su funcionamiento sea continuo durante el día, y sólo se active tres veces durante la noche, en períodos de 15 minutos cada vez.

El método de recolección está basado en un método manual sin recinto externo. Para ello se cuenta con un colador y tela de nilón fijada al colador mediante pinzas de tender la ropa.

El recinto está recubierto por una tela de sombreado fijada al recinto principal mediante pinzas de tender la ropa.

4.3.3 Características de contorno.

El módulo está diseñado para obtener una producción que pueda abastecer grupos de 10 a 15 personas.

El módulo debe situarse en exteriores. Los materiales utilizados han sido escogidos para facilitar la instalación en terrazas comunitarias. Se ha utilizado piezas estándar componibles mediante simples fijaciones con tornillos o silicona, para que la instalación quede lo más simplificada posible.

Las dimensiones del espacio requerido son de 3 x 4 metros, con una superficie de 12 m².

Es necesario de acceso a la red eléctrica nacional.

La alimentación del cultivo puede ser mineral u orgánica.

El sistema de recolección está automatizado con una bomba de agua. La recolección máxima puede superar los 200 gramos de *Spirulina*, siendo el valor habitual 50 gramos diarios.

El tiempo dedicado a la limpieza de los utensilios después de la recolección, así como la alimentación del cultivo se estima en 5 minutos al día.

4.3.4 Estudio económico

4.3.4.1 Estudio de la producción:

Se tienen en cuenta tres zonas geográficas de cultivo: Barcelona, Madrid y Santa Cruz de Tenerife.

Para zona de Barcelona la temporada empieza el 1 de marzo con una duración de 265 días

Para la zona de Madrid la temporada empieza el 1 de marzo con una duración de 255 días.

Para la zona de Santa Cruz de Tenerife la temporada se considera continua a lo largo de todo el año.

La superficie de cultivo útil es considerada como 7,52 m².

En la tabla 4.5 se resume el estudio de producción del módulo 3 (apartado A1-3.4 del Apéndice I).

Tabla 4.5: Resumen de la producción del módulo 3

	Días de cultivo	Productividad [g/m ² /día]	Producción diaria [g/día]	Producción anual [g]
Barcelona	265	7,70	57,90	15344
Madrid	255	8,76	65,88	16798
Tenerife	365	9,67	72,72	26542

5.3.4.1 Estudio de la amortización:

El período de amortización se calcula en base a 1 año.

La vida útil del módulo se estima en diez años, con un mantenimiento anual del 2% del coste de instalación.

El coste de instalación es de 914 €.

El coste de producción son de 352 €/año (509 en Santa Cruz de Tenerife).

Los costes de instalación y producción están detallado en el apartado AV-3 del Apéndice V.

En la Tabla 4.6 se resumen las amortizaciones para cada zona geográfica.

Tabla 4.6 Resumen de la amortización del módulo 3

	Coste Instalación [€]	Coste Funcionamiento [€/año]	Coste producción [€/kg Spirulina]	Periodo amortización	A partir del segundo año
Barcelona	914	389		85	25
Madrid	914	389		78	23
Tenerife	914	583		56	22

4.3.5 Justificaciones técnicas

4.3.5.1 Recinto

El recinto está previsto que esté instalado en terrazas. Debido a esto se ha previsto que el recinto esté constituido por material fácilmente componible disponible en el mercado con piezas estándar. Así el módulo de cultivo es perfectamente desmontable cuando así sea necesario. Se ha desestimado la opción de realizar obras, puesto que no todas las terrazas pueden tener las condiciones para que eso sea realizado, y no es fácilmente desmontable. Se ha desestimado la opción de estructura de madera debido al mantenimiento que ésta supondría.

Las dimensiones del recinto quedan limitadas por el espacio disponible en la terraza. Debido a esta limitación se ha propuesto un módulo con un recinto relativamente pequeño, pero con una alta productividad diaria.

Para la lona de plástico se ha valorado el uso de lona de calidad alimentaria, o lona de calidad atóxica. Finalmente se ha escogido la lona de calidad atóxica, debido a su menor precio en comparación con la lona de calidad alimentaria (entre 4 y 5 veces más barata) y debido a que la lona atóxica para piscifactorías se suele suministrar en un ancho de 3 metros, una medida adecuada para las características del recinto, simplificando así la adaptación y pegado de la lona.

Se ha incorporado un lomo en el medio del recinto para facilitar la agitación del mismo. Este lomo de 2,8 metros de longitud se realiza mediante bloques de hormigón de 40x20x20 cm y posteriormente se recubre con la tela de plástico. Se ha escogido los bloques de hormigón porque no necesitan de mortero para ser instalados, y a la vez proporcionan un apoyo para el sistema de agitación.

De esta manera se ha diseñado un recinto con capacidad de 1116 L.

4.3.5.2 Sistema de agitación

Se ha descartado el sistema de agitación mediante bombas de agua ya que pueden romper los tricomas más ondulados. También se han descartado los sistemas manuales, por la gran dedicación que supondría, y el sistema por termosifón, debido a la magnitud del cultivo y la poco universalidad que esto supondría.

El recinto del módulo es de un tamaño un poco ambiguo por lo que se refiere al sistema de agitación óptimo.

Un sistema de agitación mediante bombas de aire, necesitaría de bastantes bombas de aire para funcionar (alrededor de 1 bomba de 3 W por cada m² de cultivo), y a la vez facilita la absorción del carbono de la atmósfera.

Finalmente, como se ha equipado el módulo con un sistema de aporte de carbono extra, se ha escogido el sistema mediante rueda de paletas, que aunque no es el sistema óptimo para cultivos con recintos inferiores a 10 m² es un sistema muy práctica porque a la vez que uniforma los tricomas proporciona una repartición de nutrientes por todo el cultivo.

4.3.5.3 Sistema de recolección

La cantidades diarias a recolectar suelen ser elevadas (alrededor de los 55 gramos diarios). Esto implica un sistema de recolección semi-automatizado como el que se ha descrito en el módulo: un sistema de recolección mediante bomba de agua en el propio recinto.

4.3.5.4 Sistemas auxiliares.

El módulo viene con tres sistemas auxiliares: aporte de calor mediante un invernadero, sombreado y aporte de CO₂.

El invernadero es especialmente interesante en climas fríos que tienen una fuerte irradiación solar. El invernadero ayuda de esta forma a aumentar la productividad diaria y a alargar la temporada de recolección en ciertos casos.

El invernadero puede contribuir a un aumento de la productividad; sin embargo, como se ha visto en el apartado 3.5 si solamente se instala el invernadero la productividad suele disminuir debido a dos factores: la reducción de la irradiación solar en el cultivo, y la menor disponibilidad de CO₂ en el aire atmosférico. Por eso, también se ha instalado un sistema de aporte de carbono complementario.

La tela de sombreado se instala para prevenir de la fotolisis, y en este caso también para prevenir de la foto-inhibición.

4.3.5.5 Otras consideraciones y posibles adaptaciones.

Si la disponibilidad de espacio fuese más elevada; sería interesante valorar si con un aumento de la zona de cultivo se podrían suprimir los sistemas auxiliares del módulo.

Con el sistema de agitación mediante rueda de paletas se puede agitar superficies de hasta 30 m² sin tener que realizar ninguna variación en el sistema descrito.

Para suprimir los sistemas auxiliares se tiene que tener en cuenta que:

- El invernadero es más necesario cuanto más fría es la climatología local.
- Si se suprime el aporte de carbono manteniendo la instalación del invernadero, la producción disminuirá.

El módulo se ha diseñado con un sistema de aporte de carbono basado en CO₂ (coste de instalación alrededor de los 300 € y coste de producción extra alrededor de los 5 €/kg producido). Sin embargo, se podría substituir por un sistema de aporte de carbono mediante bicarbonato. Con este sistema se disminuirían mucho los costes (sin coste de instalación y con un coste producción similar). El inconveniente del aporte de carbono mediante bicarbonato es que necesita de las purgas (mensuales o bimestrales) que implican una infraestructura adecuada, (recinto extra, desagüe próximo) y también una dedicación extra por parte del cultivador; a parte de los residuos generados.

Para aumentar la comodidad en el momento de recolección, se podría incorporar un sistema de prensado.

4.4 MÓDULO 4: Cultivo en tubos rígidos verticales

4.4.1 Objetivo

El módulo de cultivo en tubos rígidos tiene por objetivo ser un tipo cultivo por lotes que aproveche las paredes de los balcones y/o terrazas como zonas de cultivo.

4.4.2 Descripción del módulo

El recinto de cultivo consta de cuatro (o tres, dependiendo de la zona) tubos rígidos independiente y en posición vertical con un Ø_{ext} de 80 mm y una longitud de 2 m cada uno.

Cada tubo rígido está fijado a la pared a una distancia de 5 cm mediante un sistema de abrazaderas isofónicas. Preferentemente la pared estará encarada hacia el sur.

El tubo rígido está hecho con polimetilmetacrilato (PMMA) con la certificación D.M. 21/3/1973 para usos alimentarios.

La parte inferior del tubo está sellada mediante una tapón de PVC, y reposa en el suelo, mientras que la parte superior está sellada con una tela mosquitera, permitiendo un contacto directo con la atmósfera.

El sistema para uniformar los tricomas consiste en una única bomba de aire. La bomba de aire reposa en una balda situada a la misma altura que la parte superior del tubo rígido.

La bomba de aire conecta con la parte inferior de cada tubo de PMMA con un tubo de silicona

en un sistema de conexión en paralelo.

El filtrado se realiza mediante la apertura del grifo situado a un cuarto de la altura total del tubo rígido. El líquido pasa a través del filtro y va a parar a un recinto externo con capacidad de 20 litros.

Se coloca una única tela de sombreado que cubre los cuatro tubos rígidos. La tela se fija en la pared por la parte superior, quedando suelta por la parte inferior.

Se coloca una tela reflectora en la pared del balcón para aumentar la luz incidente sobre el cultivo.

4.4.3 Características de contorno

El módulo está diseñado para obtener una producción que pueda abastecer de 1 a 2 personas.

Se trata de un tipo de cultivo por lotes que facilita el control de los cultivos, y reduce las posibilidades de que la totalidad del cultivo se vea afectado por contaminaciones.

Al ser un cultivo con un volumen de cultivo muy reducido (alrededor de los 8 litros por lote) reduce muchísimo el período de aumento de volumen del medio de cultivo, con lo cual aumenta la comodidad para el usuario.

El recinto debe estar fijado en una pared, preferentemente encarada hacia el sur. La superficie de pared necesaria es de 2,2 m², 2,2m de altura y 1 m de longitud.

La instalación del módulo requiere de herramientas (taladro y pistola de silicona) y personal calificado para realizar la instalación.

Es necesario el acceso a la red eléctrica nacional.

El módulo tiene un coste aproximado de 423 € (345 € en el caso de Santa Cruz de Tenerife).

La alimentación del cultivo aconsejada es la mineral, pudiendo ser orgánica si se tiene una gran precaución y cuidado.

El tiempo de recolección y prensado se estima en 20 segundos por cada gramo de *Spirulina* recolectada. La recolección por cada lote puede llegar hasta los 6 gramos de *Spirulina* siendo 4 gramos la recolección habitual.

El tiempo dedicado a la limpieza de los utensilios después de la recolección, así como la alimentación del cultivo diaria se estima en 3 minutos.

4.4.4 Estudio económico

4.4.4.1 Estudio de la producción:

Se calcula la productividad diaria y la producción anual del módulo con el programa *spirpac-f*. Debido a las particularidades del módulo 4, se ha tenido que realizar unas hipótesis para adaptar el programa *spirpac-f* al cálculo de la productividad. Las hipótesis realizadas se encuentran detalladas en el Apéndice I, apartado AI-2.1.

Para las regiones de Barcelona y Madrid el módulo se compone de cuatro lotes. Sin embargo, para la zona de Santa Cruz de Tenerife el módulo se compone de tres lotes.

La temporada se considera continua a lo largo de todo el año.

Se tiene en cuenta que cada lote tiene una superficie útil de cultivo de 0,3 m².

En la tabla 4.7 se resume el estudio de producción del módulo 4 (Apartado AI-3.5 del Apéndice I).

Tabla 4.7 Resumen de la producción del módulo 4

	Nº de lotes	Productividad [g/m ² /día]	Producción diaria [g/día]	Producción anual [g]
Barcelona	4	3,31	3,97	1450
Madrid	4	2,81	3,37	1231
Tenerife	3	4,77	4,29	1567

4.4.4.2 Estudio de la amortización:

El período de amortización se calcula en base a 2 años.

La vida útil del módulo se estima en 10 años, con un coste de mantenimiento anual del módulo del 3% del coste de instalación.

Los costes de instalación son de 426 € (347 en Santa Cruz de Tenerife).

Los costes de producción son de 72 €/año (68 en Santa Cruz de Tenerife).

Los costes de instalación y producción están detallado en el apartado AV-4 del Apéndice V.

En la Tabla 4.8 se resumen el cálculo de las amortizaciones para cada zona geográfica.

Tabla 4.8: Resumen de la amortización del módulo 4

	Coste		Coste producción [€/kg Spirulina]	
	Instalación [€]	Funcionamiento [€/año]	Periodo amortización	A partir del tercer año
Barcelona	420	54	183	37
Madrid	420	54	215	44
Tenerife	343	54	144	35

4.4.5 Justificaciones técnicas

4.4.5.1 Recinto

El recinto tiene que tener un ratio elevado de superficie de cultivo útil y superficie utilizada, por eso se ha escogido la opción de tubos como recinto de cultivo.

Las dimensiones del recinto son un compromiso entre la cantidad máxima de *Spirulina* recolectada y la superficie necesaria para el cultivo. En este sentido se ha escogido un tipo de recinto que pueda alcanzar una producción de *Spirulina* alrededor de los 4 gramos por recinto,

y que la superficie necesaria no supere las dimensiones habituales de un balcón espacioso, una terraza o un jardín. En este sentido se ha limitado la altura máxima de los recintos a 2 metros, ya que es preciso introducir el medio de cultivo filtrado cada vez que se hace la recolección por la parte superior, y una altura superior a los 2 metros dificultaría este proceso. Por otro lado, el diámetro del tubo en cultivos en biorreactores, como se ha expresado en la bibliografía, no debe sobrepasar en ningún caso los 10 cm.

Se ha valorado la disposición de los tubos, así como la forma del tubo. Se ha optado por el uso de tubos rígido porque facilitan el anclaje frente a los tubos flexibles. Se ha optado por un único tubo ya que para una producción de 4 gramos por lote, sólo es necesario un simple tubo rígido, con las medidas estándar. Se ha optado por una disposición vertical de los tubos ya que permiten una fácil filtración por gravitación, y permiten tener una zona en contacto directo con la atmósfera (a diferencia de la disposición en tubos horizontales). Las dimensiones de tubos en vertical quedan limitados rápidamente por la altura; sin embargo, una altura de 2 metros permite el llenado por la parte superior y permite una recolección de 4 gramos por lote.

Para la elección del tipo de material del recinto, se ha valorado la calidad de éste y la no degradación con los UV.

Con estas consideraciones se ha realizado un cultivo por lotes en tubos rígido de PMMA con certificación D.M. 21/3/1973 y con un volumen de 8,14 L.

4.4.5.2 Sistema de agitación

Se ha escogido una bomba de aire ya que es el que proporciona un intercambio de CO₂-O₂ más elevado. En este caso es de extrema importancia ya que la superficie en contacto directo con la atmósfera se reduce a la cara superior del recinto (0,004 m² por lote).

La bomba de aire tiene que tener una presión de salida superior a los 0,02MPa, y un caudal elevado para proporcionar el aporte de carbono necesario.

Con estas consideraciones se ha elegido una bomba con un caudal elevado (1800 L/hora) y con una presión que pueda superar los dos metros de columna de agua (presión >0,025 MPa).

4.4.5.3 Sistema de recolección

El módulo ha estado diseñado para una recolección por gravitación fuera del recinto. Este método es muy práctico y rápido.

El medio de cultivo, una vez filtrado, debe ser introducido otra vez en el recinto. Este proceso debe realizarse a mano, así se evita el uso de bombas de agua.

4.4.5.4 Sistema de sombreado

El sistema de sombreado puede ser prescindible durante algunos períodos del año. Sin embargo, se ha considerado necesario incorporar un sistema de sombreado que pueda ser retirado fácilmente, y que no aumente el precio del módulo debido a la estructura de sujeción del sombreado.

Con estas consideraciones se ha elegido un sistema de sombreado de una tela de sombreado sujetada en la parte superior a la pared mediante grapas quedando suelta por la parte inferior.

4.4.5.5 Sistema de aporte de luz

Se ha considerado situar los tubos a una distancia tal que permitan ser iluminados por todos los ángulos. De esta manera se ha colocado una tela reflectante mylar en la pared, y los tubos

se sitúan a 5 cm de distancia fijados con la abrazadera isofónica.

4.4.5.6 Otras consideraciones y posibles adaptaciones.

No se ha considerado necesario un aporte de carbono ya que con el tipo de agitación escogido es suficiente para facilitar el intercambio CO₂-O₂.

Para aumentar la comodidad del usuario se podría incorporar una bomba de agua para introducir el medio filtrado en el recinto. Sin embargo no se ha incluido este sistema debido a que necesitaría de una limpieza diaria.

En caso de que la productividad aumente o disminuya se puede reducir o aumentar el número de lotes.

En caso de querer aumentar la producción, se tendría que realizar una adaptación de los recintos, conectando dos o más recintos por la parte inferior.

El coste de instalación puede ser reducido (alrededor de 180 €) si se utilizan materiales recuperados (envases PET) para realizar los recintos. También puede verse reducido realizando la instalación uno mismo (alrededor de los 10 €).

El tubo utilizado puede ser de menor diámetro, en esta opción se tiene que tener en cuenta que la cantidad máxima recolectada puede ser inferior a la ración mínima de *Spirulina*. Cuando se escogen longitudes superiores a los dos metros se puede formar un recinto en forma de U con un sólo grifo, para facilitar la introducción del medio de cultivo por la parte superior.

4.5 MÓDULO 5: Prototipo para cultivo en fotobiorreactor (PBR)

4.5.1 Objetivo

El módulo de cultivo en fotobiorreactor tiene por objetivo ser un módulo universal para producir *Spirulina* en el interior de los inmuebles.

El objetivo del presente prototipo es sentar las bases de diseño para realizar las pruebas experimentales que determinen el módulo de producción óptimo. Por lo tanto, en este Proyecto solo se presentan el diseño y los costes de instalación y funcionamiento del módulo 5, ya que actualmente se encuentra en periodo de construcción y no se sabe la producción del mismo.

4.5.2 Descripción del módulo

A diferencia de los otros módulos, el cultivo en PBR es un prototipo que necesita de pruebas experimentales para alcanzar la óptima producción.

A continuación se describe el prototipo propuesto.

El módulo consta de seis partes diferenciadas: la estructura del módulo, el fotobiorreactor, el depósito de cultivo, el sistema de iluminación y el sistema de agitación y traslación de los tricomas.

La estructura del módulo está compuesta por diez varillas roscadas y dos tablones de madera rectangulares.

El tablón situado en la parte superior tiene unas dimensiones de 330 x 534 x 10 mm. El tablón

situado en la parte inferior tiene unas dimensiones de 370 x 600 x 10 mm. Ambos tablones son de contraplacado.

Cuatro varillas exteriores principales (M-6) de 40 cm de longitud se fijan en cada una de las esquinas de los tablones guardando una distancia entre ambos tablones de 34 cm y se apoyan en el suelo mediante una tuerca hexagonal de sombrerete.

Dos varillas exteriores (M-3) de 36 cm de longitud se sitúan en la mitad de los laterales, a una distancia de 1 cm del borde del tablón.

Cuatro varillas interiores (M-6) de 30 cm de longitud se sitúan en el interior de la chapa inferior a una distancia de 13 cm de cada esquina.

En la parte superior de la estructura se sitúa el depósito de 25 L, las bombas de aire, y el control del sistema eléctrico.

Entre los dos tablones se sitúan el fotobiorreactor y el sistema de iluminación.

En los tablones de madera se han hecho las siguientes perforaciones:

- Cuatro perforaciones ($\varnothing=6$ mm) para las varillas exteriores principales.
- Dos perforaciones ($\varnothing=6$ mm) para las varillas interiores.
- Dos perforaciones ($\varnothing=6$ mm) para la varillas exteriores situadas a la mitad de los laterales (sólo en el tablón inferior).
- Dos perforaciones ($\varnothing=33$ mm) para las conexiones entre el depósito y el fotobiorreactor. (sólo en el tablón superior).
- Una perforación ($\varnothing=4$ mm) para pasar el cableado del sistema de iluminación (sólo en el tablón superior)

Desde la parte inferior de la estructura, enroscado a las cuatro varillas exteriores, y hasta alcanzar la parte superior se sitúa el PBR. Este PBR está compuesto por 15 metros de tubo flexible de calidad alimentaria con $\varnothing_{ext}= 38$ mm. El tubo da un total de 9,3 vueltas, alcanzando una altura de 342 mm.

El depósito de 25 L cuenta con las siguientes conexiones:

- Entrada principal del medio de cultivo una vez filtrado ($\varnothing=90$ mm).
- Grifo situado en la parte inferior del depósito para filtrar el medio.
- Una apertura ($\varnothing=33$ mm) en la parte superior del depósito para la manguera flexible que conecta con el inicio del circuito del fotobiorreactor.
- Una apertura ($\varnothing=33$ mm) en la parte media del depósito para la manguera flexible que proviene del final del circuito del fotobiorreactor.
- Una apertura ($\varnothing=6$ mm) en la parte superior del depósito para el tubo de silicona que proviene de la bomba de aire.

El sistema de agitación principal consiste en un sistema de bombeo mediante bomba de aire comprimido (air-lift pump) el cual sirve para aportar movimiento a los tricomas desde el depósito hasta el fotobiorreactor a la vez que facilita el intercambio O₂-CO₂.

Para aumentar la rapidez en el movimiento de los tricomas, se instala una bomba de aire auxiliar conectada con la parte media y la parte inferior del fotobiorreactor.

El sistema de iluminación se compone por dos circuitos independientes formados por dos

tiras LED. El modelo LED utilizado es el SMD 5050 color blanco caliente del fabricante Epistar. Se instalan dos circuitos de 2,5 metros cada uno. Cada circuito se conecta a un transformador, y ambos se sitúan en la parte inferior de la estructura inferior.

El filtrado se realiza por gravedad mediante la apertura del grifo del depósito de 25 L. El líquido pasa a través del filtro y va a parar a un recinto externo con capacidad de 20 litros.

El sistema, sin medio de cultivo, tiene un peso aproximado de 17,41 kg. Con el medio de cultivo el peso puede aumentar hasta los 51 kg.

4.5.3 Características de contorno

El módulo está diseñado para producir *Spirulina* en los interiores de las casas y obtener una producción que pueda abastecer de 1 a 3 personas.

A diferencia de los otros módulos está diseñado para ser adquirido con todos los materiales reunidos y adaptados. Los precios se refieren a los precios de distribuidores.

Se puede adaptar a pequeñas oficinas, aulas, o espacios públicos muy concurridos para favorecer el crecimiento de *Spirulina*, a la vez que contribuye simbólicamente a disminuir las concentraciones de CO₂. También puede ser situado en los exteriores cuando las condiciones atmosféricas favorezcan la producción.

El espacio requerido por el módulo es de 60 x 37 x 84 cm.

Cuando se sitúe el cultivo en interiores se tiene que tener en cuenta el ruido producido por las bombas de aire.

Es necesario el acceso a la red eléctrica.

El módulo está diseñado para ser producido en serie.

El módulo tiene un coste aproximado de 305 €.

La alimentación del cultivo aconsejada es la mineral, pudiendo ser orgánica si se tiene una gran precaución y cuidado.

El tiempo de recolección y prensado se estima en 20 segundos por cada gramo de *Spirulina* recolectada. La recolección puede llegar hasta los 14 gramos de *Spirulina* siendo desconocido el valor de recolección media.

El tiempo dedicado a la limpieza de los utensilios después de la recolección, así como la alimentación del cultivo diaria se estima en 3 minutos.

4.5.4 Estudio económico

4.5.4.1 Estudio de la amortización:

Los costes del módulo 5 se calculan en base a productos adquiridos directamente al fabricante o distribuidor oficial.

El período de amortización se calcula en base a 2 años.

La vida útil del módulo se estima en diez años, con un mantenimiento anual del 3% del coste de instalación.

Los costes de instalación y producción se han basado en un prototipo con tiras LED y dos bombas de aire con una producción entre 1 y 3 kg/año.

Los costes de instalación son de 305 €.

Los costes de producción pueden variar de 35 a 82 €/kg.

Los costes están detallados en el apartado AV-5 del Apéndice V.

El cálculo de la amortización no se puede saber debido a que se desconoce la productividad teórica del módulo. Sin embargo, en la tabla 4.9 se ha calculado la amortización del módulo con tres hipotéticas producciones anuales.

Tabla 4.9: Amortización del módulo 5

Producción anual	Coste		Coste producción [€/kg Spirulina]	
	Instalación [€]	Funcionamiento [€/año]	Periodo amortización	A partir del tercer año
1 kg	305	83	236	83
2 kg	305	94	124	47
3 kg	305	106	87	35

4.5.5 Justificaciones técnicas

4.5.5.1 Diseño general

Se propone un diseño que pueda ser adaptado en los interiores de los inmuebles. Para ello debe ser un recinto con un ratio de producción/espacio elevado, ya que habitualmente en los interiores de los inmuebles no se dispone de mucho espacio.

Por otra parte debe estar equipado por un sistema de iluminación complementario a la luz que pueda haber en la habitación, ya que *Spirulina* necesita de 3000 lux para empezar a multiplicarse.

Debe ser un sistema que se pueda transportar. Para que así se pueda escoger entre que el cultivo esté situado en el interior, recomendado en invierno, y que a la vez pueda ser transportado al exterior en verano para aprovechar la luz natural y reducir los costes de producción.

Se propone un módulo de producción universal, que pueda ser instalado en todos los inmuebles, con la máxima higiene y salubridad posibles, a la vez que la comodidad para el usuario sea muy elevada.

Se propone que este módulo sea fabricado en serie, reuniendo todo el material y adecuando las piezas que sean necesarias en un sitio, para terminar de ser montado y puesto en funcionamiento en el sitio donde se produzca *Spirulina*.

4.5.5.2 Estructura y recinto

La madera de contraplacado de pino es apta para el uso en exteriores. Se ha optado por este material ya que responde perfectamente a las necesidades del módulo, es fácil de conformar, ligero, a la vez que proporciona un acabado superior que otro tipo de material similar como podría ser una estructura metálica.

La superficie de la estructura se ha realizado en base a una anchura igual al diámetro del depósito de 25 L. Para las dimensiones del largo de la estructura se ha escogido un longitud que cumpliera la relación áurea (1,618) con la anchura.

Se ha escogido un depósito de 25 L porque es el que ofrece unas dimensiones exteriores y una capacidad adecuada para realizar un filtrado superior a los 10 gramos. El tipo de depósito seleccionado es el que ofrecía una apertura mayor, en este caso 9 cm.

Para el tubo utilizado en el PBR se ha tenido en cuenta lo expresado en el epígrafe 2.3.2.5; para escoger el diámetro del tubo, se ha hecho una comparación con tres tipos de tubo. En la tabla 4.10 se resumen las características de los tubos utilizados.

Así pues se ha escogido el tubo con un diámetro interior de 30 mm con el sello FDA.

Tabla 4.10: Comparación diferentes diámetros de tubo.

\varnothing_{int} [mm]	\varnothing_{ext} [mm]	Volumen [L/m]	Superficie [m^2/m]	Coste [€/m]	Coste/superficie [€/ m^2]
25	33	0,49	0,08	5,08	64,72
30	38	0,71	0,09	5,89	62,49
38	47	1,13	0,12	8,06	67,52

Es necesario la adecuación de las maderas y del depósito para poder ensamblar el módulo posteriormente.

4.5.5.3 Sistema de agitación

El sistema de agitación escogido es el sistema habitual en PBRs: bomba por compresión o air-lift pump.

Este sistema uniforma los tricomas a la vez que aporta movimiento al medio de cultivo.

Según el método de cálculo propuesto por Reinemann, et al. (2001) sin la bomba auxiliar la velocidad de circulación del líquido es de 5,5 L/min (cruce en el eje de abscisas en el valor de 39 y cruce en el eje de ordenados en el valor de 10000 según la figura 3.7).

Se ha decidido instalar una bomba auxiliar para garantizar la circulación, puesto que la metodología de cálculo propuesto por Reinemann, et al. no garantiza unos resultados precisos por una inmersión inferior a 60 cm.

Se tiene que tener en cuenta como un factor importante a la hora de situar el módulo en el interior el ruido emitido por las bombas de aire. Para ello, se ha seleccionado el tipo de bomba de aire que cumpliera los requisitos y que fuera con la mínima emisión de ruido; también se ha colocado un acolchado inferior a las bombas de aire, para disminuir el ruido.

4.4.5.3 Sistema de recolección

El módulo ha estado diseñado para una recolección por gravitación fuera del recinto. Este método es muy práctico y rápido.

El medio de cultivo, una vez filtrado, se introduce otra vez en el recinto mediante la apertura superior del depósito.

4.5.5.4 Sistema de aporte de luz

Según la fuente bibliográfica consultada para un crecimiento óptimo de *Spirulina* la iluminación varía entre 15 y 40 klux. Aunque normalmente se coincide en que *Spirulina* no empieza a multiplicarse de forma fotoautótrofa hasta que supera el nivel de iluminación de 3 klux.

Se ha estudiado diversos tipos de iluminación con diversos modelos y fabricantes. En ellas se ha comparado el flujo lumínico, el coste relativo de cada lumen instalado, así como el consumo anual de energía.

El coste del flujo lumínico instalado se ha calculado en base a instalaciones de 5000 a 6000 lm.

El consumo anual se ha calculado en base a un funcionamiento diario de 12 horas a plena potencia durante seis meses, y un funcionamiento también de 12 horas pero a media potencia durante los otros seis meses con la tarifa establecida el 1 de enero del 2012. En la tabla 4.11 se resume las comparaciones realizadas.

Los sistemas de iluminación estudiados cumplen el requisito de una dimensión adecuada para ser instalados en el módulo.

Tabla 4.11: Comparación entre diferentes sistemas de iluminación

Distribuidor	Descripción	Flujo/unidad [Lm/ud]	Coste/flujo [€/lm]	lumen /Watt	Coste consumo anual
lptronics	Tira 60 LED, SMD5050 WW light	1080 lm/m	0,0097 €/lm	75	33 € (5400 lm)
ctledlights	Tira 60 LED, SMD5050 WW Light	1080 lm/m	0,0068 €/lm	75	33 € (5400 lm)
lptronics	Tira 60 LED, SMD5050 Red light	270 lm/m	0,0390 €/lm	19	126 € (5130 lm)
ctledlights	Bombilla (b) LED 360° E27-86SMD-5050	1100 lm/b	0,0124 €/lm	92	28 € (5500 lm)
Lptronics	Bombilla (b) LED 360° E27-86SMD-5050	2600 lm/b	0,0111 €/lm	72	33 € (5200 lm)
Narva	Fluorescente (fl) KLD-L 24W/830	1800 lm/fl	0,0028 €/ud	75	33 € (5400 lm)
Narva	Fluorescente (fl) KLD-L 24W/0152	1400lm/fl	0,0107 €/ud	58	44 € (5600 lm)

Una vez realizado el estudio comparativo se ha considerado necesario hacer un estudio experimental con los sistemas de iluminación mediante:

- 5 metros de tira de LED SMD 5050 de ctelights
- 3 fluorescentes KLD-L 24W/830
- 4 fluorescentes KLD-L 25/0152

Se tiene que tener en cuenta que a las tiras LED hay que añadir el coste del transformador y conexionado; a los tubos fluorescentes hay que añadir el coste del sistema de conexionado.

Para garantizar un sistema de aporte de luz óptimo es preciso analizarlo desde una perspectiva teórica y experimental. A la espera de resultados experimentales, en el presente módulo se ha escogido una iluminación mediante tiras de LED.

4.5.5.5 Otras consideraciones y posibles adaptaciones.

El tubo flexible de calidad alimentaria con certificado FDA puede ser substituido por otro tipo de tubo de calidad alimentaria con el certificado DM 21/3/1973. Se trata de un tubo cristal sin anilla metálica y su coste está alrededor de un tercio del coste del tubo flexible con certificado FDA.

Si el ruido emitido por las bombas de aire es demasiado elevado para el usuario se podría instalar algún sistema de insonorización; aunque esto sería un problema, debido a que las bombas de aire son difíciles de insonorizar.

Una forma para disminuir el ruido en dichos casos sería invertir el ciclo de producción habitual día/noche, para producir *Spirulina* durante la noche gracias al aporte de luz artificial; aunque en estos casos también haría falta que las bombas de aire se activasen durante un tiempo reducido durante el día.

En el caso que se quiera aumentar la producción diaria, existe la opción de producir durante los períodos nocturnos, o bien doblar el PBR con un circuito paralelo.

4.6 Resumen de los distintos módulos de producción

En la tabla 4.12 se hace un resumen y comparación de los distintos módulos diseñados.

En base a la producción diaria se ha clasificado los cultivos en individuales, familiares y para comunidad.

La comodidad para el usuario lo define el grado de automatización, el método de recolección así como la necesidad de realizar purgas. Se han clasificado en: poco cómodo, cómodo y muy cómodo.

Las medidas de higiene y salubridad hacen referencia al uso de materiales adecuados así como la protección contra organismos que puedan contaminar el cultivo. Se han clasificado en bajas, medias y altas.

Tabla 4.12: Resumen y comparación de los módulos

	Tipo de cultivo	Producción anual	Coste instalación	Coste producción	Comodidad	Higiene y salubridad
Módulo 1	familiar	B: 2,11 kg		B: 24 €/año		
		M: 1,74 kg	75 €	M: 24 €/año	Poco cómodo	Bajas
		T: 3,43 kg		T: 27 €/año		
Módulo 2	familiar	B: 3,38 kg		B: 43 €/año		
		M: 2,79 kg	355 €	M: 43 €/año	Cómodo	Medias-baja
		T: 5,50 kg		T: 47 €/año		
Módulo 3	comunidad	B: 15,18 kg		B: 389 €/año		
		M: 16,62 kg	914 €	M: 389 €/año	Cómodo	Medias
		T: 26,26 kg		T: 583 €/año		
Módulo 4	individual	B: 1,45 kg	B: 420 €			
		M: 1,23 kg	M: 420 €	54 €/año	Muy cómodo	Altas
		T: 1,57 kg	T: 343 €			
Módulo 5	Individual	Hipótesis: de 1 a 3 kg	305 €	De 83 a 106 €/año	Muy cómodo	Altas

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

La *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) es una cianobacteria con un elevado contenido proteico que resulta muy apta para el consumo humano y de animales como complemento alimentario. En la actualidad el consumo de producto fresco es escaso porque la *Spirulina* presenta una vida media muy corta que hace inviable su producción fresca a escala industrial.

El trabajo desarrollado en esta memoria permitió alcanzar los objetivos propuestos en el presente Proyecto, relativos a estudiar la viabilidad de la producción de *Spirulina* fresca a pequeña escala, ya que la espirulina fresca tiene un mayor aporte nutricional y supone una simplificación del proceso de producción de la *Spirulina* comercial; y relativos al desarrollo de diversos módulos para el autoconsumo adaptados a diferentes condiciones de contorno.

Para el desarrollo de los módulos propuestos se estudiaron los parámetros más importantes que afectan directamente a este tipo de cultivo, la disponibilidad de carbono, la temperatura y la intensidad lumínica, y se han tenido en cuenta otros como la comodidad del usuario, la limitación de espacio y los costes de instalación y mantenimiento. Con el conjunto de ellos se estudió la producción en tres escenarios simulados y con características climatológicas diferentes, Barcelona, Madrid y Santa Cruz de Tenerife.

Las conclusiones más relevantes obtenidas en este Proyecto se presentan a continuación:

1. La simulación realizada para determinar la influencia de la concentración de CO₂ en la productividad teórica de *Spirulina* ha permitido comprobar un aumento de la misma a medida que se incrementa la concentración de CO₂. Por lo que se hace necesario la introducción de sistemas de agitación que faciliten el intercambio CO₂/O₂ en el diseño de los módulos. La secuencia de beneficio del intercambio CO₂/O₂ es la siguiente: boma de aire air-lift > bomba de aire > rueda de paletas > bomba de agua.
2. La instalación de un invernadero aumenta la temperatura del cultivo y disminuye el riesgo de contaminaciones, pero si no va acompañado de un aporte suplementario de carbono la productividad disminuye.

El uso de invernadero, en la simulación realizada, ha aumentado significativamente la productividad del cultivo de *Spirulina* en las tres zonas estudiadas. Madrid, por su climatología ha sido la más beneficiada. El aporte simulado de diferentes fuentes de carbono permitió comprobar la siguiente secuencia en la productividad teórica de *Spirulina*: CO₂ > NaHCO₃ > azúcar.

3. El módulo 1, el método familiar más simplificado, es un módulo económico, adaptable a cualquier lugar con acceso a la red eléctrica, pero es poco cómodo y con bajas condiciones higiénicas. La productividad teórica anual más elevada de *Spirulina* se ha conseguido en Santa Cruz de Tenerife donde la irradiancia es mayor, con un coste de producción de 7,9 €/kg. En Madrid y Barcelona fue de 13,8 y 11,4 €/kg respectivamente.
4. Respecto al módulo 2, para el cultivo familiar de *Spirulina* en jardín, también se ha obtenido una productividad teórica mayor en Santa Cruz de Tenerife y superior que para el módulo 1, aunque debido al coste más elevado de su instalación, el coste de *Spirulina* ha resultado prácticamente el mismo, 8 €/kg para Santa Cruz de Tenerife y 14,3 y 11,8 €/kg para Madrid y Barcelona respectivamente. Sin embargo no necesita acceso a la red eléctrica y resulta algo más cómodo para el usuario, pero sus condiciones higiénicas siguen siendo bajas.

5. El módulo 3, proyectado para una comunidad, permite el aprovechamiento de espacios comunes para la producción de Spirulina. Está provisto de invernadero y de aporte suplementario de carbono. Es un diseño cómodo para el usuario y permite un mejor control de las condiciones higiénicas. No obstante, al ser un diseño más complejo, el coste de la producción teórica de Spirulina es más elevado, 22, 23 y 25 €/kg para Santa Cruz de Tenerife, Madrid y Barcelona respectivamente.
6. El cultivo de Spirulina en tubos rígidos para consumo individual, módulo 4, ha sido diseñado para espacios pequeños con una fuerte radiación solar. Ha resultado muy cómodo de funcionamiento y permite mantener unas altas condiciones higiénicas. Su diseño en lotes le da una gran versatilidad de adaptación, pero es el módulo que presenta el coste teórico de producción más elevado, 34,4 €/kg para Santa Cruz de Tenerife y 43,9 y 37,2 €/kg, para Madrid y Barcelona respectivamente.
7. Se ha proyectado un módulo de cultivo en interiores, módulo 5, adaptado para producir Spirulina con luz artificial. Sin embargo dicho módulo necesita de una optimización del proceso productivo mediante la experimentación.

BIBLIOGRAFÍA

Documentación consultada

Abdulqader, G.; Barsanti, L. y Tredici, MR. Harvest of Arthospira platensis from Lake Kossorom (Chad) and its household usage among the Kanembu. *J. Appl. Phycol.* 2000

Ahsan, M.; Habib, B.; Parvin, M.; Huntington, T. y Hasan, M. A review on culture, production and use of Spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish. *Food and Agriculture organization of the United Nations.* Roma, 2008 ISBN 978-92-5-106106-0.

Antena Technologies. A teaching module for the production of spirulina . Antenna Technologies. Ginebra 2005.

Asamblea General ONU. La utilización de microalgas alimenticias contra la malnutrición aguda en las emergencias humanitarias y para el desarrollo sostenible. [En linea] Acta de la Asamblea General de las Naciones Unidas. Sexagésimo periodo de sesiones. Segunda comisión. Tema 52 del programa. Desarrollo sostenible. 31 de Octubre del 2005. [ref. 7 Noviembre 2011] Disponible en:

<http://www.hydrogrow.com.ar/download/Resolucion%20Naciones%20Unidas%20-%20Spirulina.pdf>

Ayehunie, S.; Belay, A.; Babat, T. y Ruprecht, R.. Inhibition of HIV-1 replication by an aqueous extract of Spirulina platensis (*Arthospira platensis*). *Journal of Acquired Immune Deficiency Syndromes and Human Retrovirology.* USA 1998. 18:7-12

Barros, C. y Buenrostro, M. La alimentación prehispánica en la obra de Sahún. *Arqueología Mexicana*, México 1999. 6:38-45

Bhat, VB; Madyastha, KM. C-phycocyanin: a potent peroxy radical scavenger in vivo and in vitro. *Revista orBiochem Biophys Res Commun*, Agosto 2000. 18;275(1):20-5.

Castenholz, R.W., y Waterbury, J.B. Oxygenic photosynthetic bacteria. Section 19, In: Staley, J.T., Bryant, M.P., Pfennig, N., Holt, J.G., Eds. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Vol. 3, Williams and Wilkins Co, Baltimore, USA. 1989. Pp 1710-1806.

Cheong, SH.; Kim, MY.; Sok, DE.; Hwang, SY.; Kim, JH.; Kim, HR.; Lee, JH.; Kim, YB.; Kim, MR. *Spirulina prevents atherosclerosis by reducing hypercholesterolemia in rabbits fed a high-cholesterol diet.* *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 56(1):34-40, 2010. Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20354344>

Chih-Yu Wang; Chun-Chong Fu; Yung-Chuan Liu; *Effects of using light-emitting diodes on the cultivation of Spirulina platensis.* *Biochemical Engineering Journal*, Octubre 2007 Volume 37, Issue 1, P. 21-25, ISSN 1369-703X

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X07001295>

Chu, WL.; Lim, YW.; Radhakrishnan, AK. y Lim, PE. *Protective effect of aqueous extract from Spirulina platensis against cell death induced by free radicals* BMC Complementary and

- Alternative Medicine 21;10(1):53, septiembre 2010. Disponible en:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20858231>
- Ciferri, O. *Spirulina, the Edible Microorganism*, Microbiological reviews, American Society for Microbiology. 1983 Vol.47, No:4, pp. 551-578.
- Cruchot, H.; *La spiruline, bilan et perspectives*. These, France mayo 2008. Disponible on line:
<http://spiruline.hautefort.com/list/documents/2012818299.pdf>
- Dartsch, PC. *Antioxidant potential of selected Spirulina platensis preparations*. Phytotherapy Research. Mayo 2008. 22(5):627-33.
- Dasgupta, T.; Banejee, S.; Yadav, PK. y Rao, AR. *Chemomodulation of carcinogen metabolising enzymes, antioxidant profiles and skin and forestomach papillomagenesis by Spirulina platensis*, Molecular and Cellular Biochemistry 226(1-2):27-38, octubre 2001. Disponible en:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11768236>
- Eliach, J.; Bourges, G.; Duré, L.; Medina, M. y Lara, M. *Incidencia de la agitación en el crecimiento microalgal en biorreactores*. Reporte técnico. Argentina, Septiembre 2004. Universidad Nacional de Rosario
- Elizabeth, K.; *Response of Spirulina platensis (= Arthrospira fusiformis) from Lake Chitu, Ethiopia, to salinity stress from sodium salts*. Journal of Applied Phycology, Springer Netherlands. 1 diciembre 1997. P. 551-558 Vol. 6 Issue 6. ISSN 0921-8971 Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1007949021786>
- FAO Aquatic Biofuels Working Group. Review paper. Algae-based biofuels: applications and co-products. July 2010 ISBN 978-92-5-106623-2 Disponible en:
www.fao.org/docrep/012/i1704e/i1704e.pdf
- FAO. *Manual on the Production and Use of Live Food for Aquaculture*. 1996 ISBN 925103934B Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/003/w3732e/w3732e00.htm>
- Ferreira-Hermosillo, A.; Torres-Duran, P.; Juarez-Oropeza, M. *Hepatoprotective effects of Spirulina maxima in patients with non-alcoholic fatty liver disease: a case series*. Journal of Medical Case Reports 7;4:103, abril 2010. Disponible en:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20370930>
- Flores, C; Peña-Castro, JM.; Flores Cotera, LB. y Cañizares-Villanueva, RO. *Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas*. INCI. [en linea]. agosto 2003, vol.28, no.8 [ref. 14 Enero 2012], p.450-456. ISSN 0378-1844. Disponible en:
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442003000800004&lng=es&nrm=iso
- Fox, R.; *Spiruline: technique pratique et promesse*. Aix en provence: Edisud. 1999
- Fox, R.; *Spirulina production & potential*. Aix en provence: Edisud. 1996

Fukino; Takagi; Yamane. *Effect of Spirulina (S. platensis) on the renal toxicity induced by inorganic mercury and cisplatin* Eisei Kagaku, 36:5 – Japón, 1990.

Gad; Khadrawy; El-Nekeety; Mohamed; Hassan y Abdel-Wahhab. *Antioxidant activity and hepatoprotective effects of whey protein and Spirulina in rats*, Nutrition 12, agosto 2010. Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20708378>

Garcia, A.M. *Spirulina makes me ten times stronger, like spinach for Popeye*. Gramme International, Septiembre 1996. p. 11.

Geitler, L. (*cyanophyta*) dans les mares natronées du Kanem (Tchad). ORSTOM., ser. Hydrobiol. 2: 119–125. 1925

Geitler, L. Cyanophyceae. In: *Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*. Rabenhorst, L. Eds Vol. 14, pp. 673-1056. Leipzig. Publicación Académica. 1932

Gòdia, F.; Albiol, j.; Creus, N.; Cabello, F.; Montràs, A.; Masot, A. y Lasseur, Ch. *The MELISSA pilot plant facility as an integration test-bed for advanced life support systems*. Advances in Space Research, Europe 2004. Volume 34, Issue 7, P. 1483-1493, ISSN 0273-1177. Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117703012018>

Gonçalves de Oliveira, E. *Sacagem de Spirulina platensis : análise das técnicas de leito de jorro e camada delgada*. Thèse de l'Université de Rio Grande (Brésil), Dpt. de Chimie; 2006.

Graham Saunders y Rick Bauer, *La lona de plástico* [en linea] Oxfam y Federación Internacional de la Cruz Roja y la Media Luna Roja. Julio 2007. [ref. 24 marzo 2012] Disponible en:

<http://policy-practice.oxfam.org.uk/publications/download/get.file?id=366289&variant=text>

Grande T., Capelli B., Gerald R., *The Medical Research of Spirulina* [en linea] Cyanotech Corporation, 2009. [ref. 7 Agosto 2011] Disponible en:

http://www.cyanotech.com/pdfs/Spirulina/Spirulina_Abstracts.pdf

Grobbelaar, J. *Factors governing algal growth in photobioreactors: the “open” versus “closed” debate*. Journal of Applied Phycology, Springer Netherlands, Octubre 2009. Vol 21 P. 489-492. Issue: 5 ISSN: 0921-8971 Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1007/s10811-008-9365-x>

Grobbelaar, JU. *Physiological and technological considerations for optimizing mass algal cultures*. J. Appl. Phycol. 2000

Grobbelaar, JU. *Turbulence in mass algal cultures and the role of light/dark fluctuations*. J. Appl. Phycol. 1994.

Gros, JB.; Poughon, L.; Lasseur, C. y Tikhomiroff, AA. *Recycling efficiencies of C,H,O,N,S, and P elements in a biological life support system based on micro-organisms and higher plants*. Advances in Space Research, Europe, 2003. Volume 31, Issue 1, P. 195-199, ISSN 0273-1177. Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117702007391>

Habib, M.; Ahsan B.; Parvin, M.; Huntington, T C.; Hasan, M R. *A review on culture, production and use of Spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish.* [en linea] Food and Agriculture Organization of the United Nations. [ref. 22 diciembre 2011.] Disponible en:

<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0424e/i0424e00.pdf>

Henrikson, R. *Microalga Spirulina, superalimento del futuro.* Ronore Enterprises. 2^a ed. Ediciones Urano, Barcelona, España. 1994 pp. 222.

Henrikson, R. *Earth Food Spirulina. 2004* [ref. 19 junio 2012] Disponible en:

<http://www.spirulinasource.com/PDF.cfm/EarthFoodSpirulina.pdf>

Henson, H R.; *Spirulina algae improves japanese fish feeds.* Aquaculture Magazine. Japan, 1990. pp. 38-43.

Herrero, M.; Ibáñez, E.; Cifuentes, A. y Señoráns, J.. *Pressurized liquid extracts from Spirulina platensis microalga. Determination of their antioxidant activity and preliminary analysis by micellar electrokinetic chromatography.* Revista Chromatography A. Agosto 2004. 27;1047(2):195-203.

Hirahashi, T.; Matsumoto, M.; Hazeki, K.; Saeki, Y.; Ui, M. y Seya, T. *Activation of the human innate immune system by Spirulina: augmentation of interferon production and NK cytotoxicity by oral administration of hot water extract of Spirulina platensis.* Int Immunopharmacol. Marzo 2002. 2(4):423-34. [ref. 19 Junio 2012] Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11962722>

Houdaille, J. *Procedimiento e instalación para cortar tubos de vidrio.* Madrid. 10 de enero de 1969.

Hu Q, Guterman H, Richmond A. *A flat inclined modular photobioreactor for outdoor mass cultivation of photoautotrophs.* Biotechnol. Bioeng. 1996.

Iltis, A. *Tolerance de salinité de Spirulina platensis* (Gom.) 1968

INTER'CHINA. *Origine Chenghai Lake (Yunnan)* [en ligne]. c2005. [ref. 30 Octubre 2007]. Disponible en :

<http://ginsengdechine.com/>

INTER'CHINA. Origine de la *Spirulina Green-A* [en ligne]. c2005. [ref. 30 Octubre 2007]. Disponible en:

<http://ginsengdechine.com/spiruorigin.htm>

INTER'CHINA. Composition *Spirulina Green-A* [en linea]. c2006. [ref. 30 octubre 2011] Disponible en :

<http://ginsengdechine.com/spiruanal.htm>

Javanmardian, M. y Palsson, BO. *High-density photoautotrophic algal cultures: design, construction, and operation of a novel photobioreactor system.* 1991

Jiménez C.; Cossío, B. y Niell, X. *Relationship between physicochemical variables and productivity in open ponds for the production of Spirulina: a predictive model of algal yield,*

- Aquaculture.* [en linea] Málaga, Mayo 2003 Volume 221, Issues 1–4, 1 P. 331-345, ISSN 0044-8486. [ref. 10 Octubre 2011] Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848603001236>
- Joudan, JP. *Cultivez votre spiruline.* [en linea] France, 2003. [ref. 12 agosto 2011] Disponible en:
<http://petites-nouvelles.pagesperso-orange.fr/Manuel.pdf>
- Jourdan, JP. *Petites Nouvelles de la Spiruline.* Revista digital. Números: Abril 2011, Agosto 2011, Diciembre 2011, Disponible on line:
<http://spirulinefrance.free.fr/lespetitesnouvel.html>
- Lara Andrade, R.; et al. *La importancia de Spirulina en la alimentación acuícola* Laboratorio de Producción de Alimento Vivo. Depto. El Hombre y su Ambiente. México. 2005.
- Lasseur, Ch.; Verstraete, W.; Gros, JB.; Dubertret, G. y Rogalla, F. *MELISSA: A potential experiment for a precursor mission to the Moon.* Advances in Space Research, Europe, 1996. Volume 18, Issue 11, P. 111-117, ISSN 0273-1177. Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/027311779600097>
- Løbner; Walsted; Larsen; Bendtzen y Nielsen. *Enhancement of human adaptive immune responses by administration of a high-molecular-weight polysaccharide extract from the cyanobacterium Arthrospira platensis.* Revista Med Food. Junio 2008. 11(2):313-22.
- Lu, C.; y Vonshak, A.; *Photoinhibition in outdoor Spirulina platensis cultures assessed by polyphasic chlorophyll fluorescence transients* Journal of Applied Phycology. Springer Netherlands, 1 de agosto 1999. P. 355-359 ISSN: 0921-8971 Disponible en:
<http://www.springerlink.com/content/v4433345g664g7uj/>
- Materassi, R.; Tredici, M.; Balloni, W. *Spirulina culture in sea water.* Applied Microbiology and Biotechnology. Chemistry and Materials Science 1984. Vol 19. P. 385-386. Issue: 6 Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00454374>
- Matthew, B.; Sankaranarayanan, R.; Nair, PP.; Varghese, C.; Somanathan, T.; Amma BP.; Amma, NS. y Nair, MK. *Evaluation of chemoprevention of oral cancer with Spirulina fusiformis.* Nutrition and Cancer 24(2):197-202, 1995. Disponible en:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8584455>
- McCarty, MF. Clinical potential of Spirulina as a source of phycocyanobilin. Revista Med Food. Diciembre 2007. 10(4):566-70.
- Mendiola; Marín; Hernández; Arredondo; Señoráns; Ibáñez y Reglero. *Characterization via liquid chromatography coupled to diode array detector and tandem mass spectrometry of supercritical fluid antioxidant extracts of Spirulina platensis microalga.* Revista Separation Science. Junio 2005; 28(9-10):1031-8.
- Mendivil Martínez y Campo Díaz Calidad del aire interior en los centros de educación infantil del País Vasco. [en linea] Universidad del País Vasco, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. [ref. 17 octubre 2011] Disponible en:

www.segla.net/Calidad_Aire_Escuelas.pdf

Microalgal Biotechnology Laboratory, *The Jacob Blaustein Institute for Desert Research*, Ben-Gurion University of the Negev, Sede-Boker Campus, Israel, 7 Junio 1990.

Mondragón, BMA. *Cultivo y uso del alga tecuitlatl (Spirulina maxima), estudio recapitulativo.* Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 1984.

Naciones Unidas. *La utilización de las microalgas alimenticias contra la malnutrición aguda en las emergencias humanitarias y para el desarrollo sostenible.* Asamblea General de las Naciones Unidas, Sexagésimo periodo de sesiones, Segunda comisión, Tema 52 del programa, 31 de octubre del 2005 . Disponible en:

<http://daccess-ods.un.org/access.nsf/Get?OpenAgent&DS=A/C.2/60/L.14&Lang=S>

Naciones Unidas. *Utilización de la Spirulina para luchar contra el hambre y la malnutrición y ayudar a lograr el desarrollo sostenible.* Asamblea General de las Naciones Unidas, Sexagésimo periodo de sesiones, Segunda comisión, Tema 52 del programa, 8 de noviembre del 2005 . Disponible en:

<http://daccess-ods.un.org/access.nsf/Get?OpenAgent&DS=A/C.2/60/L.14/Rev.1&Lang=S>

Nakaya, N.; Homma, Y.; Goto, Y., *Cholesterol lowering effect of Spirulina.* Nutrition Reports International Vol. 37 (6), págs. 1329-1337, junio 1988. Disponible en:

[http://grande.nal.usda.gov/ibids/index.php?
mode2=detail&origin=ibids_references&therow=423615](http://grande.nal.usda.gov/ibids/index.php?mode2=detail&origin=ibids_references&therow=423615)

Natesis. *La force concentrée de la spiruline de Californie* [en linea] 2007 [ref. 12 enero 2012]. Disponible en :

http://www.natesis.com/boutique/page_actus_page.cfm?num_actus=3&code_lg=lg.fr

Ogbonna, JC. y Tanaka, H. *Cyclic autotrophic/heterotrophic cultivation of photosynthetic cells: a method of achieving continuous cell growth under light/dark cycles.* Biores. Technol. 65: 65-72. Año 1998

Oguchi; Otsubo; Nitta y Hatayama. *Food production and gas exchange system using blue-green alga (Spirulina) for CELSS.* Advances in Space Research, Europe 1987. Volume 7, Issue 4, P. 7-10, ISSN 0273-1177. Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0273117787900263>

Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza. 8 de junio de 1993.

Ortega, MM.; Godínez, JL.; Garduño, SG. y Oliva MG. *Ficología de México: algas continentales.* AGT. México. 1994. 221 pp

Paniagua-Michael, J.; Dujardin, E. y Sironval, C.; *Crónica Azteca: El tecuitlatl, concentrado de algas espirulinas fuente de proteínas comestibles del pueblo de los Aztecas.* 2004

Paniagua-Michel, J.; Dujardin, E. y Sironval, C.; *Le tecuitlalt, concentré des spirulines source de protéines comestibles chez les Aztèques.* Cahiers Agricultures. Liège, Belgïe, Julio 1993. Volume 2, Numero 4, P. 283-7.

Parikh, P.; Mani, U.; Iyer, U. *Role of Spirulina in the Control of Glycemia and Lipidemia in Type 2 Diabetes Mellitus,* Journal of Medicinal Food 4(4):193-199, 2001 Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12639401>

Planchon, G y Fuentes, Ch. *La spiruline pour tous*. France 2003, Pilgrims Publishing.

Pedrosa Bezerra, R.; Matsudo, MC.; Sato, S.; Perego, P.; Converti, A. y Moteiro de Carvalho, JC. *Effects of photobioreactor configuration, nitrogen source and light intensity on the fed-batch cultivation of Arthospira (Spirulina) platensis*. [en linea] Bioenergetic aspects, Biomass and Bioenergy, Noviembre 2011 [ref. 17 December 2011], ISSN 0961-9534. Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953411005952>

Poughon, L.; Farges, B.; Dussap, CG.; Gòdia, F. y Lassieur, C. *Simulation of the MELISSA closed loop system as a tool to define its integration strategy*. Advances in Space Research, Europa, 15 December 2009. Volume 44, Issue 12, P. 1392-1403, ISSN 0273-1177 Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117709005286>

Pulz, O; Scheibenbogen, K. *Photobioreactors: Design and performance with respect to light energy input*. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology. 1988. Vol 59 P.123-152. ISBN: 978-3-540-63417-1. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1007/BFb0102298>

Radmann E M; Reinehr C O; Costa J A V; *Optimization of the repeated batch cultivation of microalga Spirulina platensis in open raceway ponds*. Aquaculture, 1 May 2007. Volume 265, Issues 1-4, P. 118-126, ISSN 0044-8486.

Ramirez-Moreno, L. y Olvera-Ramirez, R. *Uso tradicional y actual de Spirulina sp. (arthospira sp.)*. [en linea]. INCI, septiembre 2006. P. 657-663. vol.31, no.9 [ref. 7 Setiembre 2011] ISSN 0378-1844 Disponible en:

http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000900008&lng=es&nrm=iso

Rasool, M; Sabina, EP; Lavanya, B; *Anti-inflammatory effect of Spirulina fusiformis on adjuvantinduced arthritis in mice*. Biol Pharm Bull. Diciembre 2006. 29(12):2483-7.

Ravelonandro, PH.; Ratianarivo, DH.; Joannis-Cassan, C.; Isambert, A.; y Raherimandimby, M. *Improvement of the growth of Arthospira (Spirulina) platensis from Toliera (Madagascar): Effect of agitation, salinity and CO₂ addition*. Food and Bioproducts Processing, Volume 89, Issue 3, July 2011, Pages 209-216, ISSN 0960-3085. Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960308510000532>

Reinemann. *Theoretical and Experimental Study of Airlift Pumping and Aeration with Reference to Aquacultural Applications*. Tesis, Cornell University 1987. Disponible en:

[<http://www.uwex.edu/uwmrl/pdf/RuralEnergyIssues/aquaculture/Reinemann%20PhD%20Thesis.pdf>

Reinemann; Hansen; Raabe; *Demonstration of Airlift Pump and Lignocellulosics in Recirculation* [en linea] Aquaculture Systems, 2001. [ref. 12 febrero 2012] Disponible en:

www.ecw.org/prod/205-1.pdf

Remírez, D.; et al. Inhibitory effects of Spirulina in zymosan-induced arthritis in mice. Mediators Inflamm. Abril 2002. 11(2):75-9.

Richmond, A. *Growth characteristics of ultrahigh-density microalgal cultures.* Biotechnology and Bioprocess Engineering. The Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Diciembre 2003. Volume: 8, Issue: 6, P. 349-353. ISSN: 1226-8372 Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1007/BF02949278>

Richmond, A. *Principles for attaining maximal microalgal productivity in photobioreactors: an overview.* Hydrobiologia, Springer Netherlands, Enero 2004. Volume: 512, Issue 1, P. 33-37. ISSN: 0018-8158 Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1023/B:HYDR.0000020365.06145.36>

Richmond, A.; Boussiba S.; Vonshak, A. y Kopal, R. *A new tubular reactor for mass production of microalgae outdoors.* J. Appl. Phycol. 1993.

Richmond, A.; Lichtenberg, E.; Stathl B. y Vonshak, A. *Quantitative assessment of the major limitations on productivity of *Spirulina platensis* in open raceways* Journal of Applied Phycology. Springer Netherlands, 29 septiembre 1990. P. 195-202 Volume 206, Issue 2, ISSN: 0921-8971 Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1007/BF02179776>

Sahagún, B. *Historia general de las cosas de Nueva España.* Vol. 3 lib. XI. Ed. Robredo. México 1938

Sasson A *Cultivation of Spirulina. Microalgal biotechnologies: recent developments and prospects for developing countries.* 2nd Asia-Pacific Marine Biotechnol. Conf. / 3rd Asia Pacific Con. Algal Biotechnol. Phuket Tailandia. Pp 11-31. 1997.

Sazdanoff, N. *Modeling and Simulation of the Algae to Biodiesel Fuel Cycle.* Department of Mechanical Engineering Inviero 2006.

Shengzhang Xu; Zhenfeng Su; Wei Cong; *Growth of *Spirulina platensis* enhanced under intermittent illumination* Journal of Biotechnology. February 2011. Volume 151, Issue 3, P. 271-277, ISSN 0168-1656 Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168165610020638>

Sorto M.; *Utilisation et consommation de la spiruline au Tchad.* Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD) N'djamena, Tchad. Noviembre 2003

Soustelle, J. *La vie quotidienne des Aztèques à la veille de la conquête espagnole.* Hachette. París, Francia 1985

Spiral Spring SOSA Texcoco, S.A. 1991

Suda, D.; Schwartz, J.; Shklar, G. *Inhibition of experimental oral carcinogenesis by topical beta carotene,* Carcinogenesis 7 (5): 711-715, 1986. Disponible en:

<http://carcin.oxfordjournals.org/content/7/5/711.short>

Thaakur, S. y Sravanthi, R. *Neuroprotective effect of Spirulina in cerebral ischemia-reperfusion injury in rats.* Journal of Neural Transmission 117(9):1083-91, septiembre 2010. Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20700612>

Trasobares Iglesias, EM. *Plomo mercurio en sangre en una población laboral hospitalaria y su relación con factores de exposición*. Tesis. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Farmacia. Madrid, 2010. Disponible en:

<http://eprints.ucm.es/11027/1/T32163.pdf>

Tomaselli, L., Palandri, M., Tredici, M. On the correct use of *Spirulina* designation. 1996 *Algological Studies* 83:539-548. 1

Torzillo, G.; Accolla, P.; Pinzani, E. y Masojidek, J. *Monitoring of chlorophyll fluorescence to assess the synergistic effect of low temperature and high irradiance stresses in Spirulina cultures grown outdoors in photobioreactors*. Journal of Applied Phycology. Springer Netherlands, 9 de noviembre 1996. P. 283-291 ISSN: 0921-8971

<http://dx.doi.org/10.1007/BF02178571>

Torzillo, G.; y Vonshak, A. *Effect of light and temperature on the photosynthetic activity of the cyanobacterium Spirulina platensis*. Biomass and Bioenergy, Volume 6, Issue 5, 1994, Pages 399-403, ISSN 0961-9534. Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0961953494000766>

Vonshak, A.; Abeliovich, A.; Boussiba, S.; Arad, S. y Richmond, A. *Production of Spirulina biomass: Effects of environmental factors and population density*, *Biomass*. Julio 1982. Volume 2, Issue 3, Pages 175-185, ISSN 0144-4565. Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0144456582900282>

Vonshak y Tomaselli. *Arthospira (Spirulina) systematics and ecophysiology*. Whitton B.A., Potts M., Editors. 2000. The ecology of cyanobacteria the Netherlands: Kluwer academic publishers

Wang, CY.; Fu, CC. y Liu, YC. *Effects of using light-emitting diodes on the cultivation of Spirulina platensis*. Biochemical Engineering Journal, Octubre 2007. Volume 37, Issue 1, 15 P. 21-25, ISSN 1369-703X. Disponible en:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X07001295>

Wolf, G. *Retinoids and carotenoids as inhibitors of carcinogenesis and inducers of cell-cell communication*, Nutrition Reviews 50(9):270-4, septiembre 1992. Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1461590>

Xarxa espirulina. *Manual (molt, molt resumit) sobre el cultiu autònom d'eSpirulina*. [en linea] Almacelles, Agosto 2010. [ref. 13 agosto 2011] Disponible en:

<http://xarxaeSpirulina.files.wordpress.com/2010/07/manual-molt-resumit-de-cultiu-deSpirulina.pdf>

Yamane, Y. The effect of Spirulina on nephrotoxicity in rats. Presentado en Annual Sym. of the Pharmaceutical Society of Japan. Japan, Apr. 15, 1988. Chiba University.

Yang Ch.; Liu, H.; Li, M.; Yu, Ch.; Yu, Gu. et al. *Treating urine by Spirulina platensis*. Acta Astronautica, Junio 2007 Volume 63, Issues 7-10, P. 1049-1054, ISSN 0094-5765.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576508001124>

Zarrouk, C. *Contribution à l'étude d'une cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de Spirulina maxima.* PH.D Thesis, Université De Paris. París 1996

Zhang Cheng-Wu; Tseng Chao-Tsi y Zhang Yuan Zhen . *Effects of polysaccharide and phycocyanin from Spirulina on peripheral blood and hematopoietic system of bone marrow in mice.* Proc. of Second Asia Pacific Conference on Algal Biotech. University of Malaysia, abril 1994.

Zhang Xu. *A simple and low-cost airlift photobioreactor for microalgal mass culture.* Biotechnology Letters. Springer. Noviembre 2002.

Consultas con personas y/o asociaciones:

- Antenna Technologies
- Atlas Spiruline
- Belles, Mathieu
- Gastó, Xavier
- Guigon, Vincent
- Guàrdia-Fargues, Helena
- Jourdan, Jean Paul
- Montellano, Javi
- Planchon, Gilles
- Rosell, Michell
- Xarxa Internacional de Cultivadors d'Espirulina per la Sobirania Alimentària.

Consultas de espacios web:

<http://www.aemet.es/es/servidor-datos/acceso-datos>

<http://haberlandt.blablablab.org/>

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

http://www.soda-is.com/eng/services/climat_free_eng.php#mea

http://www.uc3m.es/portal/page/portal/biblioteca/aprende_usar/como_citar_bibliografia

<http://es.wikipedia.org/wiki/>

<http://en.wikipedia.org/wiki/>

<http://ca.wikipedia.org/wiki/>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/>

<http://xarxaespirulina.wordpress.com/>

APÉNDICE I. CÁLCULO DE LA PRODUCTIVIDAD

En este apéndice se describe el proceso de cálculo de la productividad (p) expresada en las unidades descritas en el apartado 2.3.5 *Tasa de reproducción*

El proceso de cálculo viene determinado por el programa *Spirpac-f*.

AI-1 Descripción del programa *Spirpac-f*

AI-1.1 Aplicación

El modelo se aplica a cultivos autótrofos de la cianobacteria *Arthrospira platensis* en un recinto al aire libre o cerrado por un material translúcido con ventilación controlada.

Las opciones de cultivo disponibles en el programa están descritas en el siguiente apartado.

AI-1.2 Principio de cálculo y opciones de producción.

El programa simula el funcionamiento del recinto desde su siembra hasta su paro al cabo de un cierto número de días. A partir de un medio de cultivo con un cierto pH puesto en funcionamiento a tiempo cero se calcula el crecimiento de la *Spirulina* hora por hora; un recuento térmico y un recuento de carbono (absorción de CO₂ del aire + inyección – consumo) permiten calcular, igualmente hora por hora, la temperatura y el pH, determinando la velocidad de crecimiento. Se supone que todos los nutrientes, excepto el carbono, están disponibles sin límite.

No hay límite en la inclinación y orientación de la superficie activa del cultivo. La latitud debe estar comprendida entre los dos círculos polares. El cultivo en agua de mar, según Mario Tredici, et al. (2000), también puede ser simulado.

La recolección tiene lugar cada día (a la hora que se haya elegido), excepto los días de descanso semanal, y se recoge la concentración de *Spirulina* que se haya decidido, salvo que la capacidad de recogida diaria no sobrepase un límite fijado. Tampoco hay recolección si el pH es inferior a un umbral fijado o si se impone un periodo de no recolección; ni durante los días previstos de no recolección (de 0 a 3 días de paro consecutivos por semana.) Al final de la campaña se realiza una cosecha total (hasta la concentración y volumen inicial)

La temperatura seca del aire ambiente y los rayos de sol absorbidos por el cultivo se calculan hora por hora a partir de los datos meteorológicos cargados (valores medios mensuales). La temperatura de rocío del aire y la velocidad del viento son supuestas constantes a lo largo de la jornada. El porcentaje de nebulosidad se concentra a lo largo de los días "grises" repartidos uniformemente en tres periodos de diez días al mes, sin corrección de temperatura del aire ambiente en esos días. Un porcentaje (a elección) de la lluvia penetra en el recinto al aire libre.

La purga se practica para mantener el nivel en caso de lluvia excesiva, o para mantener la alcalinidad y a ser posible, la salinidad por debajo del máximo fijado. Las sales, y eventualmente el agua, deseadas se añaden para mantener la calidad del medio de cultivo.

El agua condensada en la pared interior del invernadero es supuestamente reciclada en el recinto (lo que se hace automáticamente cuando el invernadero y el recinto están constituidos por un único plástico).

Se añade también agua para compensar la evaporación y mantener el nivel entre el nivel normal (inicial) y el mínimo (1 cm por debajo). Pero en caso de los recintos al aire libre existe la opción que permite suprimir este complemento, lo que permite simular el caso de los lagos naturales no recibiendo otra agua que el agua de la lluvia, o el caso de la escasez de agua.

El agua suplementaria se supone poco calcárea (conteniendo suficiente calcio para las necesidades de *Spirulina*, pero sin más): la eliminación de iones carbonatos del medio por precipitación de CaCO₃ no es tomada en cuenta en el cálculo.

Independientemente de la purga se prevé poder enviar el medio hacia un sistema de depuración eliminando las materias orgánicas y modificando el pH. Un mismo volumen se recicla en el mismo recinto y se admite que el reciclaje no cambia ni la alcalinidad ni la salinidad "fija" (sales no carbonadas) del medio, ni el nivel del líquido del recinto, ni la temperatura. El pH del medio reciclado se fija libremente, pero si está fijado con valor <8 entonces el valor será el correspondiente al equilibrio con el aire exterior.

Existe una opción que permite decidir si las purgas, el agua suplementaria, la alimentación de carbono (CO₂ puro, azúcar, bicarbonato) y el reciclaje son posibles o no los días de descanso semanales; si son posibles durante esos días el volumen del medio a purgar o a depurar es filtrado y la biomasa recuperada se pone nuevamente en el recinto. Esta opción también se puede aplicar en los períodos de vacaciones.

El cultivo puede ser sombreado y/o calefactado y/o aislado térmicamente. Se admite en todos los casos que las pérdidas térmicas por los lados y el fondo del recinto son nulos. Sin embargo, las pérdidas nocturnas por la cara superior se rigen por la variable isol (variable 123). El cultivo puede ser completamente aislado (a la vez térmicamente y de la atmósfera, con la calefacción cortada: isol=1) o parcialmente aislado (sólo se suprime los intercambios conectivos y radiactivos de la cara superior, la aireación y la calefacción se mantienen: isol=2). En el caso de aislamiento completo (isol=1) el uso de carburante sólo es posible con invernadero y si se mantiene una aireación mínima para permitir la respiración del cultivo (reducida al 20% de lo normal); aunque la respiración no se ha tenido en cuenta desde el punto de vista del efecto térmico y de la evaporación. El completo aislamiento se aplica a los recintos con o sin invernadero. El aislamiento (opciones 1 y 2) se utiliza si la iluminación del recinto se sitúa por debajo de un umbral predeterminado (variable 175). Existe otra opción de aislamiento (isol=3) que exige invernadero y lámparas, y que funciona día y noche. El coeficiente de aislamiento térmico (variable 109) representa el coeficiente de transferencia térmica total de la cara superior del recinto para las opciones isol 1 y 2.

La variable 173 define el tipo de aislamiento. La opción 0 supone un aislamiento con polietileno transparente simple, la opción 1 supone el uso de polietileno transparente a los rayos infrarrojos. La opción 2 supone el uso de policarbonato alveolar de doble pared y la opción 3 de policarbonato alveolar de pared triple.

Se prevén dos tipos de sombreado de día, y se acumulan; la sombra llamada "automática" o modulable, se instala automáticamente si las condiciones de temperatura y de luz así lo requieren; el sombreado llamado "fijo" permanece día y noche y se puede instalar tanto al interior como en el exterior del invernadero. El sombreado en el interior permite un mejor calentamiento del invernadero. Se puede instalar una pantalla térmica (o "sombreado nocturno") durante la noche para reducir el enfriamiento nocturno; éste se acumula con el sombreado fijo eventual, pero no tiene efecto con la opción aislamiento.

Cuando dos sombreados A y B se "acumulan" significa que la luz que penetra del cultivo se multiplica por: (1-sombreado A/100) * (1-sombreado B/100).

Se pueden simular (variable 175) la afectación de árboles u otros obstáculos que evitan la iluminación en el recinto cuando el sol es bajo.

La aireación del invernadero (variable 115) implica un elemento fijo (a elección pero mayor o igual a 0.04 y menor que 35 Nm³/h/m²) y un elemento "automático" modulable según la temperatura del recinto. La aireación mínima asegura que el porcentaje de oxígeno acumulado

en el invernadero no perjudica a la fotosíntesis, incluso en caso de alimentación de CO₂ puro o bicarbonato.

El aporte de CO₂ de la posible combustión de carburante (que generalmente representa una pequeña fracción de las necesidades de calefacción) no se tiene en cuenta como aporte de CO₂ debido a que no es válido por su contenido en impurezas.

El calentamiento del invernadero se puede hacer con circulación de tubos de agua caliente situados en el fondo del recinto. La fuente de calor puede ser la combustión de un carburante en una caldera, o bien con un grupo electrógeno (se recupera el calor residual). La combustión se produce con el aire exterior, con un exceso del 10%. El calentamiento se realiza día y noche, aunque se corta automáticamente durante la noche con la opción isol=1 (variable 123). El límite de carburante utilizado para calentar está definido en la variable 135.

Los recintos de cultivo también pueden calentarse (y eventualmente enfriarse) con la opción de una bomba de calor. El COP de la bomba de calor se toma como un cuarto del valor teórico, o bien $(273 + \text{temperatura del recinto}) / (\text{diferencia de la temperatura del recinto y el aire exterior}) / 4$.

La mezcla de ambos métodos de calentamiento (carburante y bomba de calor) no son posibles. Los recintos abiertos no pueden ser calentados con carburante pero sí con bomba de calor.

La opción de iluminación artificial en invernadero es posible entre las 4 y las 21h cuando la iluminación natural (medida en el invernadero) es inferior a la potencia de iluminación de las lámparas (estas son encendidas automáticamente de forma parcial o total para mantener el nivel de iluminación correspondiente al valor de las lámparas completamente encendidas). En la opción isol=1, cuando el cultivo está aislado, las lámparas no se pueden encender. En las opciones isol 2 y 3, las lámparas son situadas bajo el aislamiento.

El consumo eléctrico de las lámparas se supone que es de 13mW/lumen es decir 13 W/m²/lux, que corresponde al rendimiento medio entre los tubos fluorescentes (17 mW/lumen) y las lámparas halógenas o lámparas hortícolas de vapor de sodio (10 mW/lumen). Aunque cuando las lámparas halógenas son puestas el consumo puede disminuir hasta 6,5 mW/lumen. En la opción aislamiento térmico día y noche las lámparas se encienden de 4h a 21h. El porcentaje de calor emitido por las lámparas que contribuye al calentamiento del invernadero es regulable de 32 a 100%.

En el caso de los recintos al aire libre estas opciones no están todas disponibles. Sí lo están el sombreado fijo y la pantalla térmica nocturna.

La velocidad de la fotosíntesis puede variar según las fuentes utilizadas o las circunstancias (mortalidad, predadores); por lo tanto se puede ajustar a la media de un coeficiente.

El programa de cálculo no tiene en cuenta la desaparición de *Spirulina* por mortalidad o por predadores (se admite por estos dos casos que hay reciclaje del carbono en el interior del cultivo).

Para tener en cuenta la producción de exopolisacáridos no incluidos en la recolección, que puede variar según las fuentes o las condiciones y para tener en cuenta también las variaciones posibles de composición de *Spirulina*, el consumo de CO₂ por Kg de *Spirulina* no se considera como fijo pero sí como una variable regulable (114).

También se debe fijar la variable (170) que indica el rendimiento de la cosecha, que tiene en cuenta la pérdida de *Spirulina* entre la fijación y el almacenamiento del producto acabado.

El programa no tiene en cuenta:

- la influencia de la velocidad de circulación del aire interno en la evaporación.

- el efecto del sombreado de los bordes del recinto por el sol no vertical,
- las variaciones de la proporción en oxígeno en la atmósfera interna,
- la acidificación o la alcalinización eventuales del medio bajo el efecto de nutrientes (nitratos y urea),
- la dureza eventual del agua de soporte.

La salinidad, alcalinidad y pH del agua de soporte son tenidas en cuenta, lo que autoriza al uso del agua salobre y/o alcalina.

La alimentación de carbono, requerida para la regulación del pH, se puede hacer ya sea por adición directa en el medio de cultivo de bicarbonato, azúcar o gas de CO₂ puro; o bien por el enriquecimiento en CO₂ del aire del invernadero por una fracción de los gases de combustión; un balance de masas sobre el CO₂ entre la entrada de aire en el invernadero y su salida permite calcular el contenido en CO₂ de dicho aire (se supone homogéneo). El cálculo tiene en cuenta el CO₂ aportado por la urea y por los aires frescos de aireación. Nada impide mezclar las diversas fuentes de carbono.

La fotolisis a baja temperatura se tiene en cuenta en el curso del cálculo cuando la iluminación en el recinto sobrepasa un umbral en klux durante más de una hora, el cálculo es el siguiente:

Límite= 1,2 · (iluminación máxima autorizada a 10°C (=Variable 127)) · (temperatura en °C del recinto/10) · (concentración de Spirulina/ 0,4) · (velocidad de agitación /30)

El cálculo de este límite es un poco arbitrario y principalmente es para mostrar la atención del riesgo de fotolisis. Este riesgo también depende de la variedad cultivada, (por ejemplo para variedades tipo *Paracas* la variable puede tener un valor de 30 y en variedades tipo *Lonar* el valor puede ser de 45 en invernadero, pero de 20 y 30 respectivamente al aire libre a causa de la dosis más alta de UV).

Las normas de regulación térmicas adoptadas en cultivos dentro del invernadero se describen a continuación:

- Noche (excepto si aislado) y día:
 - Aireación
 - Si T_{recinto} < 37°C, flujo normal
 - Si 37 < T_{recinto} < T_{límite autorizada en el recinto} (T_{lim}) -2.5, flujo normal + 10 veces Coef_{aireación automática} (C_{aa})
 - Si T_{lim}-2.5 < T_{recinto} < T_{lim}-2, flujo normal + 15 veces C_{aa}
 - Si T_{lim}-2 < T_{recinto} < T_{lim}-1.5, flujo normal + 20 veces C_{aa}
 - Si T_{lim}-1.5 < T_{recinto} < T_{lim}-1, flujo normal + 25 veces C_{aa}
 - Si T_{lim}-1 < T_{recinto} < T_{lim}-0.75, flujo normal + 30 veces C_{aa}
 - Si T_{lim}-0.75 < T_{recinto} < T_{lim}-0.5, flujo normal + 35 veces C_{aa}
 - Si T_{lim}-0.5 < T_{recinto} flujo normal + 40 veces C_{aa}
 - Sombra fija =invariable
- Noche
 - Sombra (pantalla térmica) nocturna
- Día

- Sombra automática:
 - 0% sombra, si $T_{recinto} < 30^{\circ}\text{C}$
 - 50% sombra si $30 < T_{recinto} < 35^{\circ}\text{C}$
 - 75% sombra si $35 < T_{recinto}$

Resumen de la reglas de limitación térmica adoptadas en recintos sin invernadero.

- Día y noche
 - Sombreado fijo
- Noche
 - Sombreado nocturno
- Día
 - Sombreado automático
 - 0% sombra, si $T_{recinto} < 30^{\circ}\text{C}$
 - 50% sombra si $30 < T_{recinto} < 35^{\circ}\text{C}$
 - 75% sombra si $35 < T_{recinto}$

Para recintos sin ningún tipo de sistema de sombreado automático las variables referentes a los sistemas automáticos anterior (variables 106, 143 y 144) tienen que ser fijadas con valor nulo.

La **velocidad de absorción del CO₂ atmosférico** es proporcional al coeficiente de absorción y a la diferencia de las presiones de vapor del CO₂ en el aire y en el líquido. Kohl y Riesenfield (1960) comentan en su obra "Gas Purification" en la página 117, una fórmula para calcular a presión de vapor del CO₂ en una solución de carbonato/bicarbonato de sodio que tiene como variables la temperatura, la basicidad y la relación c (moles de CO₂/moles de base) en mmHg:

$$pCO_2 = 68.5 \cdot b^{1.29} \cdot (2c-1)^2 / [(1-c) \cdot (333 - 1.8 \cdot t) \cdot (0.0487 - 0.0006 \cdot t)]$$

donde:

- b= basicidad del medio absorbente, gmoles de base fuerte/litro
- c = relación molar CO₂/base correspondiente al pH del medio
- t= temperatura del medio, °C

La absorción de CO₂ expresado en g de *Spirulina*/día/m² (admitiendo 1,8kg de CO₂ por kg de *Spirulina*) es igual a: $0.772 \cdot k_a \cdot [0,00076 \cdot vpm \cdot (1-alt/10000)-Pco_2]$, formula en que:

- k_a= coeficiente de absorción (gmoles de CO₂ absorbidos /hora/m²/atmósfera)
- alt = altitud en metros
- 0,772= (44·24)/(1·8·760)

El coeficiente de absorción de CO₂ a través de la superficie del recinto es regulable (variable 102), pero generalmente se toma igual al valor experimental de 20 gmoles/hora/m²/atmósfera.

El modelo combina estas dos fórmulas para calcular los intercambios de CO₂ entre la atmósfera y el recinto.

La *Spirulina* sólo **respira** cuando no hay luz. Durante el día se admite que sólo ve la luz la capa superficial de altura igual al disco de Secchi (se utilizan los valores de las concentración de *Spirulina* en la curva de Secchi correspondiente a la variedades más heleicoidales, con medio de cultivo claro) y que no tiene respiración en la capa superior; pero sí en la capa inferior. Debajo sí

que existe el proceso de respiración. Se admite que la respiración está reducida al 20% del valor normal en caso de aislamiento completo nocturno (en este sentido: Amos Richmond ha mostrado que la respiración es fuertemente reducida en cultivos de fuerte concentración (10 g/L), en las capas flotantes que se forman durante la noche cuando no se agita).

Para cuantificar la respiración normal se utilizan los resultados de J.F. Cornet (1992) para la variación con la temperatura, pero para el valor de base a los 20°C se toma una media entre las indicaciones de Cornet y las de L. Tomaselli (1987). Evidentemente, esta no es más que una aproximación porque la respiración depende también de la cantidad de hidratos de carbono en la *Spirulina*. Estas hipótesis sirven de base para la simulación de la respiración, véanse a continuación algunos de los porcentajes de *Spirulina* en peso perdida por respiración en función del a temperatura:

- 10° C= 0.65%perdido/día
- 20° C= 2.3% perdido/día
- 30° C= 7.0%perdido/día
- 40°C = 22%perdido/día

El **crecimiento por fotosíntesis** se divide en dos casos:

a) Concentraciones de biomasa superiores a los 0.1 g/L (caso general)

En el programa se admite que el crecimiento de la *Spirulina* por fotosíntesis es el producto de coeficiente de ajuste y de 5 factores supuestos independientes:

- Factor función de la salinidad
- Factor función de la temperatura
- Factor función del pH
- Factor función de la iluminación
- Factor función del grado de agitación del medio de cultivo

Este postulado, que es el corazón del programa, no está muy sostenido científicamente. La comparación de las figuras 4 y 19 de la tesis de Zarrouk ("Figura 2.30: Velocidad de fotosíntesis de la *Spirulina* en función de la iluminación. Zarrouk (1966) y "Figura 2.8: velocidad de fotosíntesis en función de la temperatura. Zarrouk (1966)" respectivamente) autorizan a admitir que la función de la temperatura es independiente a la iluminación: las medidas productivas de las áreas de cultivo muestran que la influencia del pH, de la temperatura y de la luz están bastante de acuerdo con las hipótesis contenidas en este postulado.

Además, este postulado implica que la velocidad de la fotosíntesis no depende ni de la altura del líquido, ni de la concentración en *Spirulina*, ni de la concentración en nutrientes minerales (otros que el bicarbonato), así pues que la fotosíntesis es proporcional a la superficie iluminada.

Dicho de otro modo, se hacen las hipótesis, ampliamente verificadas en la práctica en las concentraciones consideradas, que el crecimiento está en la fase lineal, no limitado por los nutrientes minerales, con absorción total de la luz penetrante en el recinto. Cabe destacar que la cantidad de *Spirulina* por m² (altura de líquido x concentración) tiene, sin embargo, una influencia en la productividad por el desvío de la respiración.

Admitimos también que el crecimiento de la *Spirulina* es sólo autótrofo. Si se produjera un crecimiento mixótrofico o incluso heterótrofo, sería especialmente producido por los organismos heterótrofos que cohabitan con la *Spirulina* en el medio (bacterias, zooplancton.) De todos modos, el error cometido con el crecimiento no puede ser más que un defecto. Por lo tanto admitimos que en caso de aporte de carbono por azúcar, este es oxidado en CO₂ por un mecanismo cualquiera.

b) Para las concentraciones en biomasa inferiores a los 0.1 g/L el crecimiento es exponencial, lo que el modelo traduce multiplicando la velocidad calculada en a) por diez veces la concentración (en g/L),

La *Spirulina* es capaz de utilizar un **espectro lumínico** muy ancho gracias a su riqueza en diversos pigmentos fotosintéticos. No se tienen en cuenta las diferencias de repartición espectral entre luces solares bajo diferentes ángulos, latitudes y luces artificiales. Los "klux" (de luz visible, como los medidos en el lucímetro) se supone que tienen la equivalencia siguiente con el calor total disipado:

- 10 W/m²/klux para el sol
- 13 W/m²/klux para las lámparas

Se admite que la **temperatura ambiente** varía de forma lineal entre su mínimo al amanecer y su máximo a las 14h solares. Se calcula la radiación solar absorbida por el cultivo con o sin vidriera, a partir de las ecuaciones astronómicas y térmicas clásicas (Chouard, Michel y Simon, 1977).

La temperatura del cultivo se calcula por **balance térmico** entre los aportes de calor (de entre los cuales se encuentran la radiación solar y el calor de combustión) y las diversas pérdidas térmicas (no se tienen en cuenta las pérdidas por el suelo o hacia los lados del reactor pero se tiene en cuenta un "valor en agua equivalente" del fondo y de los lados añadiéndolo a la altura del líquido).

Se admite que el cultivo y el aire interno del invernadero son homogéneos en temperatura, y que la inercia térmica del aire es despreciable, pero se tiene en cuenta la capacidad térmica del flujo del aire que está atravesando el invernadero que extrae el calor mediante el calor sensible y se satura de agua.

Los suplementos (de agua, nutrientes) se supone que se hacen a la temperatura del cultivo. Evidentemente, se tienen en cuenta los aportes de calor provenientes de la calefacción y las lámparas.

Se admite que el sombreado reduce en un mismo porcentaje la radiación solar incidente y las pérdidas térmicas por radiación, sin afectar a los cambios térmicos por convección.

Se tiene en cuenta también la energía solar consumida por la fotosíntesis teniendo en cuenta el valor calorífico de la *Spirulina* 20,9 kJ/g (Cornet 1992). Las pérdidas térmicas por convección versus la atmósfera y por radiación hacia el cielo son calculadas como por un captor solar según las ecuaciones clásicas, como las que utilizan R. Gilles (1976) y Chouard, Michel y Simon (1977). Se omite la influencia de la inclinación eventual como es justificado después por P.I. Cooper (1981)

Para el cálculo del **consumo de electricidad para la agitación** (o el bombeo en caso de cultivo en un plano inclinado), se adopta una ecuación muy simple o más o menos arbitraria.

En caso de uso de combustible, otra opción es producir electricidad a través de un grupo de electrógeno ("súper-cogeneración" de calor, de electricidad y de CO₂), permitiendo implantar la instalación en el sitio sin tener que ser enchufado a la corriente eléctrica; si se produce un excedente de electricidad puede estar disponible para la venta u otros usos. No se contempla el uso de gases de escape para alimentar la *Spirulina* debido a las impurezas que pueda contener y que un simple quemador puede dar gases más puros.

La potencia eléctrica por aireación ha sido omitida (aireación natural probablemente insuficiente), pero la consumida por las posibles lámparas, que es muy importante, es tenida en cuenta.

El modelo incorpora una hoja económica, permitiendo calcular **un precio de coste**, teniendo en cuenta un sistema de costes provisto por el usuario.

El cálculo del precio de coste está basado en los consumos específicos correspondientes a las siguientes fórmulas:

- Fórmula del medio de cultivo sin nitrato conteniendo, además sal y carbonato y/o bicarbonato por litro de medio: 1g de K₂SO₄ + 0.02g de CO(NH₂)₂ + 0.08 de NH₄H₂PO₄ + 0.16g de MgSO₄ + 0.001 de Fe
- Fórmula de alimento que contiene, en g/Kg. de *Spirulina*: 300g de CO(NH₂)₂ + 50 NH₄H₂PO₄ + 40 K₂SO₄ + 30 MgSO₄ + 0.5 Fe
- Coste del hierro (y de los oligoelementos) omitido.

La cepa se cuenta a un precio convenido de 10€ el kilo, contando en seco.

El cálculo imputa los gastos fijos prorrateando los días de uso (número de días de funcionamiento + días de intercampaña). Si la instalación no es usada en todo el año, se debe tener en cuenta correctamente, por ejemplo incluyendo el paro anual de los días de intercampaña.

AI-1.3 Variables del programa

- Var 0-11: media de las temperaturas máximas diarias (°C) de los 12 meses.
- Var 12: A
- Var 13-24: media de las temperaturas mínimas diarias (°C) de los 12 meses.
- Var 25: B
- Var 26-37: media de las temperaturas de rosada diarias (°C) de los 12 meses.
- Var 38: C
- Var 39-50: % de tiempo nuboso – (1-fracción solar) ·100
- Var 51: D
- Var 52-63: Media de la velocidad del tiempo (m/s) de los 12 meses.
- Var 64: E
- Var 65-76: Coeficiente de desorden de la atmósfera (entre 0 y 1); constituye la variable de ajuste de la irradiación global horizontal, base de cálculo del rayo incidente.
- Var 77: F
- Var 78-89: cantidad de lluvias mensuales (L/m²) de cada mes.
- Var 90: G
- Var 91: Adición máxima de bicarbonato de sodio. [g/día/m²]
- Var 92: Adicción máxima de CO₂. [g/día/m²]
- Var 93: Adición máxima de azúcares. [g/día/m²]
- Var 94: Alcalinidad de la fuente de agua. [moles/L]
- Var 95: Alcalinidad máxima autorizada en el medio. [moles/L]
- Var 96: Alcalinidad del medio nuevo (> alcalinidad de la fuente de agua). [moles/L]
- Var 97: Altitud. [m]

- Var 98: Fuente de agua: 1=existe; 0=no existe.
- Var 99: Azimut del plano del cultivo. [°, sud=0; este=90]
- Var 100: Capacidad de recolección máxima. [g/día/m²]
- 1. Var 101: Carburante (ninguno=0; CH₄=1; C₃H₈=2; C₄H₁₀= 2; MeOH=4; EtOH=5; CH₄ en biogas=6; CO₂ en gas de compostura=7).
- Var 102: coeficiente de absorción de CO₂. [moles/h/m²/atm] (normal=20)
- Var 103: H
- Var 104: Coeficiente de ajuste de la función de fotosíntesis. (normal=1)
- Var 105: Coeficiente de ajuste de la función de respiración. (normal=1)
- Var 106: Coeficiente de modulación de la regulación del sombreado. (entre 0 y 1)
- Var 107: Coeficiente de modulación de la regulación de aireación. (entre 0 y 10)
- Var 108: Coeficiente de modulación de la velocidad del viento. (entre 0 y 10)
- Var 109: Coeficiente de transferencia térmica del aislante. (0 a 10W/m²/°C)
- Var 110: Concentración de CO₂ en el aire externo. [vpm] (normal=392, 2012)
- Var 111: Concentración mínima de sales "fijas" (cloruros, sulfatos, nitratos). [g/L] (en principio = 12-40·alcalinidad, si la salinidad del agua =0)
- Var 112: Concentración de *Spirulina* después de la recolección. [g/L] ($\geq 0,15$)
- Var 113: Concentración inicial de *Spirulina*. [g/L] ($\geq 0,15$)
- Var 114: Consumo de CO₂. [kg/kg de *Spirulina*] (normal= 1,8)
- Var 115 Aireación en el invernadero. [Nm³/h/m²]
- Var 116: I
- Var 117: Límite carburante quemado en el invernadero (cualquiera si no hay carburante). [g/hr/m²]
- Var 118: Gastos fijos. [€/m²/año] (si=0 lo calcula automáticamente)
- Var 119: Costes de secado. [€/kg]
- Var 120: Costes de condicionamiento y análisis. [€/kg]
- Var 121: Tiempo de recolección medio. [horas]
- Var 122: Inclinación del plano de cultivo, respecto a la horizontal. [grados]
- Var 123: Aislamiento de la cara superior. (no aislado=0; totalmente en la noche=1; térmico en la noche=2; térmico día y noche=3)
- Var 124: Día inicial. [número de día en el mes]
- Var 125: Potencia de la lámpara. [klux]
- Var 126: Latitud del lugar. (entre -65 y 65; <0 si en el hemisferio sur) [grados]
- Var 127: Iluminación máxima autorizada cuando el cultivo está a 10°C. (si =0 la fotolisis no se tendrá en cuenta) (valores normales 45 por Lonar y 30 por paracas en invernadero, y 30

y 20 al aire libre.)

- Var 128: Mes inicial. [número de mes]
- Var 129: J
- Var 130: Número de días consecutivos sin recolección en fin de semana.
- Var 131: Número de días consecutivos de simulación (máximo 600).
- Var 132: Número de días de paro entre campaña.
- Var 133: Número de días sin añadir bicarbonato de sodio, azúcar o CO₂ al final de la campaña.
- Var 134: Sombreado en el interior (=1) o exterior (=0) del invernadero.
- Var 135: Opción de carburante: caudal máximo de carburante por electricidad y/o calentamiento. [g/h/m²]
- Var 136: Opción precio de reventa sin el medio de cultivo inicial (=0) con (=1).
- Var 137: pH del medio de cultivo reciclado y depurado (si <8, pH en equilibrio con el medio exterior).
- Var 138: pH del agua de aporte (cualquiera si su alcalinidad es nula).
- Var 139: pH del medio de cultivo inicial.
- Var 140: pH esperado cuando se añade carbono (consigna de regulación).
- Var 141: Porcentaje de CO₂ en volumen en el biogás o el gas del compost.
- Var 142: K
- Var 143: Porcentaje de sombreado fijo (activo día y noche).
- Var 144: Porcentaje de sombreado nocturno (pantalla térmica).
- Var 145: Porcentaje de calor de la combustión transformado en electricidad.
- Var 146: Porcentaje de lluvia que se admite en el recinto.
- Var 147: Porcentaje de purgas habituales máximas autorizadas.
- Var 148: Porcentaje de la potencia de las lámparas que contribuyen a escalfar el cultivo (>32).
- Var 149: Precio del bicarbonato de sodio. [€/kg]
- Var 150: Precio del carbonato de sodio. [€/kg]
- Var 151: Precio del carburante. [€/kg]
- Var 152: Precio del CO₂. [€/kg]
- Var 153: Precio del agua. [€/m³]
- Var 154: Precio de la electricidad 220V comprada o vendida. [€/kWh]
- Var 155: L
- Var 156: Precio del fosfato monoamónico. [€/kg]

- Var 157: Precio de la sal de cocina. [€/kg]
- Var 158: Precio del azúcar. [€/kg]
- Var 159: Precio del sulfato dipotássico. [€/kg]
- Var 160: Precio del sulfato de magnesio heptahidratado (sales Epson). [€/kg]
- Var 161: Precio de la urea. [€/kg]
- Var 162: Precio de venta máxima. [€/kg]
- Var 163: Profundidad incial del cultivo [cm]
- Var 164: Profundidad máxima del cultivo [cm]
- Var 165: Purga, añadido de carbono, agua, reciclado suprimidos los días de paro (=1); o se mantienen (=0).
- Var 166: Recolección solamente si pH> valor fijo.
- Var 167: Reciclado del medio de cultivo. [L/m²/día]
- Var 168: M
- Var 169: Referencia del sitio.
- Var 170: Rendimiento de la recolección, [%]
- Var 171: Salinidad total del agua de aporte. [g/L]
- Var 172: Salinidad total máxima autozada en el medio de cultivo. [g/L]
- Var 173: Invernadero (=1 si el recinto está en invernadero, sino=0).
- Var 174: Invernadero de doble capa. (=0 si pared PE simple; =1 si doble pared PE con cámara de aire; =2 si doble pared de PC; =3 si triple pared de PC).
- Var 175: Umbral de iluminación con aislamiento. [klux]
- Var 176: Temperatura de cultivo máxima autorizada. [°C]
- Var 177: Temperatura de calentamiento por bomba de calor, o por carburante (si no hay bomba de calor = 0). [°C]
- Var 178: Tasa de regulación de las respiración nocturna.
- Var 179: Temperatura bajo la cual puede haber fotoinhibición (alrededor de los 23°C) Si =0 la fotoinhibición no se tiene en cuenta.
- Var 180: Valor en agua equivalente de los fondos y los bordes del recinto. [cm]
- Var 181: N
- Var 182: Variación del precio de venta (bajo) en función de la producción (=ventas) anual. [€/kg por kg/m²/año]
- Var 183: Velocidad media de agitación. (30=velocidad normal; >30 productividad excepcional. [cm/s]
- Var 184 Z: Temperatura de regulación para calentar con carburante. [°C]
- Var 185 ZZ: Tasa de purga mínima. [%/día]

AI-1.4 Presentación de los resultados

Durante el cálculo aparece un gráfico en la pantalla que da la producción en función de los días. En este gráfico se imprimen las siguientes variables diferenciadas por colores:

- Verde: Productividad [g/día/m²]
- Rojo: Temperatura máxima del recinto [°C]
- Azul: Temperatura mínimas del recinto [°C]
- Negro: nivel del recinto [cm]
- Rosa: Concentración x 30 [g/L]
- Malva: Salinidad/2 [g/L]

También se imprime un documento SPIRPAC-F.txt cada vez que se ejecuta el programa con los datos numéricos diarios, los cuáles incluyen los valores anteriores y

- El valor del pH
- El consumo de energía

El valor de la concentración de *Spirulina* es medido justo antes de la recolección, el pH es medido a las 19h.

AI-1.5 Entorno del programa

La resolución de pantalla recomendada es de 1024x768 pixels.

En la figura AI-1 se muestra una captura de pantalla con el programa en Spirpac-f en funcionamiento. En la captura de pantalla se han añadido una numeración (color verde) para referenciar el contenido.

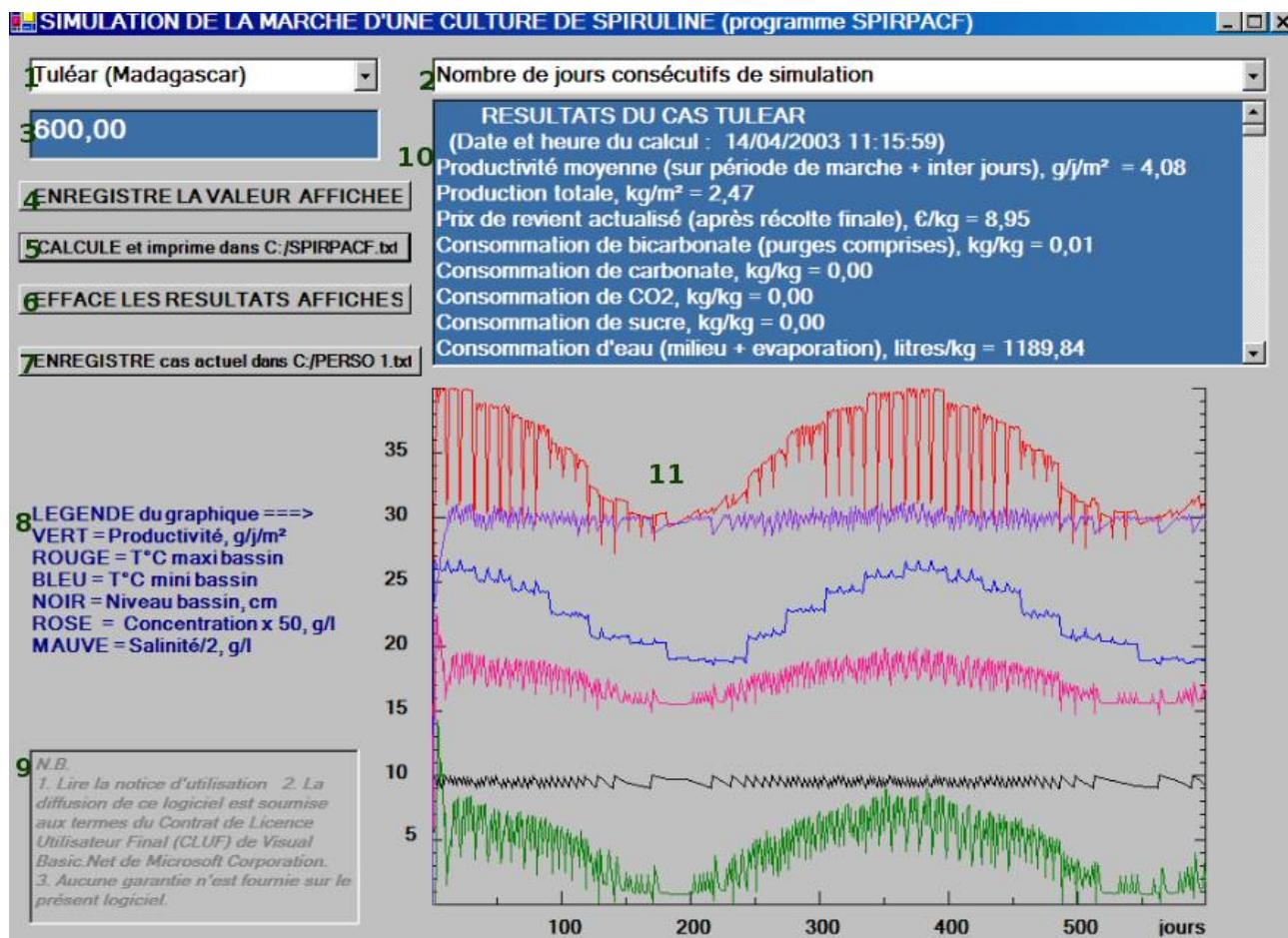


Figura Al-1 Entorno de Spirpac-f

1. Listado de casos existentes.
2. Parámetro a visualizar.
3. Visualización del parámetro escogido.
4. Modificar eventualmente el parámetro.
5. Efectuar el cálculo con los valores del caso existente con o sin modificar.
6. Borrar los resultados de la pantalla
7. Guardar la evolución diaria en documento en la ruta <C:/Perso>
8. Leyenda del gráfico
9. Nota del autor
10. Resumen de los resultados del caso.
11. Resultados del caso en forma gráfica.

Cuando se crea el documento SPIRPACF.txt (clicando en 7) el significado de los resultados es el siguiente:

- PROD: producción de Spirulina. [g/día/m²]
- CARBUR: gramos de carburante.

- COP: COP medio del día de la bomba de calor.
- KwhrPAC: consumo eléctrico diario de la bomba de calor. [kWhr/m^2]
- WattPAC= potencia pico de la bomba de calor durante el día. [W/m^2]

AI-2 Adaptación de Spirpac-f para los módulos diseñados.

El programa spirpac-f fue diseñado para ser utilizado en cultivos en exteriores y en recintos abiertos.

Para los módulos 1, ,2 y 3 los valores de la productividad y la producción son directamente los valores dados por el programa spirpac-f multiplicados por la superficie de cultivo. Sin embargo para el módulo 4 se ha procedido a una adaptación del programa para que los valores sean los más aproximados posibles teniendo en cuenta las características de cada cultivo.

Se ha intentado adaptar el programa spirpac-f para el cálculo de la productividad del módulo 5. Sin embargo, no se ha considerado oportuno utilizar spirpac-f para calcular la productividad teórica debido a una suma de factores que podrían distorsionar los resultados:

- El programa spirpac-f no fue diseñado para calcular la producción de Spirulina en fotobiorreactores.
- El programa spirpac-f no fue diseñado para calcular la producción de Spirulina en interiores, más allá del interior de un invernadero.
- Las condiciones de contorno de cultivo en interiores pueden ser muy variables.

AI-2.1 Adaptación del módulo 4.

El recinto del módulo 4 son tubos de 72 mm diámetro interior y 80 mm diámetro exterior y 2 metros de longitud.

La superficie con posibilidad de ser iluminada es de: $0,45 \text{ m}^2$. Sin embargo, es improbable que la totalidad de la superficie sea iluminada al mismo tiempo. Gracias a la inclusión de la tela reflectante mylar, se hace la hipótesis que la superficie iluminada será de $2/3$ de la total ($0,3 \text{ m}^2$).

La profundidad del cultivo se ha definido con un valor igual al radio interior (3,6 cm).

La cantidad máxima de recolección se ha fijado en $8,65 \text{ gr}/\text{m}^2/\text{día}$. Este valor corresponde a la media aritmética entre la cantidad habitual recogida por lote (4 gr/día) y la cantidad máxima recogida por m^2 ($0,3 \text{ m}^2$ por cada lote con una recolección de 4 gr/día, en un m^2 , correspondiente a 3,3 lotes, se puede recoger 13,3 gramos).

El coeficiente de absorción del CO_2 se ha fijado en 38 moles/hora/ m^2/atm . Este valor corresponde a un valor en que las bolas de aire cubren prácticamente la totalidad de la superficie en contacto con la atmósfera.

Con estas hipótesis se ha calculado el valor de la productividad teniendo en cuenta que en las zonas de Barcelona y Madrid hay 4 lotes por módulo ($1,2 \text{ m}^2$), y en las zonas de Santa Cruz de Tenerife hay 3 lotes ($0,9 \text{ m}^2$).

AI-3 Variables de entrada de los cálculos realizados

En este apartado se muestran todas las variables de entrada en cada una de las simulaciones realizadas con el programa spirpac-f.

AI-3.1 Variables de entrada para los resultados de la tabla 3.5

AI-3.1.1 Agitación con bomba de aire

AI-3.1.1.1 Concentración de 300 ppm

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,
12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.
48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.
31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.
458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,300,0,30,"/H/",1,1,0,0,0
,0,300,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.338,50,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/"
,50,0,0,80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","barcelona",95,
0,50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",30,30,0,0,

AI-3.1.1.2 Concentración de 392 ppm

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,
12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.
48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.
31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.
458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,300,0,30,"/H/",1,1,0,0,0
,0,392,1,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.338,50,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/"
,50,0,0,80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","barcelona",9
5,0,50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",30,30,0,0,

AI-3.1.1.3 Concentración de 500 ppm

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,
12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.
48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.
31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.
458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,300,0,30,"/H/",1,1,0,0,0
,0,500,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.338,50,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/"
,50,0,0,80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","barcelona",95,
0,50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",30,30,0,0,

AI-3.1.1.4 Concentración de 750 ppm

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,
12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.
48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.
31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.
458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,300,0,30,"/H/",1,1,0,0,0
,0,750,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.338,50,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/"
,50,0,0,80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","barcelona",95,
0,50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",30,30,0,0,

AI-3.1.1.5 Concentración de 1000 ppm

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,
12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.

48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,300,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,1000,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.338,50,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","barcelona",95,0.50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",30,30,0,0,

AI-3.1.2 Agitación con bomba de agua

AI-3.1.2.1 Concentración de 300 ppm

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,4.5,3.6,7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,300,0,20,"/H/",1,1,0,0,0,0,300,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.338,50,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","barcelona",95,0.50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",31,30,0,0,

AI-3.1.2.2 Concentración de 392 ppm

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,4.5,3.6,7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,300,0,20,"/H/",1,1,0,0,0,0,300,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.338,50,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","barcelona",95,0.50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",31,30,0,0,

AI-3.1.2.3 Concentración de 500 ppm

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,4.5,3.6,7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,300,0,20,"/H/",1,1,0,0,0,0,500,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.338,50,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","barcelona",95,0.50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",31,30,0,0,

AI-3.1.2.4 Concentración de 750 ppm

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,4.5,3.6,7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,300,0,20,"/H/",1,1,0,0,0,0,750,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.338,50,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","barcelona",95,0.50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",31,30,0,0,

AI-3.1.2.5 Concentración de 1000 ppm

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,300,0,20,"/H/",1,1,0,0,0,0,1000,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.338,50,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","barcelona",95,0.50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",31,30,0,0,

AI-3.2 Variables de entrada para los resultados de la tabla 3.6

AI-3.2.1 Sin invernadero

AI-3.2.1.1 Sin aporte de Carbono

Barcelona

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392,1,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.175,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","BARCELO NA",95,0.50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Madrid

9.7,12,15.7,17.5,21.4,26.9,31.2,30.7,26,19,13.4,10.1,"/A/",2.6,3.7,5.6,7.2,10.7,15.1,18.4,18.2,15,10.2,6,3.8,"/B/",1.2,1.7,1.7,3.4,6.7,8.9,9.9,10.3,9.3,7.8,4.4,2.6,"/C/",49.16,45.88,40.9,40.98,38.3,30.37,20.73,20.72,29.4,41.67,46.43,56.28,"/D/",1.4,1.9,2.2,1.9,1.9,1.9,2.2,1.9,1.7,1.7,1.4,1.4,"/E/",0.534,0.55,0.493,0.528,0.425,0.415,0.524,0.574,0.57,0.554,0.596,0.542,"/F/",26.17,11.42,38.84,45.22,55.3,7,33.02,0,7.37,1.27,36.58,49.51,3.06,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,660,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392,1,8,0.24,0.55,1.8,0.2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,40.417,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","madrid",95,0.50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Santa Cruz de Tenerife

20.6,20.9,21.7,22.3,23.7,25.7,28.3,28.8,27.9,26,23.9,21.8,"/A/",15.1,15.1,15.6,16.2,17.5,19,20.8,21.4,21.3,20,18.1,16.2,"/B/",6.8,7.2,8,8.5,11,13.8,16.5,17.6,16.4,13.6,10.3,8.1,"/C/",44.52,39.33,40.9,40.54,34.57,28.26,22.01,21.83,31.42,37.65,41.77,44.66,"/D/",2.2,2.5,2.5,2.2,2.2,1.9,2.2,2.2,2.5,1.9,1.9,2.2,"/E/",0.33,0.336,0.29,0.251,0.289,0.348,0.416,0.388,0.323,0.312,0.349,0.353,"/F/",34,36,29,1,4,4,1,0,1,6,18,27,44,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,35,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392,1,8,0.24,0.55,1.8,0.2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,28.47,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","santa cruz",95,0.50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

AI-3.2.1.2 Con aporte de Bicarbonato

Barcelona

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,

12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.458,"/F/",41.29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",60,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0.392,1.8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,0,1,0,41.175,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0.8,8,10.4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","BARCELONA",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Madrid

9.7,12,15.7,17.5,21.4,26.9,31.2,30.7,26,19,13.4,10.1,"/A/",2.6,3.7,5.6,7.2,10.7,15.1,18.4,18.2,15,10.2,6,3.8,"/B/",1.2,1.7,1.7,3.4,6.7,8.9,9.9,10.3,9.3,7.8,4.4,2.6,"/C/",49.16,45.88,40.9,40.98,38.3,30.37,20.73,20.72,29.4,41.67,46.43,56.28,"/D/",1.4,1.9,2.2,1.9,1.9,1.9,2.2,1.9,1.7,1.7,1.4,1.4,"/E/",0.534,0.55,0.493,0.528,0.425,0.415,0.524,0.574,0.57,0.554,0.596,0.542,"/F/",26.17,11.42,38.84,45.22,55.37,33.02,0,7.37,1.27,36.58,49.51,3.06,"/G/",60,0,0,0,0.25,0.15,660,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0.392,1.8,0.24,0.55,1.8,0.2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,0,1,0,40.417,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0.8,8,10.4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","madrid",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Santa Cruz de Tenerife

20.6,20.9,21.7,22.3,23.7,25.7,28.3,28.8,27.9,26,23.9,21.8,"/A/",15.1,15.1,15.6,16.2,17.5,19,20.8,21.4,21.3,20,18.1,16.2,"/B/",6.8,7.2,8,8.5,11,13.8,16.5,17.6,16.4,13.6,10.3,8.1,"/C/",44.52,39.33,40.9,40.54,34.57,28.26,22.01,21.83,31.42,37.65,41.77,44.66,"/D/",2.2,2.5,2.5,2.2,2.2,2.1,9,2.2,2.2,2.5,1.9,1.9,2.2,"/E/",0.33,0.336,0.29,0.251,0.289,0.348,0.416,0.388,0.323,0.312,0.349,0.353,"/F/",34,36,29,1,4,4,1,0,1,6,18,27,44,"/G/",60,0,0,0,0.25,0.15,35,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0.392,1.8,0.24,0.55,1.8,0.2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,0,1,0,28.47,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0.8,8,10.4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","santa cruz",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

AI-3.2.1.3 Con aporte de CO₂

Barcelona

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.458,"/F/",41.29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,200,0,0,0.25,0.15,4,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0.392,1.8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,0,1,0,41.175,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0.8,8,10,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","BARCELO NA",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Madrid

9.7,12,15.7,17.5,21.4,26.9,31.2,30.7,26,19,13.4,10.1,"/A/",2.6,3.7,5.6,7.2,10.7,15.1,18.4,18.2,15,10.2,6,3.8,"/B/",1.2,1.7,1.7,3.4,6.7,8.9,9.9,10.3,9.3,7.8,4.4,2.6,"/C/",49.16,45.88,40.9,40.98,38.3,30.37,20.73,20.72,29.4,41.67,46.43,56.28,"/D/",1.4,1.9,2.2,1.9,1.9,1.9,2.2,1.9,1.7,1.7,1.4,1.4,"/E/",0.534,0.55,0.493,0.528,0.425,0.415,0.524,0.574,0.57,0.554,0.596,0.542,"/F/",26.17,11.42,38.84,45.22,55.37,33.02,0,7.37,1.27,36.58,49.51,3.06,"/G/",0,200,0,0,0.25,0.15,660,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0.392,1.8,0.24,0.55,1.8,0.2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,0,1,0,40.417,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0.8,8,10,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","madrid",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Santa Cruz de Tenerife

20.6,20.9,21.7,22.3,23.7,25.7,28.3,28.8,27.9,26,23.9,21.8,"/A/",15.1,15.1,15.6,16.2,17.5,19,20.8,21,4,21.3,20,18.1,16.2,"/B/",6.8,7.2,8,8.5,11,13.8,16.5,17.6,16.4,13.6,10.3,8.1,"/C/",44.52,39.33,40.9,4,0.54,34.57,28.26,22.01,21.83,31.42,37.65,41.77,44.66,"/D/",2.2,2.5,2.5,2.2,2.2,1.9,2.2,2.2,2.5,1.9,1,9,2.2,"/E/",0.33,0.336,0.29,0.251,0.289,0.348,0.416,0.388,0.323,0.312,0.349,0.353,"/F/",34,36,29,1,4,4,1,0,1,6,18,27,44,"/G/",0,200,0,0,0.25,0.15,35,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0.2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,28.47,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0.8,8,10,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","santa cruz",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

AI-3.2.1.4 Con aporte de azúcar

Barcelona

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43,48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3,31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0,458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,3,0,0.25,0.15,4,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.175,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0.8,8,10.4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","BARCELO NA",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Madrid

9.7,12,15.7,17.5,21.4,26.9,31.2,30.7,26,19,13.4,10.1,"/A/",2.6,3.7,5.6,7.2,10.7,15.1,18.4,18.2,15,10,2,6,3.8,"/B/",1.2,1.7,1.7,3.4,6.7,8.9,9.9,10.3,9.3,7.8,4.4,2.6,"/C/",49.16,45.88,40.9,40.98,38.3,30.37,20.73,20.72,29.4,41.67,46.43,56.28,"/D/",1.4,1.9,2.2,1.9,1.9,1.9,2.2,1.9,1.7,1.7,1.4,1.4,"/E/",0.534,0,55,0.493,0.528,0.425,0.415,0.524,0.574,0.57,0.554,0.596,0.542,"/F/",26.17,11.42,38.84,45.22,55.3,7,33.02,0,7.37,1.27,36.58,49.51,3.06,"/G/",0,0,3,0,0.25,0.15,660,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0.2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,40.417,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0.8,8,10.4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","madrid",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Santa Cruz de Tenerife

20.6,20.9,21.7,22.3,23.7,25.7,28.3,28.8,27.9,26,23.9,21.8,"/A/",15.1,15.1,15.6,16.2,17.5,19,20.8,21,4,21.3,20,18.1,16.2,"/B/",6.8,7.2,8,8.5,11,13.8,16.5,17.6,16.4,13.6,10.3,8.1,"/C/",44.52,39.33,40.9,4,0.54,34.57,28.26,22.01,21.83,31.42,37.65,41.77,44.66,"/D/",2.2,2.5,2.5,2.2,2.2,1.9,2.2,2.2,2.5,1.9,1,9,2.2,"/E/",0.33,0.336,0.29,0.251,0.289,0.348,0.416,0.388,0.323,0.312,0.349,0.353,"/F/",34,36,29,1,4,4,1,0,1,6,18,27,44,"/G/",0,0,3,0,0.25,0.15,35,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,28.47,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0.8,8,10.4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","santa cruz",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

AI-3.2.2 Con invernadero

AI-3.2.2.1 Sin aporte de Carbono

Barcelona

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43,48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3,31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0,458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,28.47,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0.8,8,10.4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","barcelona",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

0,392.1,8,0,24,0,55,1,8,0,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41,175,45,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,0,8,8,10,4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0,4,0,1,1,1,3,0,14,"/L/",1,0,2,1,0,5,0,3,0,25,150,15,20,1,9,6,0,"/M/","BARCELONA",95,0,50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Madrid

9.7,12,15.7,17.5,21.4,26.9,31.2,30.7,26,19,13.4,10.1,"/A/",2.6,3.7,5.6,7.2,10.7,15.1,18.4,18.2,15,10,2,6,3.8,"/B/",1.2,1.7,1.7,3.4,6.7,8.9,9.9,10.3,9.3,7.8,4.4,2.6,"/C/",49.16,45.88,40.9,40.98,38.3,30.37,20.73,20.72,29.4,41.67,46.43,56.28,"/D/",1.4,1.9,2.2,1.9,1.9,1.9,2.2,1.9,1.7,1.7,1.4,1.4,"/E/",0.534,0,.55,0.493,0.528,0.425,0.415,0.524,0.574,0.57,0.554,0.596,0.542,"/F/",26.17,11.42,38.84,45.22,55.37,33.02,0,7.37,1.27,36.58,49.51,3.06,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,660,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,40,417,45,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,8,8,10,4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0,4,0,1,1,1,3,0,14,"/L/",1,0,2,1,0,5,0,3,0,25,150,15,20,1,9,6,0,"/M/","madrid",95,0,50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Santa Cruz de Tenerife

20.6,20.9,21.7,22.3,23.7,25.7,28.3,28.8,27.9,26,23.9,21.8,"/A/",15.1,15.1,15.6,16.2,17.5,19,20.8,21,4,21.3,20,18.1,16.2,"/B/",6.8,7.2,8,8.5,11,13.8,16.5,17.6,16.4,13.6,10.3,8.1,"/C/",44.52,39.33,40.9,40.54,34.57,28.26,22.01,21.83,31.42,37.65,41.77,44.66,"/D/",2.2,2.5,2.5,2.2,2.2,1.9,2.2,2.2,2.5,1.9,1.9,2.2,"/E/",0.33,0.336,0.29,0.251,0.289,0.348,0.416,0.388,0.323,0.312,0.349,0.353,"/F/",34,36,29,14,4,1,0,1,6,18,27,44,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,35,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0,3,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,28,47,30,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,8,8,10,4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0,4,0,1,1,1,3,0,14,"/L/",1,0,2,1,0,5,0,3,0,25,150,15,20,1,9,6,0,"/M/","santa cruz",95,0,50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

AI-3.2.2.2 Con aporte de Bicarbonato

Barcelona

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",60,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41,175,45,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,8,8,10,4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0,4,0,1,1,1,3,0,14,"/L/",1,0,2,1,0,5,0,3,0,25,150,15,20,1,9,6,0,"/M/","BARCELONA",95,0,50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Madrid

9.7,12,15.7,17.5,21.4,26.9,31.2,30.7,26,19,13.4,10.1,"/A/",2.6,3.7,5.6,7.2,10.7,15.1,18.4,18.2,15,10,2,6,3.8,"/B/",1.2,1.7,1.7,3.4,6.7,8.9,9.9,10.3,9.3,7.8,4.4,2.6,"/C/",49.16,45.88,40.9,40.98,38.3,30.37,20.73,20.72,29.4,41.67,46.43,56.28,"/D/",1.4,1.9,2.2,1.9,1.9,1.9,2.2,1.9,1.7,1.7,1.4,1.4,"/E/",0.534,0,.55,0.493,0.528,0.425,0.415,0.524,0.574,0.57,0.554,0.596,0.542,"/F/",26.17,11.42,38.84,45.22,55.37,33.02,0,7.37,1.27,36.58,49.51,3.06,"/G/",60,0,0,0,0.25,0.15,660,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,40,417,45,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,8,8,10,4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0,4,0,1,1,1,3,0,14,"/L/",1,0,2,1,0,5,0,3,0,25,150,15,20,1,9,6,0,"/M/","madrid",95,0,50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Santa Cruz de Tenerife

20.6,20.9,21.7,22.3,23.7,25.7,28.3,28.8,27.9,26,23.9,21.8,"/A/",15.1,15.1,15.6,16.2,17.5,19,20.8,21,4,21.3,20,18.1,16.2,"/B/",6.8,7.2,8,8.5,11,13.8,16.5,17.6,16.4,13.6,10.3,8.1,"/C/",44.52,39.33,40.9,40.54,34.57,28.26,22.01,21.83,31.42,37.65,41.77,44.66,"/D/",2.2,2.5,2.5,2.2,2.2,1.9,2.2,2.2,2.5,1.9,1.9,2.2,"/E/",0.33,0.336,0.29,0.251,0.289,0.348,0.416,0.388,0.323,0.312,0.349,0.353,"/F/",34,36,29,14,4,1,0,1,6,18,27,44,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,35,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0,3,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,28,47,30,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,8,8,10,4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0,4,0,1,1,1,3,0,14,"/L/",1,0,2,1,0,5,0,3,0,25,150,15,20,1,9,6,0,"/M/","santa cruz",95,0,50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

9,2,2,"/E/",0.33,0.336,0.29,0.251,0.289,0.348,0.416,0.388,0.323,0.312,0.349,0.353,"/F/",34,36,29,1
4,4,1,0,1,6,18,27,44,"/G/",60,0,0,0,0.25,0.15,35,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0
.2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,0,1,0,28.47,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4
,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","santa
cruz",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

AI-3.2.2.3 Con aporte de CO₂

Barcelona

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,
12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.
48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.
31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.
458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,200,0,0,0.25,0.15,4,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,
0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0.2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,0,1,0,41.175,45,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,8.8,10,0,"/K/",
50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","BARCEL
ONA",95,0,50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Madrid

9.7,12,15.7,17.5,21.4,26.9,31.2,30.7,26,19,13.4,10.1,"/A/",2.6,3.7,5.6,7.2,10.7,15.1,18.4,18.2,15,10.
2,6,3.8,"/B/",1.2,1.7,1.7,3.4,6.7,8.9,9.9,10.3,9.3,7.8,4.4,2.6,"/C/",49.16,45.88,40.9,40.98,38.3,30.37,
20.73,20.72,29.4,41.67,46.43,56.28,"/D/",1.4,1.9,2.2,1.9,1.9,2.2,1.9,1.7,1.7,1.4,1.4,"/E/",0.534,0
.55,0.493,0.528,0.425,0.415,0.524,0.574,0.57,0.554,0.596,0.542,"/F/",26.17,11.42,38.84,45.22,55.3
7,33.02,0,7.37,1.27,36.58,49.51,3.06,"/G/",0,200,0,0,0.25,0.15,660,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,39
2.1,8,0.24,0.55,1.8,0.2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,0,1,0,40.417,45,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,8.8,10,0,"/K/",50
,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","madrid",95,0,
50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Santa Cruz de Tenerife

20.6,20.9,21.7,22.3,23.7,25.7,28.3,28.8,27.9,26,23.9,21.8,"/A/",15.1,15.1,15.6,16.2,17.5,19,20.8,21.
4,21.3,20,18.1,16.2,"/B/",6.8,7.2,8,8.5,11,13.8,16.5,17.6,16.4,13.6,10.3,8.1,"/C/",44.52,39.33,40.9,4
0.54,34.57,28.26,22.01,21.83,31.42,37.65,41.77,44.66,"/D/",2.2,2.5,2.5,2.2,2.2,1.9,2.2,2.2,2.5,1.9,1.
9,2.2,"/E/",0.33,0.336,0.29,0.251,0.289,0.348,0.416,0.388,0.323,0.312,0.349,0.353,"/F/",34,36,29,1
4,4,1,0,1,6,18,27,44,"/G/",0,200,0,0,0.25,0.15,35,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,
0.2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,0,1,0,28.47,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,8.8,10,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,
0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","santa
cruz",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

AI-3.2.2.4 Con aporte de azúcar

Barcelona

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,
12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.
48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.
31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.
458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,200,0,0,0.25,0.15,4,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,
0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0.2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,0,1,0,41.175,45,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,8.8,10,0,"/K/",
50,0,0,100,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","BARCEL
ONA",95,0,50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Madrid

9.7,12,15.7,17.5,21.4,26.9,31.2,30.7,26,19,13.4,10.1,"/A/",2.6,3.7,5.6,7.2,10.7,15.1,18.4,18.2,15,10,2,6,3.8,"/B/",1.2,1.7,1.7,3.4,6.7,8.9,9.9,10.3,9.3,7.8,4.4,2.6,"/C/",49.16,45.88,40.9,40.98,38.3,30.37,20.73,20.72,29.4,41.67,46.43,56.28,"/D/",1.4,1.9,2.2,1.9,1.9,1.9,2.2,1.9,1.7,1.7,1.4,1.4,"/E/",0.534,0.55,0.493,0.528,0.425,0.415,0.524,0.574,0.57,0.554,0.596,0.542,"/F/",26.17,11.42,38.84,45.22,55.37,33.02,0,7.37,1.27,36.58,49.51,3.06,"/G/",0,0,3,0,0.25,0.15,660,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0.2,"/I/",10,0,0,9,0,0,1,0,40.417,45,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0,1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","madrid",95,0,50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

Santa Cruz de Tenerife

20.6,20.9,21.7,22.3,23.7,25.7,28.3,28.8,27.9,26,23.9,21.8,"/A/",15.1,15.1,15.6,16.2,17.5,19,20.8,21,4,21.3,20,18.1,16.2,"/B/",6.8,7.2,8,8.5,11,13.8,16.5,17.6,16.4,13.6,10.3,8.1,"/C/",44.52,39.33,40.9,40.54,34.57,28.26,22.01,21.83,31.42,37.65,41.77,44.66,"/D/",2.2,2.5,2.5,2.2,2.2,1.9,2.2,2.2,2.5,1.9,1.9,2.2,"/E/",0.33,0.336,0.29,0.251,0.289,0.348,0.416,0.388,0.323,0.312,0.349,0.353,"/F/",34,36,29,1,4,4,1,0,1,6,18,27,44,"/G/",0,0,3,0,0.25,0.15,35,1,0,30,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0.3,"/I/",10,0,0,9,0,0,1,0,28.47,30,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,100,10,75,1,0.4,0,1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,15,20,1,9.6,0,"/M/","santa cruz",95,0,50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,35,0,0,

AI-3.3 Variables de entrada para el módulo 1

AI-3.3.1 Módulo 1 en Barcelona

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.31,3.61,3.03,3.64,3,2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,300,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.338,50,3,"/J/",1,245,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,0.80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","barcelona",95,0,50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",30,30,0,0,

AI-3.3.2 Módulo 1 en Madrid

9.7,12,15.7,17.5,21.4,26.9,31.2,30.7,26,19,13.4,10.1,"/A/",2.6,3.7,5.6,7.2,10.7,15.1,18.4,18.2,15,10,2,6,3.8,"/B/",1.2,1.7,1.7,3.4,6.7,8.9,9.9,10.3,9.3,7.8,4.4,2.6,"/C/",49.16,45.88,40.9,40.98,38.3,30.37,20.73,20.72,29.4,41.67,46.43,56.28,"/D/",1.4,1.9,2.2,1.9,1.9,1.9,2.2,1.9,1.7,1.7,1.4,1.4,"/E/",0.534,0.55,0.493,0.528,0.425,0.415,0.524,0.574,0.57,0.554,0.596,0.542,"/F/",26.17,11.42,38.84,45.22,55.37,33.02,0,7.37,1.27,36.58,49.51,3.06,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,660,1,0,300,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,40.417,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,0.80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","madrid",95,0,50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",30,30,0,0,

AI-3.3.3 Módulo 1 en Santa Cruz de Tenerife

20.6,20.9,21.7,22.3,23.7,25.7,28.3,28.8,27.9,26,23.9,21.8,"/A/",15.1,15.1,15.6,16.2,17.5,19,20.8,21,4,21.3,20,18.1,16.2,"/B/",6.8,7.2,8,8.5,11,13.8,16.5,17.6,16.4,13.6,10.3,8.1,"/C/",44.52,39.33,40.9,40.54,34.57,28.26,22.01,21.83,31.42,37.65,41.77,44.66,"/D/",2.2,2.5,2.5,2.2,2.2,1.9,2.2,2.2,2.5,1.9,1.9,2.2,"/E/",0.33,0.336,0.29,0.251,0.289,0.348,0.416,0.388,0.323,0.312,0.349,0.353,"/F/",34,36,29,1,4,4,1,0,1,6,18,27,44,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,35,1,0,300,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,28.47,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,0.80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","tenerife",95,0,50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",30,30,0,0,

AI-3.4 Variables de entrada para el módulo 2

AI-3.4.1 Módulo 2 en Barcelona

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,
12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.
48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.
31,3.61,3.03,3.64,3.2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.
458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0,300,0,30,"/H/",1,1,0,0,0
,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.338,50,3,"/J/",1,245,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/
/",50,0,0,80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","barcelona",9
5,0,50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/",30,30,0,0,

AI-3.4.2 Módulo 2 en Madrid

9.7,12,15.7,17.5,21.4,26.9,31.2,30.7,26,19,13.4,10.1,"/A/",2.6,3.7,5.6,7.2,10.7,15.1,18.4,18.2,15,10.
2,6,3.8,"/B/",1.2,1.7,1.7,3.4,6.7,8.9,9.9,10.3,9.3,7.8,4.4,2.6,"/C/",49.16,45.88,40.9,40.98,38.3,30.37,
20.73,20.72,29.4,41.67,46.43,56.28,"/D/",1.4,1.9,2.2,1.9,1.9,1.9,2.2,1.9,1.7,1.7,1.4,1.4,"/E/",0.534,0.
.55,0.493,0.528,0.425,0.415,0.524,0.574,0.57,0.554,0.596,0.542,"/F/",26.17,11.42,38.84,45.22,55.3
7,33.02,0,7.37,1.27,36.58,49.51,3.06,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,660,1,0,300,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.
1,8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,21,0,40.417,40,3,"/J/",1,215,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,
0,0,80,5,32,1,0.4,0.1,5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","madrid",95,0,50,0,
0,1,41,0,0,23,1,"/N/",30,30,0,0,

AI-3.3.3 Módulo 2 en Santa Cruz de Tenerife

20.6,20.9,21.7,22.3,23.7,25.7,28.3,28.8,27.9,26,23.9,21.8,"/A/",15.1,15.1,15.6,16.2,17.5,19,20.8,21.
4,21.3,20,18.1,16.2,"/B/",6.8,7.2,8,8.5,11,13.8,16.5,17.6,16.4,13.6,10.3,8.1,"/C/",44.52,39.33,40.9,4
0.54,34.57,28.26,22.01,21.83,31.42,37.65,41.77,44.66,"/D/",2.2,2.5,2.5,2.2,2.2,1.9,2.2,2.2,2.5,1.9,1.
9,2.2,"/E/",0.33,0.336,0.29,0.251,0.289,0.348,0.416,0.388,0.323,0.312,0.349,0.353,"/F/",34,36,29,1
4,4,1,0,1,6,18,27,44,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,35,1,0,300,0,30,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,2
,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,28.47,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,8.8,10.4,0,"/K/",50,0,0,80,5,32,1,0.4,0.1,
5,3,0.14,"/L/",1,0.7,1,0.5,0.3,0.25,150,25,30,1,9.6,0,"/M/","tenerife",95,0,50,0,0,1,41,0,0,23,1,"/N/"
,30,30,0,0,

AI-3.5 Variables de entrada para el módulo 3

AI-3.5.1 Módulo 3 en Barcelona

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,
12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.
48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.
31,3.61,3.03,3.64,3.2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.
458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,100,0,0,0.25,0.15,4,1,0,30,0,20,"/H/",1,1,0,0,0
,0,392.1,8,0.24,0.55,1.8,0.1,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,41.175,45,3,"/J/",0,275,0,0,0,0,0,0,8.8,10,0,0,"/K/",50
,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,18,20,1,9.6,0,"/M/","BARCE",95,0,
50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,33,0,0,

AI-3.5.2 Módulo 3 en Madrid

9.7,12,15.7,17.5,21.4,26.9,31.2,30.7,26,19,13.4,10.1,"/A/",2.6,3.7,5.6,7.2,10.7,15.1,18.4,18.2,15,10.
2,6,3.8,"/B/",1.2,1.7,1.7,3.4,6.7,8.9,9.9,10.3,9.3,7.8,4.4,2.6,"/C/",49.16,45.88,40.9,40.98,38.3,30.37,
20.73,20.72,29.4,41.67,46.43,56.28,"/D/",1.4,1.9,2.2,1.9,1.9,1.9,2.2,1.9,1.7,1.7,1.4,1.4,"/E/",0.534,0.
.55,0.493,0.528,0.425,0.415,0.524,0.574,0.57,0.554,0.596,0.542,"/F/",26.17,11.42,38.84,45.22,55.3
7,33.02,0,7.37,1.27,36.58,49.51,3.06,"/G/",0,100,0,0,0.25,0.15,660,1,0,30,0,20,"/H/",1,1,0,0,0,0,392.
1,8,0.24,0.55,1.8,0.1,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,40.417,45,3,"/J/",1,255,0,0,0,0,0,0,8.8,10,0,0,"/K/",50
,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,18,20,1,9.6,0,"/M/","madrid",95,0,50,0,
50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,33,0,0,

,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,31,0,0,

AI-3.5.3 Módulo 3 en Santa Cruz de Tenerife

20.6,20.9,21.7,22.3,23.7,25.7,28.3,28.8,27.9,26,23.9,21.8,"/A/",15.1,15.1,15.6,16.2,17.5,19,20.8,21.4,21.3,20,18.1,16.2,"/B/",6.8,7.2,8.8,5.11,13.8,16.5,17.6,16.4,13.6,10.3,8.1,"/C/",44.52,39.33,40.9,40.54,34.57,28.26,22.01,21.83,31.42,37.65,41.77,44.66,"/D/",2.2,2.5,2.5,2.2,2.2,1.9,2.2,2.2,2.5,1.9,1.9,2.2,"/E/",0.33,0.336,0.29,0.251,0.289,0.348,0.416,0.388,0.323,0.312,0.349,0.353,"/F/",34,36,29,1,4,4,1,0,1,6,18,27,44,"/G/",0,100,0,0,0.25,0.15,35,1,0,40,0,20,"/H/",1,1,0,0,0,0.392,1.8,0.24,0.55,1.8,0.1,"/I/",10,0,0,0,9,0,0,1,0,28.47,45,1,"/J/",0,365,0,0,0,0,0,0.8,8,10,0,"/K/",50,0,0,0,5,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,18,20,1,9.6,0,"/M/","tenerife",95,0,50,1,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,33,0,0,

AI-3.6 Variables de entrada para el módulo 4

AI-3.6.1 Módulo 4 en Barcelona

13.4,14.6,15.9,17.6,20.5,24.2,27.5,28,25.5,21.5,17,14.3,"/A/",4.4,5.3,6.7,8.5,12,15.7,18.6,19.3,16.7,12.6,8.1,5.7,"/B/",4.27,4.83,6.18,7.82,11.32,14.01,17.66,18.46,16.47,12.3,7.75,5.13,"/C/",48.26,43.48,44.72,43.93,45,41.62,32.02,33.6,40.79,46.78,49.78,50.76,"/D/",4.58,4.53,3.75,4.14,3.39,3.47,3.31,3.61,3.03,3.64,3.2.92,"/E/",0.484,0.523,0.46,0.449,0.385,0.352,0.423,0.442,0.438,0.451,0.501,0.458,"/F/",41,29,42,49,59,42,20,61,85,91,58,51,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,4,1,0.8,65,0,38,"/H/",1,1,0,0,0,0.392,1.8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,200,0,0,8,90,0,1,0,41.338,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0.8,8,10.4,0,"/K/",50,0,0,0,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,3.6,4,1,9.6,0,"/M/","barcelona",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,33,0,0,

AI-3.6.2 Módulo 4 en Madrid

9.7,12,15.7,17.5,21.4,26.9,31.2,30.7,26,19,13.4,10.1,"/A/",2.6,3.7,5.6,7.2,10.7,15.1,18.4,18.2,15,10.2,6,3.8,"/B/",1.2,1.7,1.7,3.4,6.7,8.9,9.9,10.3,9.3,7.8,4.4,2.6,"/C/",49.16,45.88,40.9,40.98,38.3,30.37,20.73,20.72,29.4,41.67,46.43,56.28,"/D/",1.4,1.9,2.2,1.9,1.9,1.9,2.2,1.9,1.7,1.7,1.4,1.4,"/E/",0.534,0.55,0.493,0.528,0.425,0.415,0.524,0.574,0.57,0.554,0.596,0.542,"/F/",26.17,11.42,38.84,45.22,55.3,7,33.02,0,7.37,1.27,36.58,49.51,3.06,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,660,1,0,8.65,0,38,"/H/",1,1,0,0,0,0.392,1.8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,200,0,0,8,90,0,1,0,40.417,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0,0.8,8,10.4,0,"/K/",50,0,0,0,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,3.5,4,1,9.6,0,"/M/","madrid",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,33,0,0,

AI-3.6.3 Módulo 4 en Santa Cruz de Tenerife

20.6,20.9,21.7,22.3,23.7,25.7,28.3,28.8,27.9,26,23.9,21.8,"/A/",15.1,15.1,15.6,16.2,17.5,19,20.8,21.4,21.3,20,18.1,16.2,"/B/",6.8,7.2,8.8,5.11,13.8,16.5,17.6,16.4,13.6,10.3,8.1,"/C/",44.52,39.33,40.9,40.54,34.57,28.26,22.01,21.83,31.42,37.65,41.77,44.66,"/D/",2.2,2.5,2.5,2.2,2.2,1.9,2.2,2.2,2.5,1.9,1.9,2.2,"/E/",0.33,0.336,0.29,0.251,0.289,0.348,0.416,0.388,0.323,0.312,0.349,0.353,"/F/",34,36,29,1,4,4,1,0,1,6,18,27,44,"/G/",0,0,0,0,0.25,0.15,35,1,0,8,65,0,38,"/H/",1,1,0,0,0,0.392,1.8,0.24,0.55,1.8,2,"/I/",10,200,0,0,8,90,0,1,0,28.47,40,1,"/J/",1,365,0,0,0,0,0,0.8,8,10.4,0,"/K/",50,0,0,0,10,75,1,0.4,0.1,1.1,3,0.14,"/L/",1,0.2,1,0.5,0.3,0.25,150,3.5,4,1,9.6,0,"/M/","tenerife",95,0,50,0,0,1,42,0,0,23,1,"/N/",30,33,0,0,

APÉNDICE II. VALORES CLIMATOLÓGICOS

All-1 Variables locales

Las variables locales son necesarias para el estudio de cada lugar geográfico específico. El programa spirpac-f.exe necesita las siguientes variables locales para poder proceder:

- Nombre del lugar
- Coordenadas del lugar.
- Altura sobre el nivel el mar (m)
- Media de las temperaturas máximas diarias para cada mes. (T_máx, °C)
- Media de las temperaturas mínimas diarias para cada mes. (T_mín, °C)
- Media de las temperaturas de rocío diaria para cada mes. (T_rocio, °C)
- Porcentaje de nubosidad (nub, %)
- Media de la velocidad del viento (Vel. v, m/s)
- Coeficiente de desorden atmosférico. (constituye la variable de ajuste de la irradiación global horizontal, base de cálculo del rayo incidente) (Coef.)
- Cantidad de lluvias acumuladas (Precipit., litros/m²)

All-2 Fuentes consultadas

Para los valores del coeficiente de desorden atmosférico se ha consultado el Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), de la Unión Europea utilizando las bases de datos: Classic PVGIS (Barcelona y Madrid) y PVGIS Helioclim (Santa Cruz de Tenerife).

Para los valores de las temperaturas, porcentaje de nubosidad, cantidad de lluvias acumuladas, y velocidad media del viento se ha consultado la fuente del Instituto Nacional de Meteorología con los datos de los observatorios de la red AEMET. Los valores corresponden a la media mensual de los datos recogidos durante un período de tiempo especificado en cada tabla de valores climatológicos y se conocen como los valores normales; a excepción de la velocidad del viento que corresponden a los valores del año 2011.

Leyenda de las tablas del Instituto Nacional de Meteorología:

T	Temperatura media mensual (°C)
TM	Media mensual de las temperaturas máximas diarias (°C)
Tm	Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
R	Precipitación mensual media (mm)
H	Humedad relativa media (%)
DR	Número medio mensual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
DN	Número medio mensual de días de nieve
DT	Número medio mensual de días de tormenta
DF	Número medio mensual de días de niebla
DH	Número medio mensual de días de helada
DD	Número medio mensual de días despejados
I	Número medio mensual de horas de sol

AII-3 Obtención de datos

Los valores correspondientes al porcentaje de nubosidad, la temperatura de rocío y el coeficiente de desorden atmosférico se tienen que calcular de forma indirecta o tienen que ser corregidos.

Los valores del **porcentaje de nubosidad** se calcula mediante AII-2 que relaciona las horas de sol registradas y las horas diurnas:

$$\% \text{nubosidad} = (1 - \text{horas registradas} / \text{horas diurnas}) * 100 \quad (\text{AII-1})$$

El valor de la **temperatura de punto de rocío** se calcula mediante AII-2 que relaciona la humedad relativa del ambiente y la temperatura media:

$$T_{\text{rocio}} = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} (112 + 0,9 \cdot T) + (0,1 \cdot T) - 112 \quad (\text{AII-2})$$

Donde:

- T_{rocio} : Temperatura de rocío.
- H: Humedad relativa.
- T: Temperatura.

El valor del **coeficiente de desorden atmosférico** necesita ser corregido para que los valores de la irradiación solar horizontal calculados por el programa spirpac-f.exe coincidan con los registrados en PVGIS. La corrección se realiza mediante iteraciones de AII-3, hasta que el error es menor igual al 2%.

$$V_c = V_{\text{teor}} + (I_{\text{spirpacf.exe}} - I_{\text{real}}) / 200 \quad (\text{AII-3})$$

Donde:

- V_c : valor del coeficiente de desorden atmosférico corregido.
- V_{teor} : Valor del coeficiente de desorden atmosférico registrado en PVGIS.
- $I_{\text{spirpacf.exe}}$: Irradiación solar en el plano horizontal dada por el programa spirpacf.exe con V_{teor} como el valor del coeficiente de desorden atmosférico.
- I_{real} : Irradiación solar en el plano horizontal registrado en PVGIS.

AII-4 Lugares

Se ha reunido los datos de tres ciudades: Barcelona, Madrid y Sta. Cruz de Tenerife. También se ha reunido los datos de unas condiciones de interior, indistintamente del lugar geográfico.

All-4.1 Valores climatológicos en Barcelona

Tabla All-1: Valores climatológicos normales del aeropuerto de Barcelona (Estación Barcelona Aeropuerto. Indicativo 0076. Período 1971-2000, Fuente: INM)

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	8.9	13.4	4.4	41	73	5	0	0	1	2	9	149
Febrero	9.9	14.6	5.3	29	71	4	0	0	1	1	5	163
Marzo	11.3	15.9	6.7	42	71	5	0	1	2	0	5	200
Abril	13.0	17.6	8.5	49	71	5	0	1	1	0	4	220
Mayo	16.2	20.5	12.0	59	73	5	0	2	1	0	4	244
Junio	19.9	24.2	15.7	42	72	4	0	2	0	0	7	262
Julio	23.0	27.5	18.6	20	69	2	0	2	0	0	11	310
Agosto	23.6	28.0	19.3	61	72	4	0	4	0	0	7	282
Septiembre	21.1	25.5	16.7	85	73	5	0	4	1	0	5	219
Octubre	17.0	21.5	12.6	91	75	6	0	3	1	0	4	180
Noviembre	12.5	17.0	8.1	58	74	5	0	1	1	0	6	146
Diciembre	10.0	14.3	5.7	51	73	5	0	1	1	1	7	138

Tabla All-2: Corrección del coeficiente de desorden atmosférico en Barcelona

Mes	I _{PVGIS} [Wh/m ² /día] [kWh/m ² /mes]	I _{PVGIS} [kWh/m ² /mes]	Coef _{PVGIS} [kWh/m ² /mes]	I _{spirpac1}	Coef ₂ [kWh/m ² /mes]	I _{spirpac2}	Coef ₃ [kWh/m ² /mes]	I _{spirpac3}
Enero	1890	58,59	0,480	58,28	0,478	58,59	-	-
Febrero	2560	71,68	0,470	77,77	0,500	74,36	0,523	71,92
Marzo	3910	121,21	0,430	127,45	0,461	122,50	0,462	121,78
Abril	4900	147,00	0,440	148,70	0,449	147,27	-	-
Mayo	5840	181,04	0,440	170,40	0,387	180,60	0,385	181,00
Junio	6550	196,50	0,410	184,40	0,350	197,09	0,352	196,64
Julio	6580	203,98	0,380	213,90	0,430	202,61	0,423	204,13
Agosto	5780	179,18	0,400	187,86	0,443	178,86	0,442	179,06
Septiembre	4530	135,90	0,390	144,64	0,434	136,69	0,438	136,00
Octubre	3160	97,96	0,430	101,34	0,447	98,79	0,451	98,21
Noviembre	2040	61,20	0,490	62,66	0,497	61,91	0,501	61,49
Diciembre	1680	52,08	0,490	47,89	0,469	49,85	0,458	50,93

Tabla AII-3: Tabla resumen de los valores locales para el cálculo de la productividad en Barcelona.

Barcelona

Latitud: 41° 17' 34" N

Longitud: 2° 4' 12" E

Altitud: 4 metros

	T_max	T_mín	T_rocio	%nub	Vel. v.	Coef.	Precip.
Enero	13.4	4.4	4,27	48,26	3,9	0.478	41
Febrero	14.6	5.3	4,83	43,48	4,4	0.523	29
Marzo	15.9	6.7	6,18	44,72	5,0	0.462	42
Abril	17.6	8.5	7,82	43,93	4,7	0.449	49
Mayo	20.5	12.0	11,32	45,00	4,7	0.385	59
Junio	24.2	15.7	14,01	41,62	4,2	0.352	42
Julio	27.5	18.6	17,66	32,02	4,4	0.423	20
Agosto	28.0	19.3	18,46	33,60	4,2	0.442	61
Septiembre	25.5	16.7	16,47	40,79	4,2	0.438	85
Octubre	21.5	12.6	12,30	46,78	4,4	0.451	91
Noviembre	17.0	8.1	7,75	49,78	4,2	0.501	58
Diciembre	14.3	5.7	5,13	50,76	4,2	0.458	51

Apéndice II Valores climatológicos

All-4.2 Valores climatológicos en Madrid

Tabla All-4: Valores climatológicos normales de Madrid (Estación Madrid. Indicativo 3195. Período 1971-2000,
Fuente: INM)

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	6,1	9,7	2,6	37	71	6	1	0	5	6	8	148
Febrero	7,9	12,0	3,7	35	65	6	1	0	4	3	6	157
Marzo	10,7	15,7	5,6	26	54	5	0	1	2	1	7	214
Abril	12,3	17,5	7,2	47	55	7	0	1	1	0	5	231
Mayo	16,1	21,4	10,7	52	54	8	0	3	0	0	4	272
Junio	21,0	26,9	15,1	25	46	4	0	3	0	0	8	310
Julio	24,8	31,2	18,4	15	39	2	0	3	0	0	16	359
Agosto	24,4	30,7	18,2	10	41	2	0	2	0	0	14	335
Septiembre	20,1	26,0	15,0	28	50	3	0	2	0	0	9	261
Octubre	14,6	19,0	10,2	49	64	6	0	1	1	0	6	198
Noviembre	9,7	13,4	6,0	56	70	6	0	0	5	1	7	157
Diciembre	7,0	10,1	3,8	56	74	7	1	0	6	4	7	124

Tabla All-5: Corrección del coeficiente de desorden atmosférico en Madrid

Mes	I _{PVGIS} [Wh/m ² /día]	I _{PVGIS} [kWh/m ² /mes]	Coef _{PVGIS} [kWh/m ² /mes]	I _{spirpac1}	Coef ₂ [kWh/m ² /mes]	I _{spirpac2}	Coef ₃ [kWh/m ² /mes]	I _{spirpac3}
Enero	2000	62,00	0,500	66,61	0,523	64,23	0,534	63,23
Febrero	2730	76,44	0,490	83,48	0,525	79,67	0,541	78,02
Marzo	4480	138,88	0,390	157,94	0,485	140,40	0,493	139,16
Abril	5170	155,10	0,450	167,97	0,514	157,77	0,528	155,69
Mayo	6580	203,98	0,410	206,94	0,425	203,95	0,425	203,95
Junio	7240	217,20	0,360	229,05	0,419	216,31	0,415	217,13
Julio	7320	226,92	0,330	272,39	0,557	220,34	0,524	226,66
Agosto	6410	198,71	0,350	246,87	0,591	195,29	0,574	198,21
Septiembre	4970	149,10	0,370	185,89	0,554	152,35	0,570	149,95
Octubre	3360	104,16	0,440	122,11	0,530	108,94	0,554	105,83
Noviembre	2150	64,50	0,500	77,74	0,566	70,49	0,596	67,56
Diciembre	1640	50,84	0,560	48,59	0,549	49,44	0,542	50,00

Apéndice II Valores climatológicos

Tabla AII-6: Tabla resumen de los valores locales para el cálculo de la productividad en Madrid.

Madrid

Latitud: 40º 25' 00" N

Longitud: 2º 42' 01" O

Altitud: 672 metros

	T_max	T_mín	T_rocio	%nub	Vel. v.	Coef	Precipit.
Enero	9,7	2,6	1,2	49,16	1,4	0,534	26,17
Febrero	12,0	3,7	1,7	45,88	1,9	0,541	11,42
Marzo	15,7	5,6	1,7	40,90	2,2	0,593	38,84
Abril	17,5	7,2	3,4	40,98	1,9	0,428	45,22
Mayo	21,4	10,7	6,7	38,30	1,9	0,525	55,37
Junio	26,9	15,1	8,9	30,37	1,9	0,415	33,02
Julio	31,2	18,4	9,9	20,73	2,2	0,424	0,00
Agosto	30,7	18,2	10,3	20,72	1,9	0,574	7,37
Septiembre	26,0	15,0	9,3	29,40	1,7	0,570	1,27
Octubre	19,0	10,2	7,8	41,67	1,7	0,554	36,58
Noviembre	13,4	6,0	4,4	46,43	1,4	0,596	49,51
Diciembre	10,1	3,8	2,6	56,28	1,4	0,542	3,06

All-4.3 Valores climatológicos en Santa Cruz de Tenerife

Tabla AII-7: Valores climatológicos normales de Santa Cruz de Tenerife (Estación de Santa Cruz de Tenerife. Indicativo C449C. Período 1971-2000, Fuente: INM)

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	17.9	20.6	15.1	34	65	5	0	0	0	0	3	178
Febrero	18.0	20.9	15.1	36	65	4	0	1	0	0	5	186
Marzo	18.7	21.7	15.6	29	62	4	0	0	0	0	5	216
Abril	19.2	22.3	16.2	14	62	3	0	0	0	0	4	226
Mayo	20.6	23.7	17.5	4	60	1	0	0	0	0	5	272
Junio	22.4	25.7	19.0	1	60	0	0	0	0	0	11	297
Julio	24.6	28.3	20.8	0	57	0	0	0	0	0	19	330
Agosto	25.1	28.8	21.4	1	60	0	0	0	0	0	18	316
Septiembre	24.6	27.9	21.3	6	64	1	0	0	0	0	9	251
Octubre	23.0	26.0	20.0	18	66	3	0	0	0	0	4	219
Noviembre	21.0	23.9	18.1	27	66	4	0	0	0	0	4	185
Diciembre	19.0	21.8	16.2	44	67	6	0	0	0	0	3	175

Tabla All-8: Corrección del coeficiente de desorden atmosférico en Santa Cruz de Tenerife

Mes	I _{PVGIS} [Wh/m ² /día]	I _{PVGIS} [kWh/m ² /mes]	Coef _{PVGIS} [kWh/m ² /mes]	I _{spirpac1}	Coef ₂ [kWh/m ² /mes]	I _{spirpac2}	Coef ₃ [kWh/m ² /mes]	I _{spirpac3}
Enero	4030	124,93	0,270	137,88	0,335	123,93	0,330	124,92
Febrero	4800	134,40	0,270	148,49	0,340	133,60	0,336	134,37
Marzo	5810	180,11	0,270	185,15	0,295	179,06	0,290	180,25
Abril	6690	200,70	0,270	195,49	0,244	202,06	0,251	200,24
Mayo	7190	222,89	0,270	229,20	0,302	220,45	0,289	223,92
Junio	7310	219,30	0,270	241,31	0,380	212,82	0,348	220,37
Julio	7140	221,34	0,280	258,74	0,467	211,14	0,416	222,22
Agosto	6970	216,07	0,260	253,13	0,445	204,65	0,388	218,15
Septiembre	6320	189,60	0,250	208,58	0,345	185,19	0,323	190,17
Octubre	5290	163,99	0,260	177,82	0,329	160,65	0,312	165,58
Noviembre	4170	125,10	0,280	139,37	0,351	124,67	0,349	125,04
Diciembre	3700	114,70	0,270	132,10	0,357	113,85	0,353	114,60

Tabla All-9: Tabla resumen de los valores locales para el cálculo de la productividad en Santa Cruz de Tenerife.

Santa Cruz de Tenerife

Latitud: 28° 27' 48" N

Longitud: 16° 15' 19" O

Altitud: 35 metros

	T _{max}	T _{mín}	T _{rocio}	%nub	Vel. v.	Coef	Precipit.
Enero	20.6	15.1	6,8	44,52	2,2	0.330	34
Febrero	20.9	15.1	7,2	39,33	2,5	0.336	36
Marzo	21.7	15.6	8,0	40,90	2,5	0.290	29
Abril	22.3	16.2	8,5	40,54	2,2	0.251	14
Mayo	23.7	17.5	11,0	34,57	2,2	0.289	4
Junio	25.7	19.0	13,8	28,26	1,9	0.348	1
Julio	28.3	20.8	16,5	22,01	2,2	0.416	0
Agosto	28.8	21.4	17,6	21,83	2,2	0.388	1
Septiembre	27.9	21.3	16,4	31,42	2,5	0.323	6
Octubre	26.0	20.0	13,6	37,65	1,9	0.312	18
Noviembre	23.9	18.1	10,3	41,77	1,9	0.349	27
Diciembre	21.8	16.2	8,1	44,66	2,2	0.353	44

APÉNDICE III. PLIEGO DE PRESCRIPCION TÉCNICAS

En el presente Apéndice se recogen las prescripciones técnicas de los cinco módulos estudiados.

El pliego de prescripciones técnicas se describen y especifican los materiales y equipos utilizados en cada módulo.

AIII-1 Especificaciones de los materiales utilizados en el módulo 1.

AII-1.1 Recintos

AII-1.1.1 Recinto principal: Piscina rígida 183x38cm

Utilizado como recinto de cultivo.

- Descripción: Piscina para uso infantil circular de PVC. Paredes laterales rígidas que no necesitan de ser hinchadas.
- Especificaciones técnicas:
 - Material: PVC
 - Medidas:
 - Alto: 38 cm
 - Diámetro: 183 cm
 - Superficie: 2,63 m²
- Coste: 11 €
- Disponible en: supermercados, tiendas especializadas, tiendas on-line, etc.
- Cantidad: 1 unidad.



Figura AIII-1: Piscina rígida

AIII-1.1.2 Recinto auxiliar: barreño de 40 litros.

Utilizado durante el período de crecimiento del cultivo y para realizar la purgas necesarias.

- Descripción: Barreño circular
- Especificaciones técnicas:
 - Medidas:
 - Alto 22 cm
 - Diámetro 56 cm.
 - Color azul
- Coste: 5,44 €.
- Disponible en: droguerías, tiendas on-line, etc.
- Cantidad: 1 unidad.



Figura AIII-2: Barreño 40 L

AIII-1.2 Sistema de agitación

AIII-1.2.1 Bomba de aire.

- Descripción: Bomba de aire Resun air pump AC1500 con dos salidas.
- Especificaciones técnicas:
 - Tamaño: 125x65x60mm
 - Potencia: 3 W
 - Flujo de aire: 90x2 L/h
 - Presión: 0,014 Mpa
 - Salidas de aire: 2
 - Capacidad del acuario: des de 50 hasta 300 L
 - Regulador de caudal: No
 - Peso: 0,36 kg
- Precio: 8,67 €
- Disponible en: tiendas de acuario, tiendas on-line.
- Cantidad: 2 unidades.



Figura AIII-3: Bomba de aire

AIII-1.2.2 Tubo de silicona para bomba de aire.

Conecta la bomba de aire con el difusor.

- Especificaciones técnicas:
 - Calidad atóxico para que circule el aire.
 - Diámetro interno: 4 mm.
 - Diámetro externo: 6 mm.
 - Empalme con piezas de 5 mm.
- Precio: 0,4 €/metro.
- Disponible en: tiendas de acuario, ferreterías, tiendas on-line, etc.
- Longitud: 4 metros



Figura AIII-4: Tubo silicona

AIII-1.2.3 Difusor ELITE Aqua Fizz difusor 30 cm

- Especificaciones técnicas:
 - Difusor de 30 cm de largo.
 - Adaptable a tubo de silicona DI/DE 4/6mm.
- Precio: 2,36 €
- Disponible en: tiendas de acuario, tiendas on-line, etc.



Figura AIII-5: Difusor

- Cantidad: 2 unidades.

AIII-1.2.4 Programador analógico COATI 13115

- Funcionamiento:
 - Horas diurnas: funcionamiento continuo.
 - Horas nocturnas: funcionamiento de 3 veces, 15 minutos cada vez, espaciados uniformemente a lo largo de toda la noche (por ejemplo, si la noche tiene 10 horas de duración: programa de: 3 horas de paro, 15 minuto de funcionamiento repetitivo).
- Especificaciones técnicas:
 - Interruptor ON/OFF
 - LED indicador de funcionamiento.
 - Tiempo de maniobra mínimo: 15 min.
 - Conexión: 230 V, 50 Hz.
 - Potencia máxima: 3500 W resistivos, 16 A .
 - Color: Blanco.
- Precio: 4.31€
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line.
- Cantidad: 1 unidad.



*Figura AIII-6:
Programador analógico*

AIII-1.2.5 Fijación del tubo de silicona al recinto.

Para que el tubo de silicona se permanezca dentro del medio se utiliza el difusor en los casos que se conecte este, o bien una masa (puede ser una piedra, ladrillo, bloque, etc) que haga que el tubo de silicona permanezca en el fondo del recinto.

AIII-1.3 Sistema de recolección

AIII-1.3.1 Tela de nilón no adherente.

La tela de nilón se sujet a al colador mediante pinzas de tender la ropa.

- Descripción general: Tela de nilón anti-adherente.
- Especificaciones técnicas:
 - Plana Stretch 100 hilos/cm².
- Precio: 3 €/m².
- Disponible en: tiendas de telas, de ropa, etc.
- Cantidad: 0,5 m²

AIII-1.3.2 Colador INOX

- Descripción general: Colador de Acero Inoxidable.
- Especificaciones técnicas:
 - Realizado en acero inoxidable 18/10 AISI 304 PS de excelente calidad para uso profesional.
 - Realizado con varillas de acero 18/10.
 - Fabricado cumpliendo las normas de salud Pública e Higiene.
 - Apto para uso alimentario
 - Diámetros de 20 cm.
- Precio 5,62 €
- Disponible en: supermercados, droguerías, tiendas on-line.
- Cantidad: 1 unidad



Figura AIII-7: Colador

AIII-1.3.3 Pinzas para tender ropa

Para sujetar la tela de Nilón y para sujetar la malla de sombreado al recinto.

- Especificaciones técnicas:
 - Cajas de 20 unidades
- Precio: 2,54 €
- Disponible en: supermercados, droguerías, etc.
- Cantidad: 1 paquete.



Figura AIII-8: Agujas para tender

AIII-1.4 Sistemas auxiliares

AIII-1.4.1 Malla de sombreado

- Descripción general: malla de sombreado para controlar la cantidad de luz en los cultivos en exterior.
- Especificaciones técnicas
 - Sombra 50%
 - 6 hilos de monofilamento
 - 3 hilos de rafia
 - Ø monofilamento 0,27 mm
 - Ø rafia 1,80 mm
 - Resistencia UV 500



Figura AIII-9: Malla de sombreado

- Porosidad 50
- Cobertura de luz 50
- Componentes: HD polietileno + estabilizantes
- Garantía 4 años por degradación solar.
- Ancho de 2 m.
- Precio: 2 €/m²
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line, etc
- Cantidad: 4 m²

AIII-2 Especificaciones de los materiales utilizados en el módulo 2.

AIII-2.1 Recinto

AIII-2.1.1 Lona plástica

- Descripción general: Lona atóxica utilizada en piscifactorías
- Especificaciones técnicas:
 - Tejido de poliéster AT, recubierto de PVC por ambas caras.
 - 1100 Dtex 9x9 torsionado
 - Peso : 670 g/m²
 - Espesor: 0.55 mm
 - Resistencia a la tracción: 300/280 daN/5cm (mínimo garantizado)
 - Resistencia al desgarro: 30 daN (mínimo garantizado)
 - Zdherencia: 10 daN
 - Resistencia a la T^a : -30°C + 70°C
 - Solidez a la luz: 6-8
 - Ancho de pieza: 3m
- Precio: 7 €/m
- Disponible en: tiendas especializadas en lonas.
- Cantidad: 4 metros

AIII-2.1.2 Sistema de fijación de la lona en el suelo

- Descripción general: Anclaje realizado mediante varilla rosca, arandela mixta de EPDM y tuerca antiblocante
- Especificaciones técnicas:

- a) Varilla roscada
 - Varilla roscada DIN-975 de acero
 - Métrica 5
 - 20 cm de longitud
 - Precio 0,57 €/unidad
- b) Arandela mixta de EPM
 - Medida Ø14 mm
 - Tornillo Ø4,8 mm
 - Precio: 0,04 €/unidad
- c) Tuerca autoblocante
 - Tuerca hexagonal con arandela plástica
 - M-5
 - Precio: 0,06 €/unidad
- Precio: 0,67 €/sistema
- Disponible en: ferreterías
- Cantidad: 6 unidades



Figura AIII-10: Varilla roscada



Figura AIII-11: Arandela mixta



Figura AIII-12: Tuerca

AIII-2.2 Sistema de agitación

AIII-2.2.1 Bomba de aire 12V

- Descripción general: La bomba SITO 36QB de aire está construida sin componentes metálicos, de un tamaño compacto, de bajo mantenimiento y sin contaminar el flujo. Puede operar en cualquier posición
- Especificaciones técnicas:
 - Voltage 12V
 - Peso: 0,11 kg
 - Corriente nominal: <180 mA
 - Presión del aire 500 mmHg
 - Máxima presión 600 mmHg
 - Máxima presión de succión: 300 mmHg
 - Tiempo de hinchado 6.5 seg/ 500CC
 - Pérdidas de aire 2 mmHg/min
 - Flujo de aire 4 L/min
 - Ruido < 40 dB
 - Vida 50000 veces

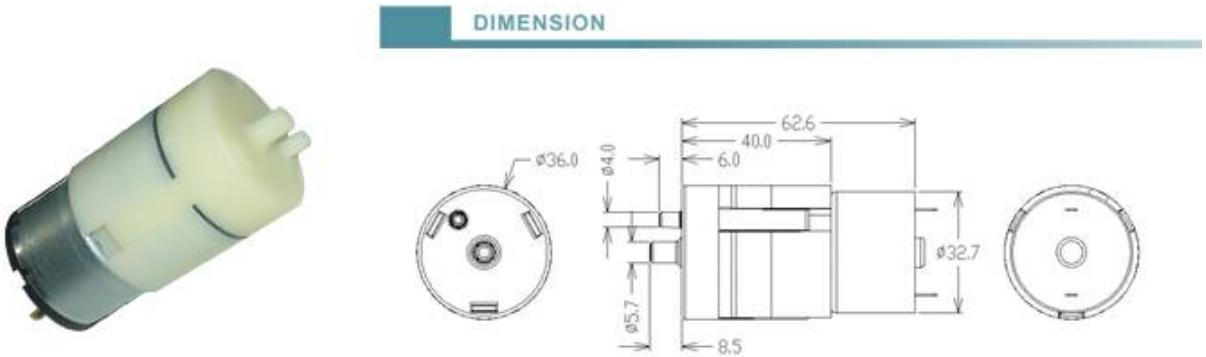


Figura AIII- 13: Bomba de aire

- Precio: 9,10 € (+ envío)
- Disponible en: <http://www.electricalmotorcn.com>
- Cantidad: 4 unidades.

AIII-2.2.2 Tubo de silicona para bomba de aire.

Conecta la bomba de aire con el difusor.

- Especificaciones técnicas:
 - Calidad atoxico para que circule el aire.
 - Diámetro interno: 4 mm.
 - Diámetro externo: 6 mm.
 - Empalme con piezas de 5 mm.
- Precio: 0,4 €/metro.
- Disponible en: tiendas de acuario, ferreterías tiendas on-line.
- Cantidad: 8 metros.



*Figura AIII-14:
Tubo atóxico*

AIII-2.2.3 Difusor de aire

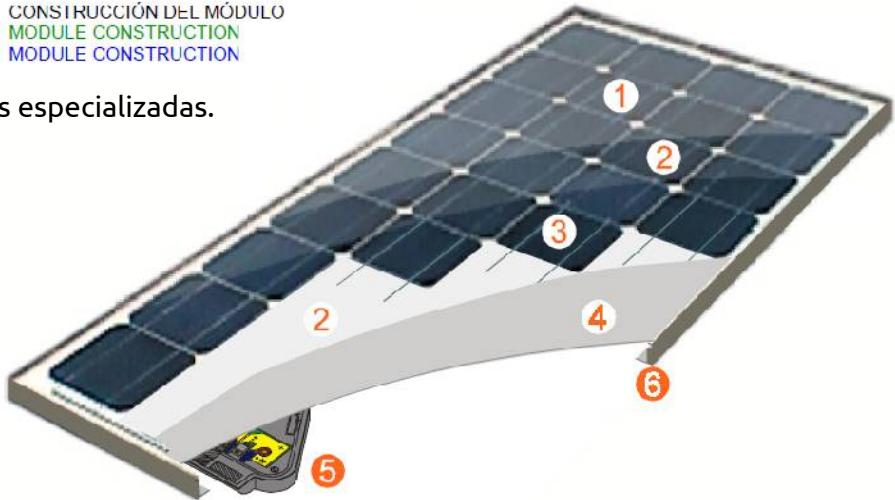
- Descripción general: difusor de aire 60 cm
- Especificaciones técnicas:
 - Difusor de cortina flexible
 - Difusor de 60 cm de largo
- Precio 4,64 €
- Disponible en tiendas de acuarios
- Cantidad 2 unidades.



*Figura AIII-15:
Difusor de aire*

AIII-2.2.4 Placa solar

- Descripción general: Placa solar fabricada por ATERSA modelo A-20.
- Especificaciones técnicas:
 - Número de células 36 ½ de 4"
 - Potencia en prueba: 20 W
 - Corriente en punto de máxima potencia 1,18 A
 - Tensión en punto de máxima potencia 17 V
 - Corriente de cortocircuito 1,40 A
 - Tensión de circuito abierto 21,6 V
 - Materiales utilizados
 1. Crial de vidro templado
 2. Etileno-vinil-acetato (EVA)
 3. Células de alto rendimiento
 4. Capa de TEDLAR (TPE)
 5. Caja de conexiones
 6. Marxo de aluminio anodizado
 - Dimensiones: 492x400x38 mm
 - Peso 2,8 kg
- Precio 75 €
- Disponible en: tiendas especializadas.
- Cantidad: 1 ud.



AIII-2.2.5 Batería

- Descripción general:
- Características técnicas
 - Voltage nominal: 12 V
 - Capacidad nominal: 9 Ah en 20 horas a 1,75 Vpc a 25°C
 - Máxima intensidad: 2,25 A
 - Resistencia interna: 23,6 mΩ
 - Dimensiones: 151x65x94 mm
 - Peso: 2,65 Kg
 - Rango de temperaturas: de -20 °C hasta 50°C
- Precio 29,90 €
- Disponible en: tiendas especializadas
- Cantidad: 1 unidad.



Figura AIII-17: Batería

AIII-2.3 Sistema de recolección

AIII-2.3.1 Tela de nilón no adherente.

Con la tela de nilón se realiza un tubo de 1 metro de largo y aproximadamente 3 centímetros de diámetro.

- Descripción: Tela de nilón anti-adherente.
- Especificaciones técnicas:
 - Plana Stretch 100 hilos/cm².
 - Dimensiones 1 x 0,2 metros.
- Precio: 1 € tela + 6 € coser.
- Disponible en: tiendas de telas, ropas, etc.
- Cantidad: 1 unidad de las dimensiones especificadas.

AIII-2.3.2 Bomba sumergible 12V

- Descripción general: Bomba sumergible 12 V. Se puede conectar a un panel solar de >20 Wp.
- Especificaciones técnicas
 - Tensión 12 V
 - Consumo 10 – 18 W
 - Caudal 8 L/min
 - Altura máxima 5 m.



Figura AIII-18: Bomba de agua

- Máxima inmersión: 50 cm.
- Tiempo de vida útil estimado 400 horas.
- Dimensiones:
 - diámetro: 38 mm
 - Largo: 104
- Cable 1 m.
- Precio: 13,50 €
- Disponible en: tiendas de acuario, ferreterías, tiendas on-line.
- Cantidad: 1 unidad

AIII-2.3.3 Abrazadera sin fin

- Descripción general: Abrazadera con rosca en espiral
- Especificaciones técnicas:
 - Tornillo hexagonal con ranura
 - Norma DIN 3017 Abrazaderas con rosca en espiral
 - Material: Acero
 - Protección de la superficie: galvanizado
- Precio 0,423 €/unidad
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line.
- Cantidad: 1 unidad



*Figura AIII-19:
Arandela*

AIII-2.4 Sistemas auxiliares

AIII-2.4.1 Malla de sombreado:

- Descripción general: malla de sombreado para controlar la cantidad de luz en los cultivos en exterior.
- Especificaciones técnicas
 - Sombra 50%
 - 6 hilos de mono filamento
 - 3 hilo de rafia
 - Ø mono filamento 0,27 mm
 - Ø rafia 1,80 mm
 - Resistencia UV 500
 - Porosidad 50
 - Cobertura de luz 50
 - Componentes: HD polietileno + estabilizantes
 - Garantía 4 años por degradación solar.
 - Ancho: 3 m
- Precio: 2 €/m²
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line, etc.
- Cantidad: 9 m²(3 metros de ancho y 3 metros de largo).



Figura AIII- 20: Malla de sombreado

AIII-2.4.2 Estructura para la malla de sombreado:

- Descripción general: estructura realizada en tubo de PVC para poder anclar la tela de sombreado. Estructura de 2 x 3 metros
- Especificaciones técnicas:
 - a) Estructura realizada con distintos componentes de PVC utilizados habitualmente para las instalaciones de riego.
 - b) Tubo de PVC de 1/2" (18,5 metros)
 - c) T de PVC de 1/2" (6 unidades)
 - d) Codos de PVC de 1/2" (4 unidades)
 - e) Disolvente limpiador (1 unidad de 500 ml)
 - f) Adhesivo tubería PVC (1 unidad de 500 ml)
- Precio estructura: 26,28 €
- Disponible en: ferreterías tiendas on-line
- Estructura completa de 2,5 x 3,5 metros

AIII-2.4.3 Sistema de fijación de la estructura al suelo

- Descripción general: la estructura del invernadero se fija con grapas metálicas. Las grapas si sitúan entre la arandela de EPDM y la rosca autoblocante.
- Especificaciones técnicas
 - Grapa simple metálica zincada Ø16
 - Diámetro interior de 5 mm
- Precio 0,02 €
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line
- Cantidad: 6



*Figura AIII-21:
Grapa*

AIII-2.4.4 Sistema de fijación entre la estructura y la malla

- Descripción general: Bridas de nilón blanco sujetacables
- Especificaciones técnicas:
 - Color blanco
 - Disponible en bolsas de 100 unidades
 - Material poliamida 6.6 UL94-V2
 - Resistente a los agentes químicos más comunes.
 - Medidas 140x3,6 mm
- Precio: 1,46
- Disponible en: ferreterías, tiendas de electricidad, tiendas on-line, etc.



*Figura AIII-22:
Bridas*

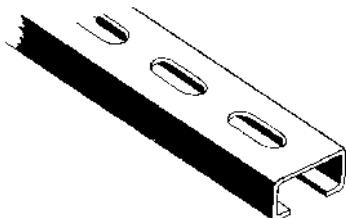
- Cantidad: 1 paquete

AIII-3 Especificaciones de los materiales utilizados en el módulo 3.

AIII-3.1 Recinto

AIII-3.1.1 Estructura metálica

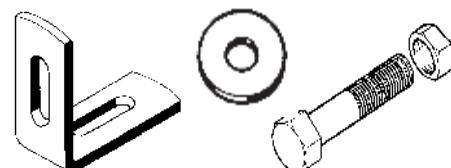
- Descripción general: Estructura metálica galvanizada de 4x2x0,40 metros
- Especificaciones técnicas:
 - Perfil componible de 32 x 20 x 2,5 mm
 - Perfiles de 2 m de longitud
- Precio 15,26 €
- Disponible en: empresas especializadas en el montaje de estructuras metálicas.
- Cantidad: 8 perfiles.



*Figura AIII-23:
Estructura componible*

AIII-3.1.2 Sistema de sujeción de la estructura metálica

- Descripción general: la estructura metálica se sujetta mediante tornillos y ángulos de sujeción
- Despeice:
 - a) Ángulos de montaje de 90°
 - b) Tornillo con aro roscado M8
 - c) Arandela zincada M8
- Precio: 40,44 € el sistema.
- Disponible en: ferreterías.
- Cantidad: 1 bolsa de 10 unidades de ángulos, 2 bolsa de 10 unidades de tornillos y una bolsa de 100 unidades de arandelas.



*Figura AIII-24: Ángulo, tornillo y
arandela*

AIII-3.1.3 Lona plástica

- Descripción general: Lona atóxica utilizada en piscifactorías
- Especificaciones técnicas:
 - Tejido de poliéster AT, recubierto de PVC por ambas caras.
 - 1100 Dtex 9x9 torsionado
 - Peso : 670 g/m²
 - Espesor: 0.55 mm
 - Resistencia a la tracción: 300/280 daN/5cm (mínimo garantizado)
 - Resistencia al desgarro: 30 daN (mínimo garantizado)

- Adherencia: 10 daN
- Resistencia a la T^a : -30°C + 70°C
- Solidez a la luz: 6-8
- Ancho de pieza: 3m
- Precio: 7 €/m
- Disponible en: tiendas especializadas en lonas.
- Cantidad: 6 metros

AIII-3.1.4 Bloque hormigón

- Descripción general: bloque de hormigón
- Especificaciones técnicas:
 - Dimensiones: 20x20x40 cm
- Precio 0,67 €/unidad
- Disponible: empresas de material de construcción
- Cantidad: 19 unidades



Figura AIII-25: Bloque hormigón

AIII-3.1.5 Pegamento para lona

- Descripción general: Adhesivo sellador de polímeros. De alta Elasticidad, pintable, sin disolventes. Excelente adherencia sin primer sobre madera, metales, vidrio, cerámica, mortero, piedra, PVC y la práctica totalidad de los materiales empleados en la industria. Adhiere sobre superficies húmedas.
- Especificaciones técnicas
 - Modo de empleo: Aplicar sobre superficies limpias y desengrasadas. Alisar el cordón con el dedo mojado en agua jabonosa o con una espátula.
 - Contenido: 300 ml
 - Color: Blanco
- Precio: 3,66 €
- Disponible en: ferreterías, tiendas de lonas, tiendas on-line, etc
- Cantidad: 2 unidades.



Figura AIII-26: Silicona

AIII-3.2 Sistema de agitación

AIII-3.2.1 Plástico de recuperación

Con el plástico duro se realiza la parte que entra en contacto con el medio de cultivo que está fijado al eje de rotación de la varilla INOX

- Descripción general: Plástico duro de recuperación a ser posible de calidad alimentaria.

En caso de no ser posible la recuperación se puede utilizar chapa perforada INOX de 0,5 mm de espesor.

- Especificaciones técnicas:
 - Círculo diámetro 600 mm (tres piezas)
 - Rectángulo 400x200 mm (9 piezas)
- Precio: tiempo necesario para encontrarlo.
- Disponible en: antiguos contenedores de residuos, botellas plásticas, centro de recogida, etc;
- Cantidad: 2 m²

AIII-3.2.2 Motor limpia-parabrisas

- Descripción general: Motor limpia-parabrisas oscilante serie 208 Amequipamiento. Eje de latón de 12 mm. Puede servir un motor limpia-parabrisas nuevo o bien uno recuperado del desguace.
- Especificaciones técnicas:

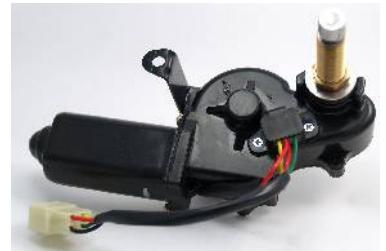


Figura AIII-27: Motor limpia-parabrisas

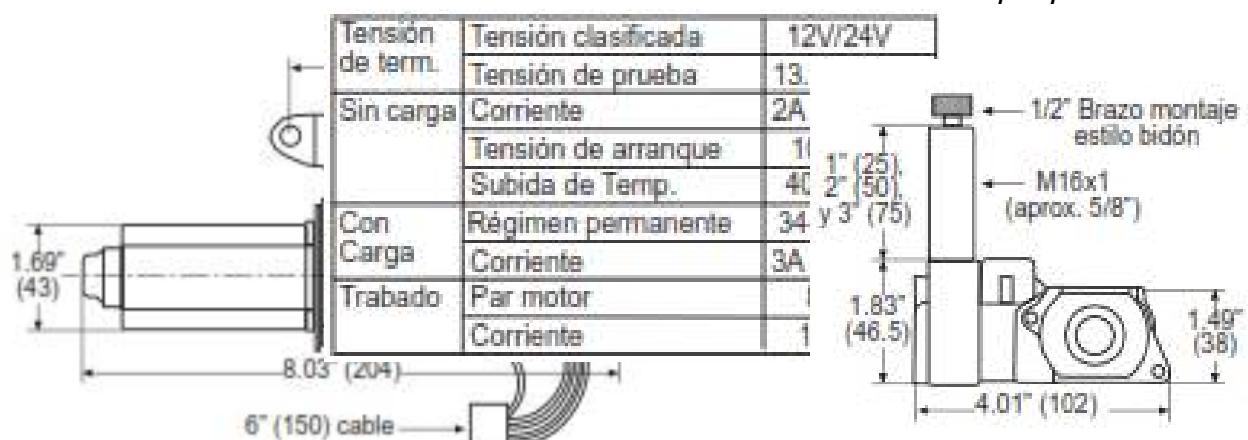


Figura AIII-28: Dimensiones del motor limpia-parabrisas

- Precio: 41,32 € (desguace 10 €)
- Disponible en: tiendas especializadas o desguaces.
- Cantidad: 1 unidad.

AIII-3.2.3 Varilla INOX

- Descripción general: tubo acero INOX AISI-316.
- Especificaciones técnicas
 - Diámetro de media pulgada (12,7 cm)

- Longitud 140 cm.
- Precio: 3,08 €/m.
- Disponible en: ferreterías
- Cantidad: 1,3 metros.

AIII-3.2.4 Manguito hembra hembra

El manguito conecta el tubo INOX con la salida del eje del motor limpia-parabrisas. La fijación se realiza con puntos de soldadura eléctrica.

- Descripción general: Manguito de latón hembra hembra de 1/2"
- Precio: 1,63 €
- Disponible en: ferreterías
- Cantidad: 1 unidad



*Figura AIII-29:
Manguito*

AIII-3.2.5 Programador analógico COATI 13115

- Funcionamiento:
 - Horas diurnas: ciclos de 15 minutos funcionamiento y 15 minutos paro.
 - Horas nocturnas: funcionamiento de 3 veces, 15 minutos cada vez, espaciados uniformemente a lo largo de toda la noche (por ejemplo, si la noche tiene 10 horas de duración: ciclo de 3 horas de paro, 15 minuto de funcionamiento).
- Especificaciones técnicas:
 - Interruptor ON/OFF
 - LED indicador de funcionamiento.
 - Tiempo de maniobra mínimo: 15 min.
 - Conexión: 230 V, 50 Hz.
 - Potencia máxima: 3500 W resistivos, 16 A
 - Color: Blanco.
- Precio: 4.31€
- Disponible en: ferreterías o tiendas online
- Cantidad: 1 unidad.



*Figura AIII-30:
Programador analógico*

AIII-3.2.6 Transformador de 220 a 12 V.

- Descripción general
- Especificaciones técnicas:
 - Transformado 220V a 12V
 - Potencia máxima 50 W.

- Precio: 14,78
- Disponible en ferreterías, tiendas de electricidad, tiendas on-line
- Cantidad: 1 unidad

AIII-3.2.6 Ventilador

El ventilador se sitúa al lado del motor limpia-parabrisas. El ventilador contribuye a la refrigeración del motor y en consecuencia aumenta la vida útil de éste.

- Descripción general: Ventilador Orbegozo sobremesa.
- Especificaciones técnicas:
 - Alimentación de corriente USB o 230 V.
 - Diámetro de 10 cm.
- Precio: 7,98 €
- Disponible en: droguerías, ferreterías, tiendas on-line.
- Cantidad: 1 unidad



*Figura AIII-31:
Ventilador*

AIII-3.2.7 Cojinete

Si sitúa una cojinete en cada extremo de la barra metálica para asegurar una correcta rodadura.

- Descripción general: Cojinete de rodamiento con doble fijación. El bloque realizado en chapa metálica y el rodamiento en acero.
- Especificaciones técnicas:
 - Diámetro del eje (d): 12 mm
 - Longitud total (a): 81 mm
 - Distancia de sujeción: 63,5 mm
 - Orificio fijación: 7 mm
 - Bi: 28,6 mm
 - t: 2 mm
 - s: 7,1 mm
 - n: 6 mm
 - k: 28,6
 - Vis: M6
- Precio: 6,79 €
- Disponible en: tiendas especializadas, tiendas on-line.



Figura AIII-32: Cojinete

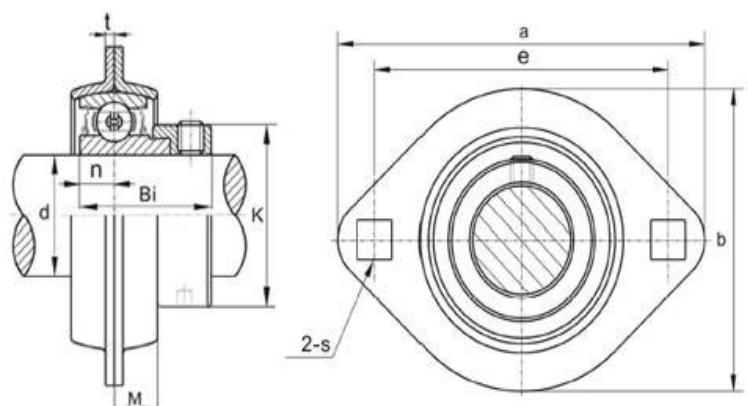


Figura AIII-33: Dimensiones cojinete

- Cantidad: 2 unidades

AIII-3.2.8 Conexiones eléctricas

- Descripción general: Un alargador de la longitud necesaria para el acceso a la red eléctrica. Donde se conecta la bomba de agua y otra conexión con el programador donde se conectarán el transformador y el ventilador.
- Precio: variable según longitud.
 - Alargo 15 m: 22,90 €
 - Ladrón triple: 2,46 €
- Disponible en: tiendas de electricidad, ferreterías, tiendas online, etc.
- Cantidad: 1 ladrón y 1 alargo.



Figura AIII-34:



*Figura AIII-35:
Ladrón*

AIII-3.3 Sistema de recolección

AIII-3.3.1 Tela de nilón no adherente.

Con la tela de nilón se realiza un tubo de 1 metro de largo y aproximadamente 3 centímetros de diámetro.

- Descripción: Tela de nilón anti-adherente.
- Especificaciones técnicas:
 - Plana Stretch 100 hilos/cm².
 - Dimensiones 1 x 0,3 metros.
- Precio: 1 € tela
- Disponible en: tiendas de telas, ropas, etc.
- Cantidad: 1 unidad.

AIII-3.3.2 Bomba de agua

- Descripción general: Bomba AquaEL Circulator 650L
- Especificaciones técnicas
 - Equipado con ajuste del flujo de agua, ajuste del flujo de aire y de 120 grados de salida ajustable
 - Diámetro reductor de entrada 4,6/9,5 mm.
 - Potencia 6W
 - Caudal: 650 l/h
 - Altura máxima de subida de agua: 0,90 m



*Figura AIII-36:
Bomba de agua*

- Precio: 14,32€
- Disponible en: tiendas de acuario, ferreterías, tiendas on-line.
- Cantidad 1 unidad

AIII-3.3.3 Abrazadera sin fin

- Descripción general: Abrazadera con rosca en espiral
- Especificaciones técnicas:
 - Tornillo hexagonal con ranura
 - Norma DIN 3017 Abrazaderas con rosca en espiral
 - Material: Acero
 - Protección de la superficie: galvanizado
- Precio 0,423 €/unidad
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line.
- Cantidad: 1 unidad



*Figura AIII-37:
Abrazadera*

AIII-3.4 Sistemas auxiliares

AIII-3.4.2 Tela plástica transparente

- Descripción general: Tela de polietileno transparente de 200 micras
- Especificaciones técnicas:
 - Tela de polietileno transparente
 - Grueso: 200 micras
 - Ancho: 3 metros
 - Largo: según pedido
- Precio: 3 €/m
- Disponible en: ferreterías, tiendas especializadas
- Cantidad: 6 m de largo

AIII-3.4.2 Estructura para el invernadero

- Descripción general: estructura realizada en tubo PVC para la tela plástica transparente del invernadero y la tela de sombreado. Base de la estructura de 3 x 4,5 metros.
- Especificaciones técnicas:

Estructura realizado con distintos componentes de PVC utilizado habitualmente para las instalaciones de riego.
- Despiece:
 - a) Tubo de PVC de 1/2" (42 metros)
 - b) T de PVC de 1/2" (6 unidades)
 - c) Codos de PVC de 1/2" (4 unidades)



Figura AIII-38: Tubo y conexiones

- d) Empalme cuádruple 1/2" (1 unidad)
- e) Disolvente limpiador (1 unidad de 500 ml)
- f) Adhesivo tubería PVC (1 unidad de 100 ml)
- Precio estructura: 46,96 €
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line

AIII-3.4.3 Sistema de fijación de la estructura del invernadero al suelo

Descripción general: la estructura del invernadero se fija con grapas clavadas al suelo mediante tacos químicos.

- Despiece:
 - a) Grapa simple metálica zincada Ø16
 - b) Taco anclaje con tornillo universal broca Ø10; profundidad taladro 90.
- Precio 1,2 €
- Disponible en: Salvador escoda, ferreterías, tiendas on-line
- Cantidad: 15



Figura AIII-39: Taco anclaje y grapa

AIII-3.4.4 Malla de sombreado

- Descripción general: tela de sombreado para controlar la cantidad de luz en los cultivos en exterior.
- Especificaciones técnicas
 - Sombreado 50%
 - 6 hilos de mono-filamento
 - 3 hilo de rafia
 - Ø mono-filamento 0,27 mm
 - Ø rafia 1,80 mm
 - Resistencia UV 500
 - Porosidad 50
 - Cobertura de luz 50
 - Componentes: HD polietileno + estabilizantes
 - Garantía 4 años por degradación solar.
 - Ancho de 3 m
- Precio: 2 €/m²
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line, etc



Figura AIII-40: Malla de sombreado

- Cantidad: 12 m²

AIII-3.4.5 Silicona selladora

- Descripción general: Adhesivo-sellador de alta calidad, con excelente adhesión sobre prácticamente todos los sustratos sin necesidad de primer. Adhiere sobre superficies húmedas. Permanece elástico una vez seco. Se puede pintar inmediatamente. Sin olor. Excelente resistencia a la intemperie. Para la fijación de paneles, espejos, planchas de aislamiento, paneles de aglomerado, ladrillo, tejas, hormigón, metal, plásticos, mármol, granito. Sellado de juntas en baños y cocina. Sellado de todo tipo de juntas en construcción.
- Especificaciones técnicas:
 - Modo de empleo: Aplicar sobre superficies limpias y desengrasadas. Para sellar: alisar el cordón con el dedo mojado en agua jabonosa o con una espátula. Para pegar: aplicar sobre una de las superficies cordones cortos, verticales y paralelos. Utilizar un medio de sujeción provisional si fuese necesario (24-48 horas).
 - Contenido 300 ml.
 - Color: blanco.
- Precio 5,16 €
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line, etc.
- Cantidad: 1 unidad



Figura AIII-41: Silicona

AIII-3.4.6 Sistema de aporte de CO₂

- Descripción general: Sistema integrado para subministrar CO₂ en los acuarios.
Partes que componen el sistema:

- **1. Regulador de pH:** ideal para la dosificación correcta del pH en el acuario: el controlador de pH digital no solo controlará los niveles de pH en el agua, si no que además le permitirá controlar varios pH relacionados desde bombas de oxígeno a reguladores de CO₂.

En combinación con un sistema de CO₂ y una válvula solenoide, el pH puede mantenerse en un nivel constante, y puede ser controlado el suministro de CO₂ para plantas acuáticas o dentro del reactor de calcio. El controlador viene ya calibrado.

- **2. Kit Easy CO₂ System:** el uso de la bombona de 500 gramos es rápido y práctico, al cambiarla no es necesaria ninguna herramienta para el montaje y asegura una óptima autonomía de 3 a 8 meses, naturalmente esto varía en función de los litros y de la cantidad de CO₂ suministrada.

Las instalaciones de fertilización CO₂ suministran constantemente el CO₂ necesario y promueven el crecimiento exuberante de las plantas y reducen el crecimiento de las algas. Además los peces se desarrollan espléndidamente, todas las plantas necesitan para crecer y para vivir ácido carbónico CO₂.

Las bombonas desechables son ideales para todos los lugares donde es complicado llenar con CO₂ o en caso que el próximo servicio de CO₂ quede muy lejos.

La botella desechable de recambio está hecha casi completamente de metal. Las botellas vacías se deben desechar en las contenedoras de bienes potencialmente reciclables. Las botellas son 100% reciclables. Con una botella de recambio en el

acuario ya no habrá interrupción alguna de la fertilización con CO₂.

- **3. Contador de burbujas:** el contador de burbujas es una manera simple y segura de monitorear la dosificación de CO₂ al acuario. Debe ser instalado en el lado de baja presión del circuito generador de dióxido de carbono, entre el regulador y el reactor. Contiene una válvula integrada que evita el flujo retrógrado del agua y está montado sobre una placa sólida con ventosas que permite montarlo fácilmente fuera del acuario, ya sea adherido al vidrio o con tornillos a la pared.

En el tubo transparente de la unidad puedes contar las burbujas de CO₂ que se producen. Si quieres modificar la cantidad simplemente abre o cierra un poco la válvula del regulador hasta llegar al número de burbujas deseado.

- **4. Electroválvula:** una electroválvula es un dispositivo diseñado para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. Esta válvula electromagnética es de alta calidad, segura y confiable para el control de la suplementación de CO₂ en acuarios y de la ósmosis reversa.

- Especificaciones técnicas:

- **1. Controlador pH**

- Rango de Medida: 0.00 a 14.00 pH
- Resolución: 0.01 pH
- Precisión: ± 0.1%
- Resistencia de entrada: 10¹²
- Rango de control: 3,50 a 10,50 pH
- Contacto relé: 5A/240VAC
- Calibrado: puntos dobles
- Conexión eléctrica: 220V AC
- Temperatura de funcionamiento: 0 a 50°C
- Humedad de funcionamiento: <95%
- Consumo de energía: 2 W
- Dimensiones del controlador: 160 x 102 x 40mm
- Longitud del cable del controlador: 1,8m
- Dimensiones del electrodo: 17 x 8cm
- Longitud del cable del electrodo: 2m
- Peso: 580g



Figura AIII-42: Sistema aporte CO₂

- **2. Kit Prodac Easy CO₂ System**

- Ideal para acuarios de hasta 300 Litros
- Bombona CO₂ desechable 500g
- Dimensiones de la bombona: 29 cm, diámetro: 7,5 cm
- Reductor de presión de alta precisión + Manómetro + Regulador
- Atomizador para optimizar la distribución de CO₂
- Tubo flexible de silicona CO₂ 4/6mm (2m)
- Alta seguridad: probado a 165 bars
- Acoplamiento mediante rosca: M 10 x 1

- **3. Contador de burbujas JBL PROFLORA**

- Válvula antiretorno, para evitar posibles fugas del acuario al sistema de distribución

- Viene con ventosa para adherirlo al cristal y tener una vista completa y claraVálvula de interrupción electronica de CO₂
- **4. Electroválvula:**
 - Marca Milwaukee
 - La máxima presión de gas es de 6 bar
 - La válvula puede ser conectada a todas las unidades de CO₂
 - Junto con un temporizador, la válvula puede ser usada como un interruptor nocturno
 - Para el control automático de CO₂ deberá combinarse con un controlador de pH.
- Precio: 186,36
- Disponible en: tiendas de acuario, tiendas on-line.
- Cantidad: 1 unidad.

AIII-3.4.7 Botella recargable de CO₂

- Descripción general: Sistema acoplado para recargar el CO₂.
- Especificaciones técnicas:
 - Botella CO₂ de 2kg.
 - Fabricado según norma europea p0685
 - Rosca M21,8 x 1/4" según DIN 477
 - Adaptador estándar para botellas recargables.
- Precio 110, 16 €
- Disponible en: tiendas de acuario, tiendas on-line.
- Cantidad: 1



*Figura AIII-43:
Botella CO₂*

AIII-4 Especificaciones de los materiales utilizados en el módulo 4.

AIII-4.1 Recinto

El módulo 4 consta de cuatro recintos iguales e independientes.

AIII-4.1.1 Recinto principal: tubo rígido de metacrilato

- Especificaciones técnicas:

7H Molding Compound

Product Profile:

7H is an amorphous thermoplastic molding compound (PMMA).

Typical properties of molding compounds are:

- good flow
- high mechanical strength, surface hardness and mar resistance
- high light transmission
- excellent weather resistance
- free colorability due to crystal clarity.

Special properties of P7H are:

- very good mechanical properties
- high heat deflection temperature
- high melt strength
- AMECA listing.

Application:

Used for extruding optical and technical profiles and sheets.

Examples:

sheets, tubes, multi-skin sheets, coextrusion of window profiles and similar applications

Processing:

7H can be processed on extruders with 3-zone general purpose screws for engineering thermoplastics.

Physical Form / Packaging:

7H molding compounds are supplied as pellets of uniform size, packaged in 25kg polyethylene bags or in 500kg boxes with PE lining; other packaging on request.

Properties:

	Parameter	Unit	Standard	7H
Mechanical properties				
Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527	3200
Stress at break	5 mm/min	MPa	ISO 527	76
Strain at break	5 mm/min	%	ISO 527	5,5
Charpy Impact strength	23°C	kJ/m ²	ISO 178/feU	20
Thermal properties				
Vicat softening temperature	B / 50	°C	ISO 306	103
Glass transition temperature		°C	IEC 10006	112
Temp. of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75	100
Temp. of deflection under load	1.8 MPa	°C	ISO 75	95
Coeff. of linear therm. Expansion	0 - 50°C	E-5 /K	ISO 11359	0
Fire rating			DIN 4102	B2
Rheological properties				
Melt volume rate, MVR	230 / 3.8	cm ³ /10min	ISO 1133	1.4
Optical properties				
d=3 mm				
Transmission factor	D65/10°	%	ISO 13466	92
Haze			ASTM D1003	< 0.5
Refractive index			ISO 469	1.49
Other properties				
Density		g/cm ³	ISO 1163	1.19
Recommended processing conditions				
Predrying temperature		°C		max. 93
Predrying time in desiccant-type drier		h		2 - 3
Melt temperature		°C		220 - 260
Cylinder temperature		°C		220 - 260
Die temperature (extrusion)		°C		220 - 260

All listed technical data are typical values intended for your guidance. They are given without obligation and do not constitute a materials specification.

This information and all further technical advice is based on our present knowledge and experience. However, it implies no liability or other legal responsibility on our part, including with regard to existing third party intellectual property rights, especially patent rights. In particular, no warranty, whether express or implied, or guarantee of product properties in the legal sense is intended or implied. We reserve the right to make any changes according to technological progress or further developments. The customer is not released from the obligation to conduct careful inspection and testing of incoming goods. Performance of the product described herein should be verified by testing, which should be carried out only by qualified experts in the sole responsibility of a customer. Reference to trade names used by other companies is neither a recommendation, nor does it imply that similar products could not be used.

Evonik's Business Unit Methacrylates is a worldwide manufacturer of PMMA molding compounds sold under the PLEXIGLAS® trademark on the European, Asian, African and Australian Continent and under the trademark ACRYLITE® in the Americas.

® = registered trademark

PLEXIGLAS is a registered trademark of Evonik Röhm GmbH, Darmstadt, Germany

- Dimensiones:
 - Diámetro interior/diámetro exterior: 72/80 mm
 - Longitud: 2000 mm
- Precio: 50,76 €/unidad

- Disponible en: Plastic Express SA, u otras tiendas especializadas.
- Cantidad: 4 unidades.

AIII-4.1.2 Collarín de toma

Si sitúa un collarín a 1/4 de la altura total del tubo rígido de metacrilato.

- Descripciones técnicas:
 - Fabricado en polipropileno con fibra de vidrio.
 - Para tubería de PVC y PE
 - Diámetro interior de 75 mm
 - Toma de salida de 1/2"
 - Medidas: 112 x 85 mm
- Precio 2,50 €
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line, etc.
- Cantidad: 4 unidades



*Figura AIII-44:
Collarín*

AIII-4.1.3 Grifo

Si sitúa un grifo a la toma de cada collarín.

- Descripción técnicas:
 - Grifo fabricado en latón según UNE-EN 12165/12164
 - Cuerpo, maneta y bola de latón.
 - Rosca macho de 1/2"
 - Presión nominal de 40 bar.
- Precio: 4,24 €
- Disponible en ferreterías.
- Cantidad: 4 unidades.



Figura AIII-45: Grifo

AIII-4.1.4 Tapón hembra liso

El tapón se sitúa en la parte inferior tubo de metacrilato.

- Especificaciones técnicas:
 - Tapón hembra liso de PVC.
 - Diámetro interno 80 mm.
- Precio: 1,09
- Cantidad: 4 unidades.

AIII-4.1.5 Silicona selladora

- Descripción general: Adhesivo-sellador de alta calidad, con excelente adhesión sobre prácticamente todos los sustratos sin necesidad de primer. Adhiere sobre superficies húmedas. Permanece elástico una vez seco. Se puede pintar inmediatamente. Sin olor. Excelente resistencia a la intemperie. Para la fijación de paneles, espejos, planchas de aislamiento, paneles de aglomerado, ladrillo, tejas, hormigón, metal, plásticos, mármol, granito. Sellado de juntas en baños y cocina. Sellado de todo tipo de juntas en construcción.
- Especificaciones técnicas:
 - Modo de empleo: Aplicar sobre superficies limpias y desengrasadas. Para sellar: alisar el cordón con el dedo mojado en agua jabonosa o con una espátula. Para pegar: aplicar sobre una de las superficies cordones cortos, verticales y paralelos. Utilizar un medio de sujeción provisional si fuese necesario (24-48 horas).
 - Contenido 300 ml.
 - Color: blanco
- Precio 5,16 €
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line, etc.
- Cantidad: 1 bote.



*Figura AIII-46:
Silicona*

AIII-4.1.6 Abrazadera isofónica con tirafondo

Se colocan dos abrazaderas por cada tubo rígido.

- Especificaciones técnicas
 - Montaje rápido con tapa abierta y tornillos imperdibles
 - Aislamiento goma de alta calidad
 - Diámetro del tubo de 71-80 mm
 - Collar 30x2,5
 - Tornillo M10x80
 - Taco 14x70
 - Suministro en bolsas de dos unidades
- Precio 5,44 €/bolsa
- Disponible en: ferreterías, tiendas especializadas
- Cantidad: 4 bolsas.



*Figura AIII-47:
Abrazadera*

AIII-4.2 Sistema de agitación

AIII-4.2.1 Bomba de aire: Bomba de aire HAILEA- ACO 9810

- Descripción general: Estas bombas han sido diseñadas para proporcionar un alto rendimiento durante mucho tiempo. Su diseño permite reducir las vibraciones. Estos compresores de aire son ideales para usarse con equipos que funcionan a base de aire,

como piedras difusoras de aire, ornamentos y separadores de urea, o para proporcionar movimiento u oxígeno a cualquier acuario.

- Especificaciones técnicas:
 - ISO 9001:2000
 - 220-240V (50/60Hz)
 - Silenciosa (<40dB)
 - Caudal: 30 L/min
 - Consumo: 25W
 - Presión: >0.025Mpa
 - Salida: 1x
 - Alta calidad de fabricación y alta eficiencia
 - Dimensiones: 208×160×166 mm
 - Peso: 4kg
- Precio: 42,28 €
- Disponible en: tiendas de acuario, especializadas.
- Cantidad: 1 unidad



Figura AIII-48: Bomba de aire ACO 9810

AIII-4.2.2 Tubo de silicona para bomba de aire.

Conecta la bomba de aire con el difusor.

- Especificaciones técnicas:
 - Calidad atoxico para que circule el aire.
 - Diámetro interno: 4 mm.
 - Diámetro externo: 6 mm.
 - Empalme con piezas de 5 mm.
- Precio: 0,4 €/metro.
- Disponible en: tiendas de acuario, ferreterías.
- Cantidad: 5 metros.



Figura AIII-49: Tubo silicona

AIII-4.2.3 Conector T de PVC

Se necesitan 3 conectores T de PVC para el tubo de silicona.

- Especificaciones técnicas
 - Conecotos de PVC de 5 mm
 - Caja de 10 unidades
- Precio: 7,57 €



Figura AIII-50: Conector T

- Disponible en: tiendas de acuarios, ferreterías, etc.
- Unidades: 1 caja.

AIII-4.2.4 Difusor de aire

- Descripción general: Piedra difusora muy duradera. Crea corrientes de agua favoreciendo la circulación del agua. Favorece la oxigenación y ayuda a liberar el dióxido de carbono acumulado. Tamaño muy pequeño, además decora. Puede usarse en acuarios de agua dulce y salada.
- Especificaciones técnicas
 - Medidas: 3 cm de diámetro
- Precio 0,45 €
- Disponible en: tiendas de acuario
- Cantidad: 3 unidades.



*Figura AIII-51:
Difusor*

AIII-4.2.5 Sistema de soporte de la bomba de aire

La bomba de aire se sujet a la pared mediante una estantería situada a una altura igual a superior de la del tubo rígido.

- Especificaciones técnicas:
 - Balda de 220x280x15 mm
 - Peso balda de 2,4 kg.
 - Soporte de 180x240 mm
 - Fijación a la pared mediante tacos para hormigón.
- Precio conjunto: 10 €
- Disponible: tiendas de muebles, ferreterías, etc.
- Cantidad: 1 conjunto.



Figura AIII-52: Balda y soporte

AIII-4.2.6 Fijación a la pared

El tubo de silicona y la tela de sombreado se fijan a la pared mediante tacos.

El tubo de silicona se fija con grapas.

La tela de sombreado se fija mediante tornillo hexagonal y arandela.

- Especificaciones técnicas:
 - Grapa simple poliamida con taco Ø16 (0,37€/unidad)
 - Taco Nilón 8x40mm (0,08 € unidad)
 - Tornillo cabeza hexagonal M8x30 con arandela grande.



*Figura AIII-53:
Grapa simple*

- Precio 0,40 €
- Disponible en ferreterías
- Cantidad 10 unidades.

AIII-4.3 Sistema de recolección

AIII-4.3.1 Tela de nilón no adherente.

La tela de nilón irá sujetado al colador mediante pinzas de tender la ropa.

- Descripción: Tela de nilón anti-adherente.
- Características técnicas:
 - Plana Stretch 100 hilos/cm².
- Precio: 3 €/m².
- Disponible en: tiendas de telas, ropas, etc.
- Cantidad: 1 metro cuadrado

AIII-4.3.2 Pinzas para tender ropa

- Para sujetar la tela de nilón y para sujetar la malla de sombreado al recinto.
- Especificaciones técnicas:
 - Cajas de 20 unidades
- Precio: 2,54 €
- Disponible en: supermercados, droguerías, etc.
- Cantidad: 1 paquete.



Figura AIII-54: Agujas para tender

AIII-4.3.3 Recinto auxiliar: barreño circular 20 L.

Utilizado para la recolección.

- Descripción: Barreño circular
- Especificaciones técnicas:
 - Capacidad: 20 L
 - Medidas:
 - Alto 18 cm
 - Diámetro 42 cm.
 - Peso 0,363 kg
 - Color azul.
- Coste: 2,72 €.



Figura AIII-55: Barreño

- Disponible en: droguerías, supermercados, etc
- Cantidad: 1 unidad.

AIII-4.4 Sistemas auxiliares

AIII-4.4.1 Malla de sombreado

Se sitúa delante de cada tubo de metacrilato, sujetado en la parte superior.

- Descripción general: malla de sombreado para controlar la cantidad de luz en los cultivos en exterior.
- Especificaciones técnicas
 - Sombreado 50%
 - 6 hilos de mono-filamento
 - 3 hilo de rafia
 - Ø mono-filamento 0,27 mm
 - Ø rafia 1,80 mm
 - Resistencia UV 500
 - Porosidad 50
 - Cobertura de luz 50
 - Componentes: HD polietileno + estabilizantes
 - Garantía 4 años por degradación solar.
 - Ancho de 1 metro.
- Precio: 2 €/m²
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line, etc
- Cantidad: 2 m²



Figura AIII-56: Malla sombreado

AIII-4.4.2 Tela Reflectora

Se sitúa en la pared posterior del tubo de metacrilato.

- Descripción general: Lamina de textura "estucada" que refleja la luz recibida en múltiples direcciones, aumentando la cantidad de luz difusa.
- Especificaciones técnicas:
 - Tela mylar reflectante hasta un 99%
 - Ancho 1,40
- Precio: 4,58 €/m
- Disponible en: tiendas on-line, ferreterías, grow-shops.
- Cantidad: 2 metros.

AIII-5 Especificaciones de los materiales utilizados en el módulo 5.

AIII-5.1 Recinto

AIII-5.1.1 Tubo flexible de calidad alimentaria

- Descripción general: tubo flexible de calidad alimentaria con sello de calidad alimentaria FDA.
- Características técnicas:



PLUTONE BIO

CONSTRUCCIÓN



•Tubo: PVC biológico plastificado obtenido casi exclusivamente de fuentes naturales renovables. Interior y exterior completamente lisos.

Certificación D.M. 21.03.73

Alta flexibilidad y resistencia a los agentes atmosféricos

•Refuerzo: Espiral interior en alambre acerado

TEMPERATURA DE TRABAJO De -10°C a +60°C

APLICACIONES

Ideal para la aspiración e impulsión de líquidos alimentarios conforme a la directiva CE 1935/2004, CR 10/2011 y CR 2023/2006. Conforme a la normativa FDA Cap. 21 Parr. 170 a 199. Completamente exento de ftalatos y plastificantes sintéticos. La fabricación de este tubo permite reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Resiste los agentes atmosféricos y gran parte de los productos químicos.

- Dimensiones:
 - Diámetro interior: 30 mm
 - Diámetro exterior: 38 mm
- Precio 5,89 €/metro
- Disponible en: Tecno Products S.L. u otras tiendas especializadas.
- Cantidad 6,68 metros

AIII-5.1.2 Recinto auxiliar de 25 litros.

- Descripción general: Bidón con grifo Elitex 25 L
- Datos Técnicos:
 - Bidón de uso alimentario.
 - Boca y diámetro interior 9 cm.
 - Tapa de rosca.
 - Asa superior metálica abatible.



Figura AIII-57: Recinto auxiliar

- Diámetro: 32 cm.
- Altura: 43 cm.
- Peso: 1,05 Kg
- Precio: 16,10€
- Disponible en: Sugarli S.L., ferreterías, tiendas on-line, etc.

AIII-5.2 Sistema de agitación

AIII-5.2.1 Bomba de aire: Bomba de aire HAILEA- ACO 9810

- Descripción general: Estas bombas han sido diseñadas para proporcionar un alto rendimiento durante mucho tiempo. Su diseño permite reducir las vibraciones. Estos compresores de aire son ideales para usarse con equipos que funcionan a base de aire, como piedras difusoras de aire, ornamentos y separadores de urea, o para proporcionar movimiento u oxígeno a cualquier acuario.
- Especificaciones técnicas:
 - ISO 9001:2000
 - Voltaje: 220-240V (50/60Hz)
 - Silenciosa (<40dB)
 - Consumo: 25W
 - Presión: >0.025Mpa
 - Caudal: 30 L/min
 - Salida: 1
 - Peso: 4 kg
 - Dimensiones: 208×160×166 mm
- Precio: 26,05 €
- Disponible en: China Aquaculture. Jieixi International LTD.
- Cantidad: 1 unidad



Figura AIII-58: Bomba de aire ACO 9810

AIII-5.2.2 Bomba de aire auxiliar HAILEA ACO 2203

- Descripción general: El producto tiene un sistema de compresión de aire avanzado con un sistema de amortiguación y un silenciador multinivel que reducen extremadamente el ruido. La estructura esta hecha de goma para mantener limpia el aire de salida.
- Especificaciones técnicas:
 - Modelo ACO-223
 - Potencia 2,5 W



Figura AIII-59: Bomba de aire ACO 2203

- Voltage 110/220 V
- Frecuencia 50/60 Hz
- Pressión > 0,018 Mpa
- Caudal: 2 L/min
- Salida: 1
- Ruido < 40 dB
- Peso: 0,36 kg
- Dimensiones: 140 x 78,5 x 75 mm
- Precio: 4,48 €
- Disponible en: China Aquaculture. Jeixi International LTD
- Cantidad: 1 unidad

AIII-5.2.3 Tubo de silicona para bomba de aire.

Conecta la bomba de aire con el difusor.

- Especificaciones técnicas:
 - Calidad atoxico para que circule el aire.
 - Diámetro interno: 4 mm.
 - Diámetro externo: 6 mm.
 - Empalme con piezas de 5 mm.
- Precio: 0,4 €/metro.
- Disponible en: tiendas de acuario, ferreterías.
- Cantidad: 3 metros.



*Figura AIII-60:
Tubo silicona*

AIII-5.2.4 Programador analógico COATI 13115

- Funcionamiento:
 - Horas diurnas: funcionamiento continuo.
 - Horas nocturnas: funcionamiento de 3 veces, 15 minutos cada vez, espaciados uniformemente a lo largo de toda la noche (por ejemplo, si la noche tiene 10 horas de duración: programa de: 3 horas de paro, 15 minuto de funcionamiento repetitivo).
 - Al temporizador va conectado la bomba de aire y el sistema de iluminación con LED.
- Especificaciones técnicas:
 - Interruptor ON/OFF
 - LED indicador de funcionamiento.



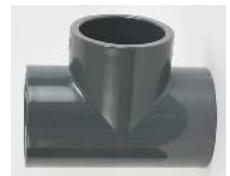
*Figura AIII-61:
Programador*

- Tiempo de maniobra mínimo: 15 min.
- Conexión: 230 V, 50 Hz.
- Potencia máxima: 3500 W resistivos, 16 A .
- Color: Blanco.
- Precio: 4.31€
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line.
- Cantidad: 1 unidad.

AIII-5.2.5 T de PVC

Se coloca una T de PVC conectada al tubo de calidad alimentaria y dentro del recinto de 25 L para garantizar el sistema de bomba por compresión

- Descripción general: T de PVC de una pulgada y cuarto.
- Precio: 1,24 €
- Cantidad: 1 unidad
- Disponible en: ferreterías, etc.



*Figura AIII-62:
T de PVC*

AIII-5.3 Sistema de recolección

AIII-5.3.1 Tela de nilón no adherente.

La tela de nilón irá sujetado al colador mediante pinzas de tender la ropa.

- Descripción: Tela de nilón anti-adherente.
- Características técnicas:
 - Plana Stretch 100 hilos/cm².
- Precio: 3 €/m².
- Disponible en: tiendas de telas, ropas, etc.
- Cantidad: 1 metro cuadrado

AIII-5.3.2 Recinto auxiliar: barreño circular 20 L.

Utilizado para la recolección.

- Descripción: Barreño circular
- Especificaciones técnicas:
 - Capacidad: 20 L
 - Medidas:
 - Alto 18 cm
 - Diámetro 42 cm.



*Figura AIII-63:
Barreño*

- Peso 0,363 kg
- Color azul.
- Coste: 2,72 €.
- Disponible en: droguerías, supermercados, etc
- Cantidad: 1 unidad.

AIII-5.4 Sistemas auxiliares

AIII-5.4.1 Tablones de madera

- Descripción general: dos tablones contraplacado
- a) 1 tablón de 330x534x20 adecuado según plano.
- b) 1 tablón de 370x600x20 adecuado según plano.
- Precio 6,7 € tablón y adecuación.
- Disponible en: carpinterías
- Cantidad: según plano.

AIII-5.4.2 Varilla roscada

- a) 4 varillas M-6 de 42 cm de longitud.
- b) 4 varillas M-6 de 30 cm de longitud.
- c) 2 varillas M-6 de 38 cm de longitud.
- Precio: 2,03 €
- Adquirido en: Rational Stock

AIII-5.4.3 Tuercas

- a) 14 Tuercas hexagonales M-6
- b) 14 Tuercas hexonagonales rebajadas M-6
- c) 4 Tuercas hexagonales con sobrerete M-6
- Precio: 0,32 €
- Adquirido en: Rational Stock

AIII-5.4.4 Arandelas

- Descripción general: arandelas con un diámetro tres veces superior al diámetro interior. Arandelas planas biseladas anchas M-6
- Precio: 0,12 €
- Cantidad 24 unidades
- Adquirido en: Rational Stock.

AIII-5.4.5 Tiras LED

- Descripción general: tira de LED SMD 5050 con regulador.
- Especificaciones técnicas:
 - Fabricante: Epistar
 - Número de LEDs: 60 led/m
 - Tipo de LED: SMD 5050
 - Protección IP33
 - Consumo 14,4 W/m
 - Flujo lumínico en blanco cálido 1080 lm/m
 - Intensidad del color: 3000 k
 - Voltaje: 12 V
 - Ángulo de luz: 120°
- Precio: 7,34 €/m
- Adquirido en: Hong Kong Chia Tai Technology Development Co.
- Cantidad: 5 metros



Figura AIII-64: Tira LED

AIII.5.4.6 Transformador 36 W

- Descripción general: Transformador
- Especificaciones técnicas:
 - Transformador de 220 a 12V
 - Intensidad máxima 3 A.
 - Dimensiones: 60x85x35 mm
 - Conexión europea.
 - Conexiones a tira LED incluidas.
- Precio: 5,90 €
- Disponible en: Hong Kong Chia Tai Technology Development Co.
- Cantidad: 2 unidades



Figura AIII-65: Transformador

AIII-5.4.7 Tela reflectora

- Descripción general: Lamina de textura "estucada" que refleja la luz recibida en múltiples direcciones, aumentando la cantidad de luz difusa.
- Especificaciones técnicas:
 - Tela mylar refleja hasta un 99%

- Ancho 1,40
- Precio: 4,58 €/m
- Disponible en: tiendas on-line, ferreterías, grow-shops, etc.
- Cantidad: 0,5 metros.

AIII-5.4.8 Silicona selladora

- Descripción general: Adhesivo-sellador de alta calidad, con excelente adhesión sobre prácticamente todos los sustratos sin necesidad de primer. Adhiere sobre superficies húmedas. Permanece elástico una vez seco. Se puede pintar inmediatamente. Sin olor. Excelente resistencia a la intemperie. Para la fijación de paneles, espejos, planchas de aislamiento, paneles de aglomerado, ladrillo, tejas, hormigón, metal, plásticos, mármol, granito. Sellado de juntas en baños y cocina. Sellado de todo tipo de juntas en construcción.
- Especificaciones técnicas:
 - Modo de empleo: Aplicar sobre superficies limpias y desengrasadas. Para sellar: alisar el cordón con el dedo mojado en agua jabonosa o con una espátula. Para pegar: aplicar sobre una de las superficies cordones cortos, verticales y paralelos. Utilizar un medio de sujeción provisional si fuese necesario (24-48 horas).
 - Contenido 300 ml.
 - Color: blanco
- Precio 5,16 €
- Disponible en: ferreterías, tiendas on-line, etc.
- Cantidad: 1 bote.



*Figura AIII-66:
Silicona*

AIII-6 Necesidades para el crecimiento de Spirulina.

AIII-6.1 Alimentación de Spirulina

Para alimentar *Spirulina* se puede utilizar una fuente orgánica o una fuente mineral.

AIII-6.1.1 Fuente mineral

10 L de alimentación de fuente mineral equivalen a 1 Kg de *Spirulina* recogida.

Para recrear 10 L de alimentación se puede utilizar la siguiente opción:

- 10 L de agua
- 1000 g de nitrato de potasio
- 100 g de fosfato mono-amónico
- 50 g de sulfato de potasio
- 50 g de sulfato de magnesio
- 10 g de sulfato de hierro

El coste estimado de un litro de fuente mineral es de un euro; por tanto el coste para producir

un kilogramo de *Spirulina* es de diez euros.

AIII-6.1.2 Fuente orgánica

La fuente de alimentación orgánica es la orina.

10 L de alimentación de fuente orgánica equivalen entre 1 y 1,5 kg de *Spirulina* recolectada. Sin embargo se tiene que tener en cuenta que los componentes de la orina varian mucho dependiendo varios factores. El principal factor para cuantificar la cantidad de orina equivalente es la dieta alimenticia de la persona. Así pues para una dieta vegetariana el valor de la orina se tiene que multiplicar por un factor de dos al valor expuesto anteriormente. Para un dieta muy rica en carnes animales se tiene que multiplicar por un factor de 0,75.

A la fuente de orina se le añade el jarabe de hierro. Se tiene que añadir 500 ml de jarabe de hierro por cada kilogramo de *Spirulina* recolectada. Para obtener 500 ml de jarabe de hierro se necesita:

- 500 ml de vinagre.
- 50 g de clavos oxidados.
- Zumo de medio limón.

El coste de un litro de jarabe de hierro se estima en tres euros por tanto el coste de alimentación para producir un quilogramo de *Spirulina* es de 1,5 €.

AIII-6.2 Reaccreación del hábitat

Para recrear 10 L del hábitat de *Spirulina* se necesita:

- a) 10 L de agua
- b) 100 g de Bicarbonato de Soda
- c) 50 g de Sal
- d) Alimentación equivalente a 20 g de *Spirulina*.

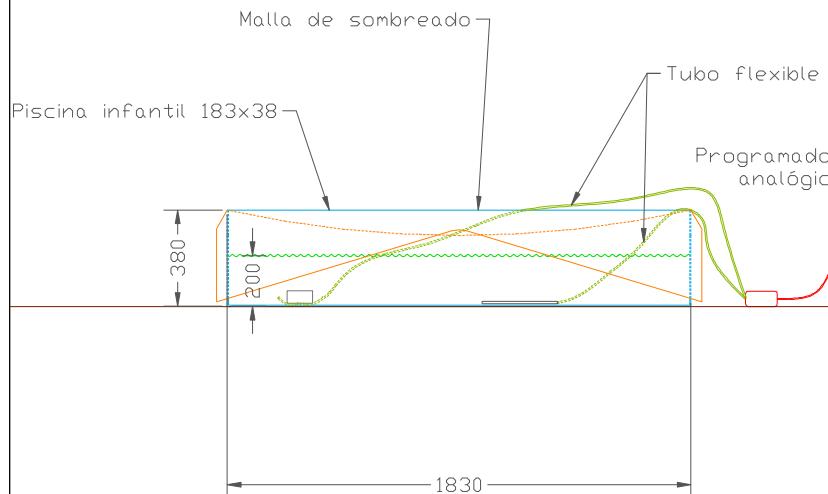
El coste estimado para reproducir un litro del hábitat de *Spirulina* es de 0,015 €.

AIII-6.3 Consumo de electricidad.

El coste de la electricidad según la tarifa de enero 2012 es de 0,142319 €/kWh.

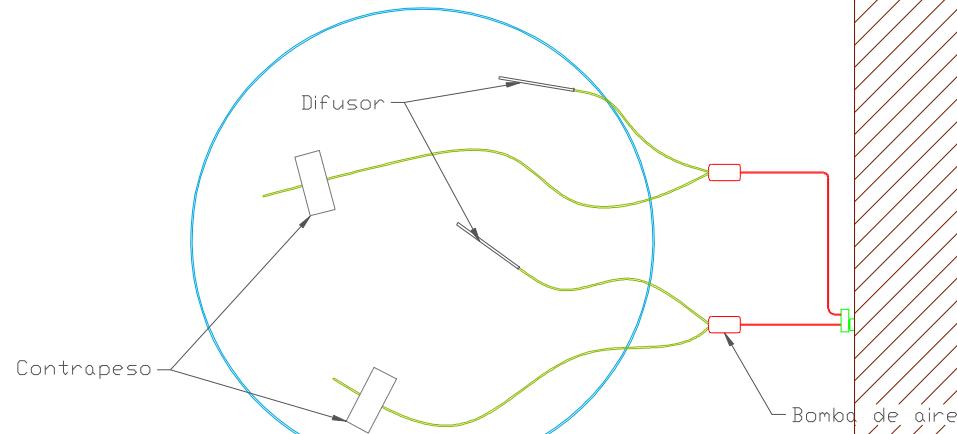
APÉNDICE IV. PLANOS.

Módulo 1 - Alzado



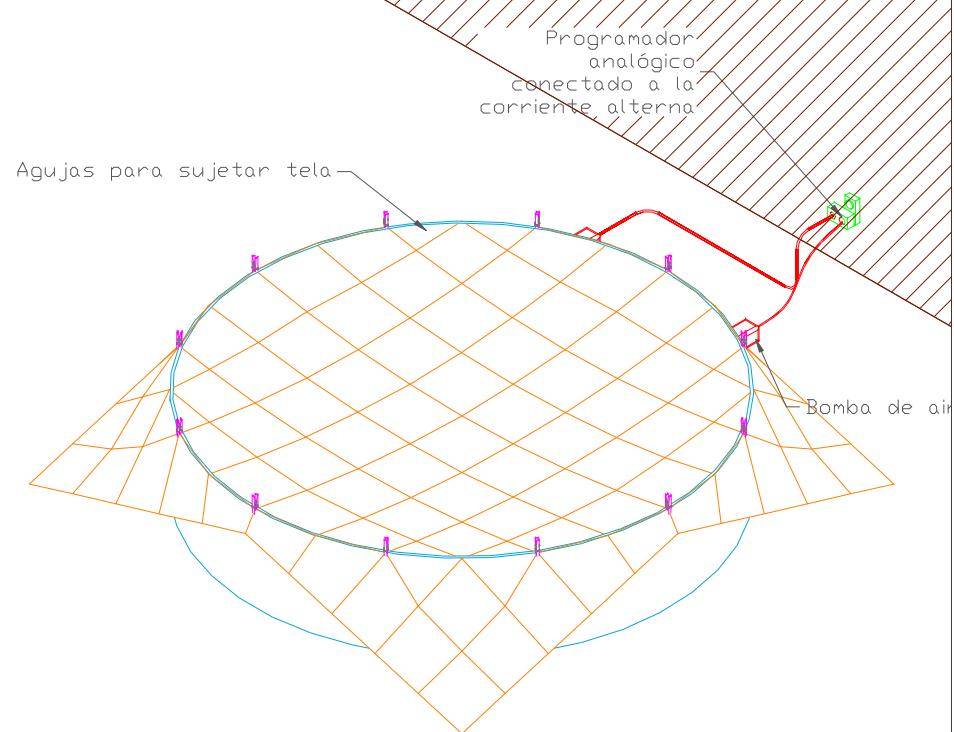
E 1:20

Planta (sin malla de sombreado)



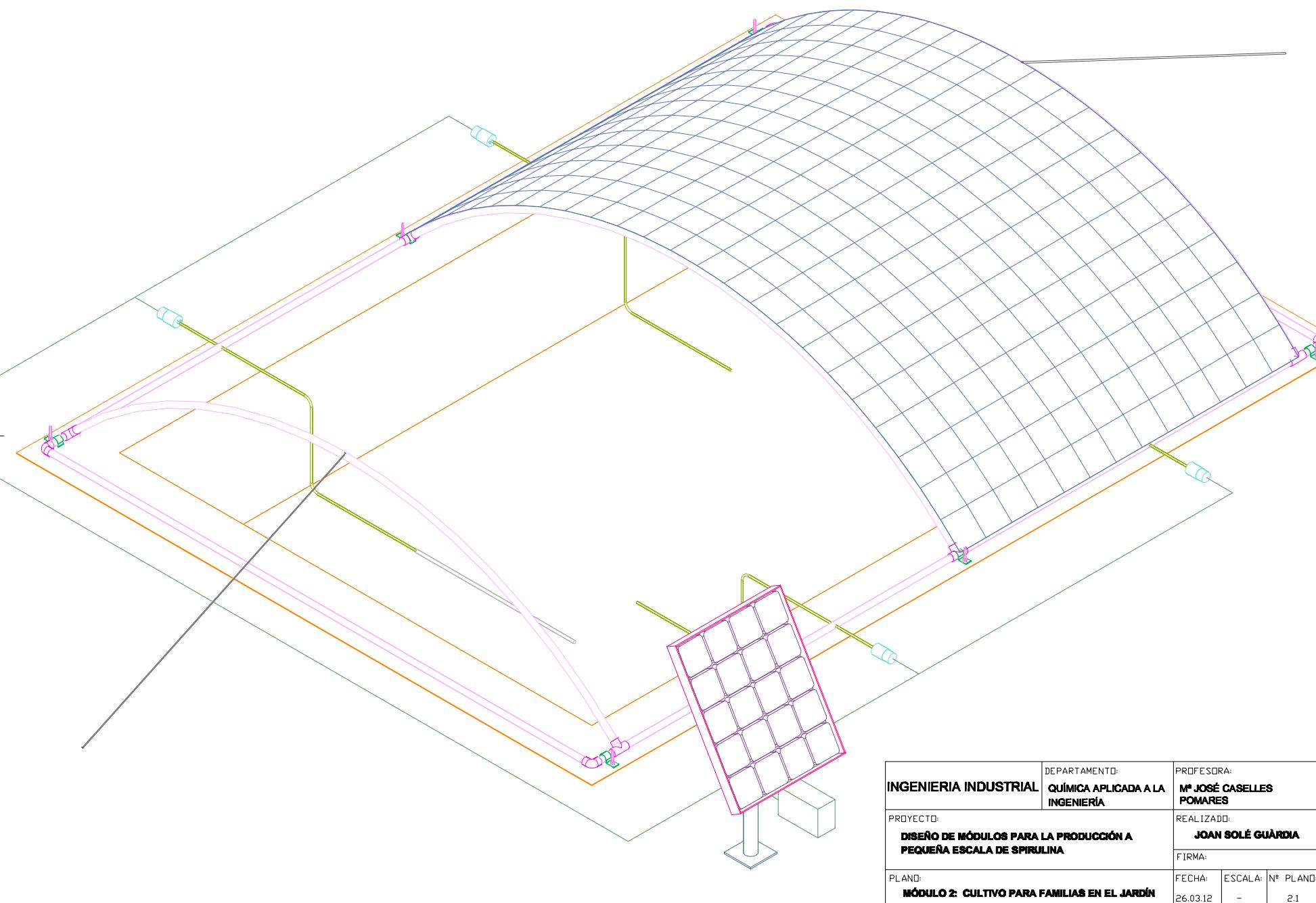
E 1:20

Vista 3D

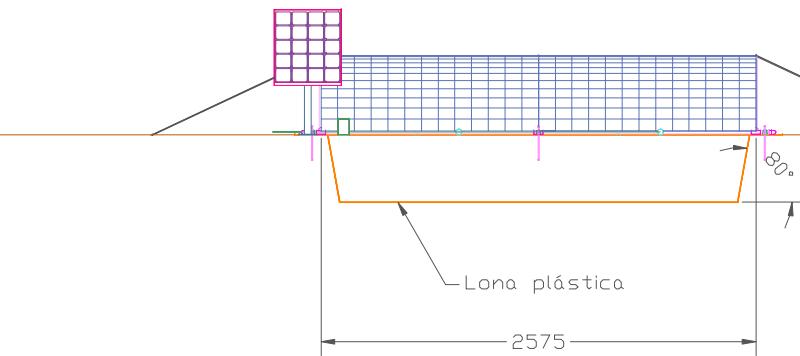


INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO: QUÍMICA APLICADA A LA INGENIERÍA	PROFESORA: Mº JOSÉ CASELLES POMARES
PROYECTO: DISEÑO DE MÓDULOS PARA LA PRODUCCIÓN A PEQUEÑA ESCALA DE SPIRULINA	REALIZADO: JOAN SOLÉ GUÀRDIA	FIRMA:
PLANO: MÓDULO 1: CULTIVO SIMPLE	FECHA: 26.03.12	ESCALA: N° PLANO: Varias 1.1

Módulo 2 - Vista 3D

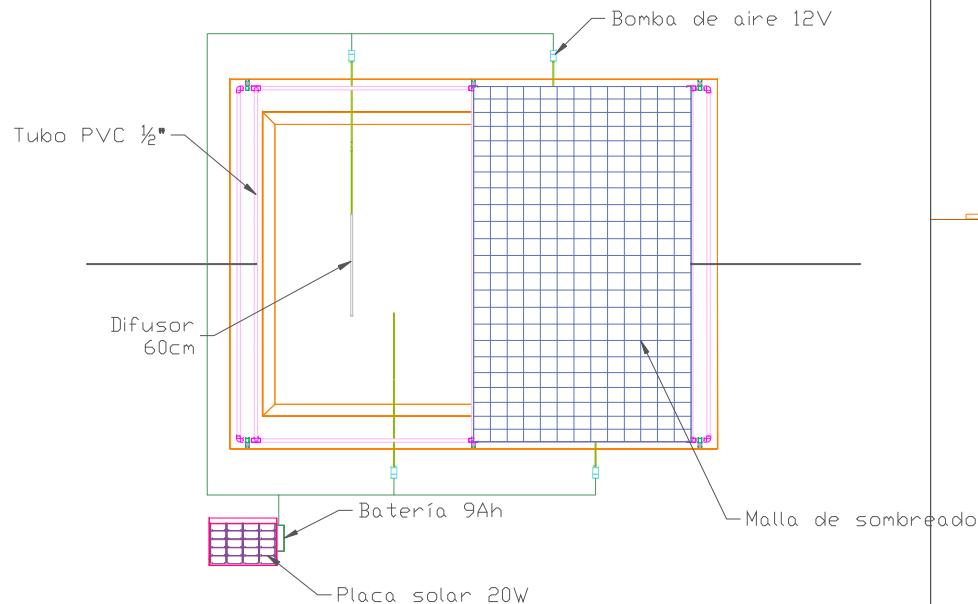


Módulo 2 - Alzado



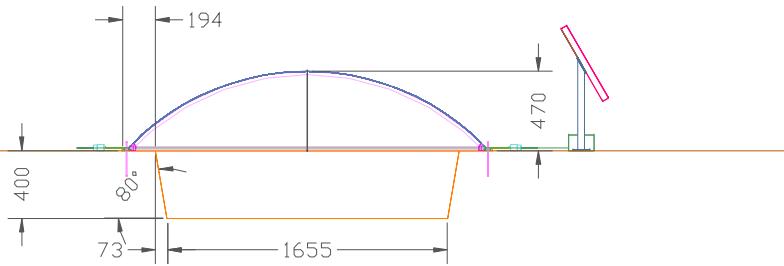
E 1:30

Planta



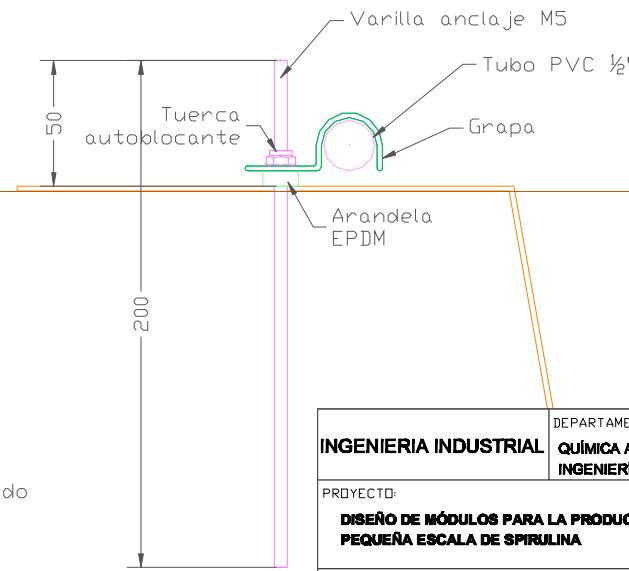
E 1:30

Alzado lateral



E 1:30

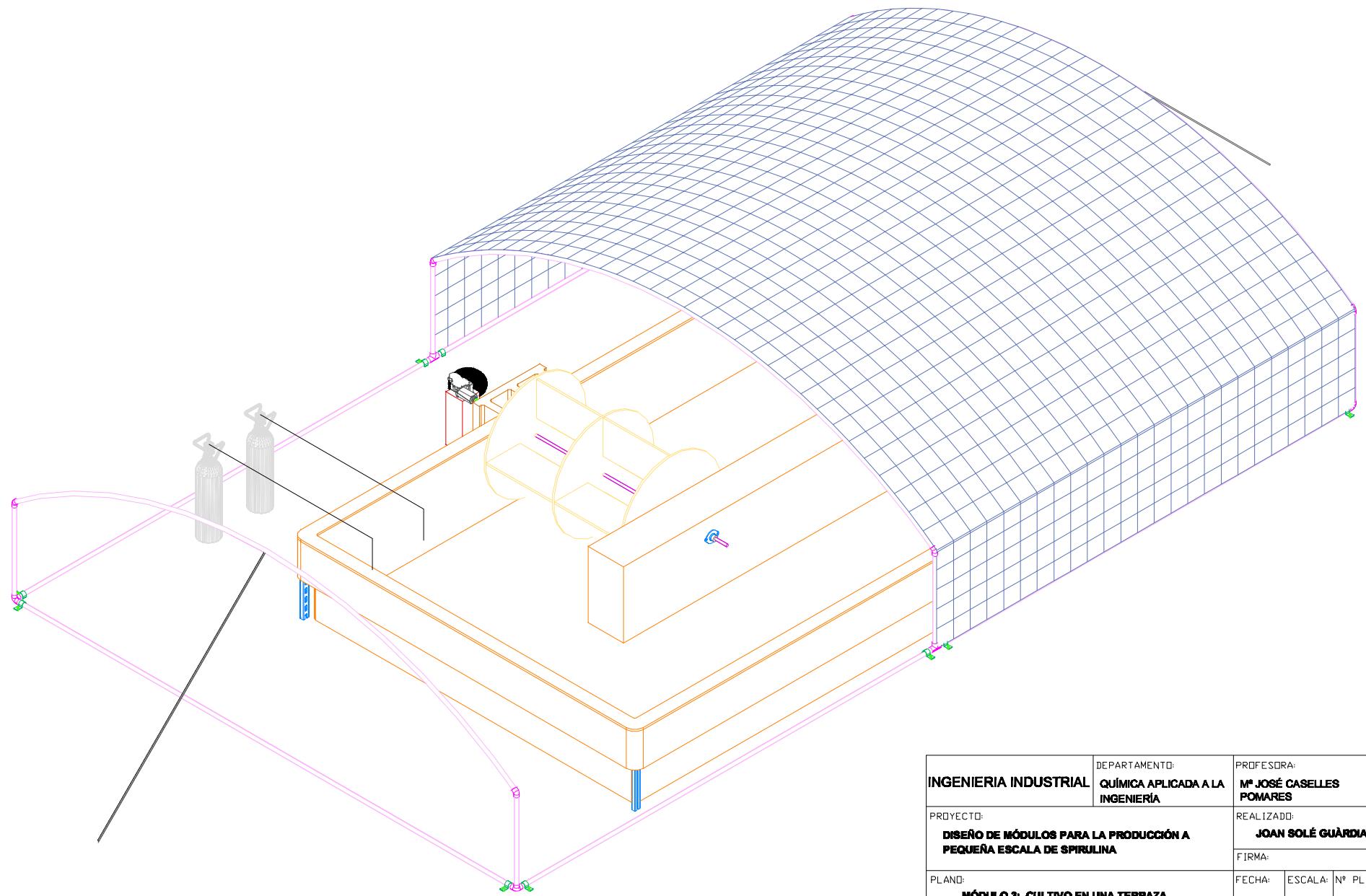
Sistema anclaje



E 1:2

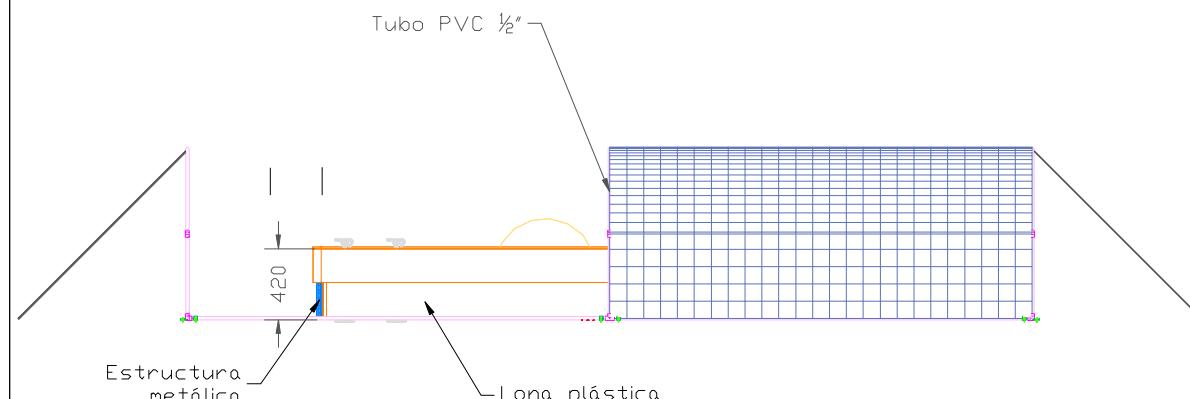
INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO: QUÍMICA APLICADA A LA INGENIERÍA	PROFESORA: Mº JOSÉ CASELLES POMARES
PROYECTO: DISEÑO DE MÓDULOS PARA LA PRODUCCIÓN A PEQUEÑA ESCALA DE SPIRULINA	REALIZADO: JOAN SOLÉ GUÀRDIA	FIRMA:
PLANO: MÓDULO 2: CULTIVO PARA FAMILIAS EN EL JARDÍN	FECHA: 26.03.12	ESCALA: N° PLANO: VARIOS 2.2

Módulo 3 - Vista 3D

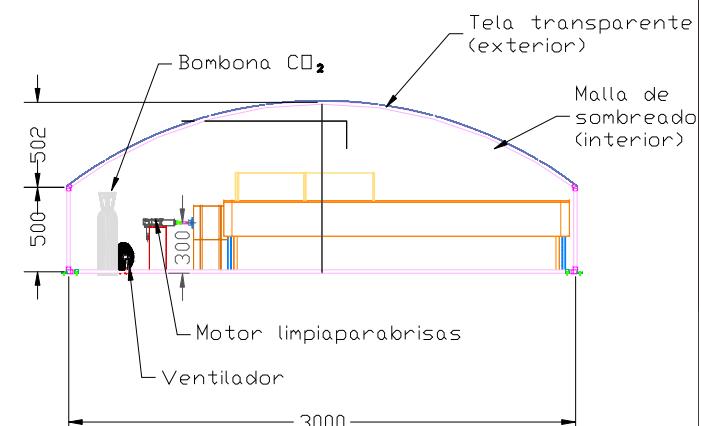


INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO: QUÍMICA APLICADA A LA INGENIERÍA	PROFESORA: Mº JOSÉ CASELLES POMARES
PROYECTO: DISEÑO DE MÓDULOS PARA LA PRODUCCIÓN A PEQUEÑA ESCALA DE SPIRULINA	REALIZADO: JOAN SOLÉ GUÀRDIA	FIRMA:
PLANO: MÓDULO 3: CULTIVO EN UNA TERRAZA	FECHA: 26.03.12	ESCALA: N° PLANO: Varias 3.1

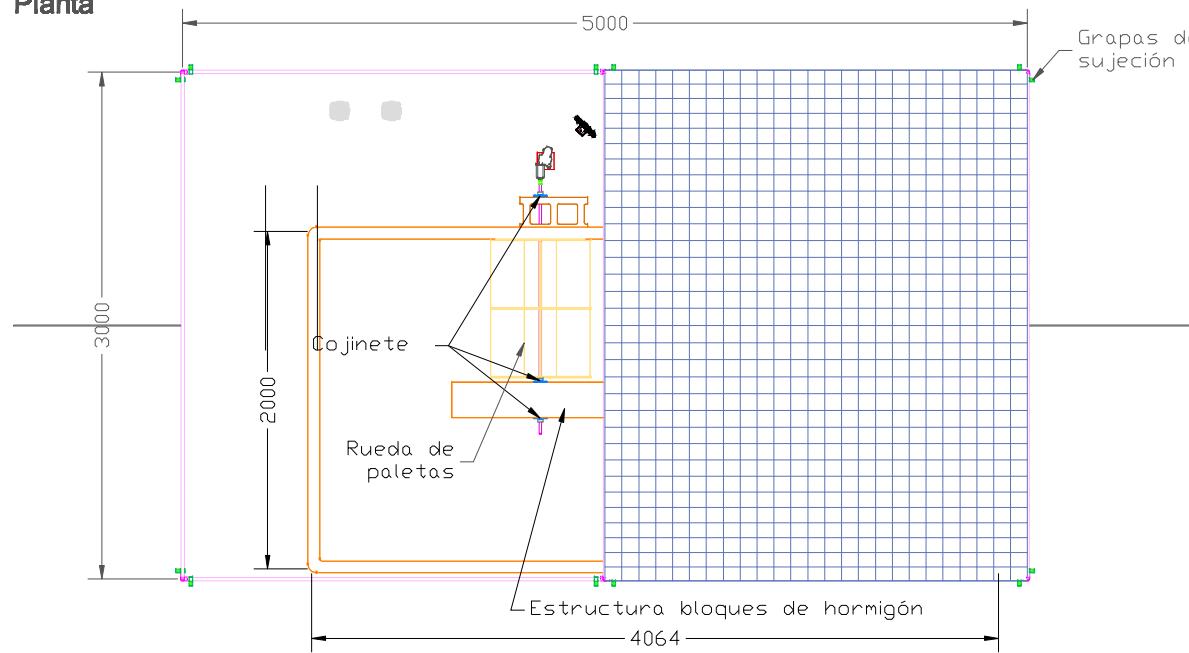
Módulo 3 - Alzado frontal



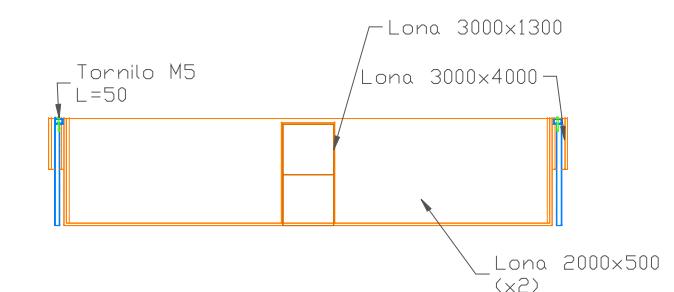
Alzado lateral



Planta

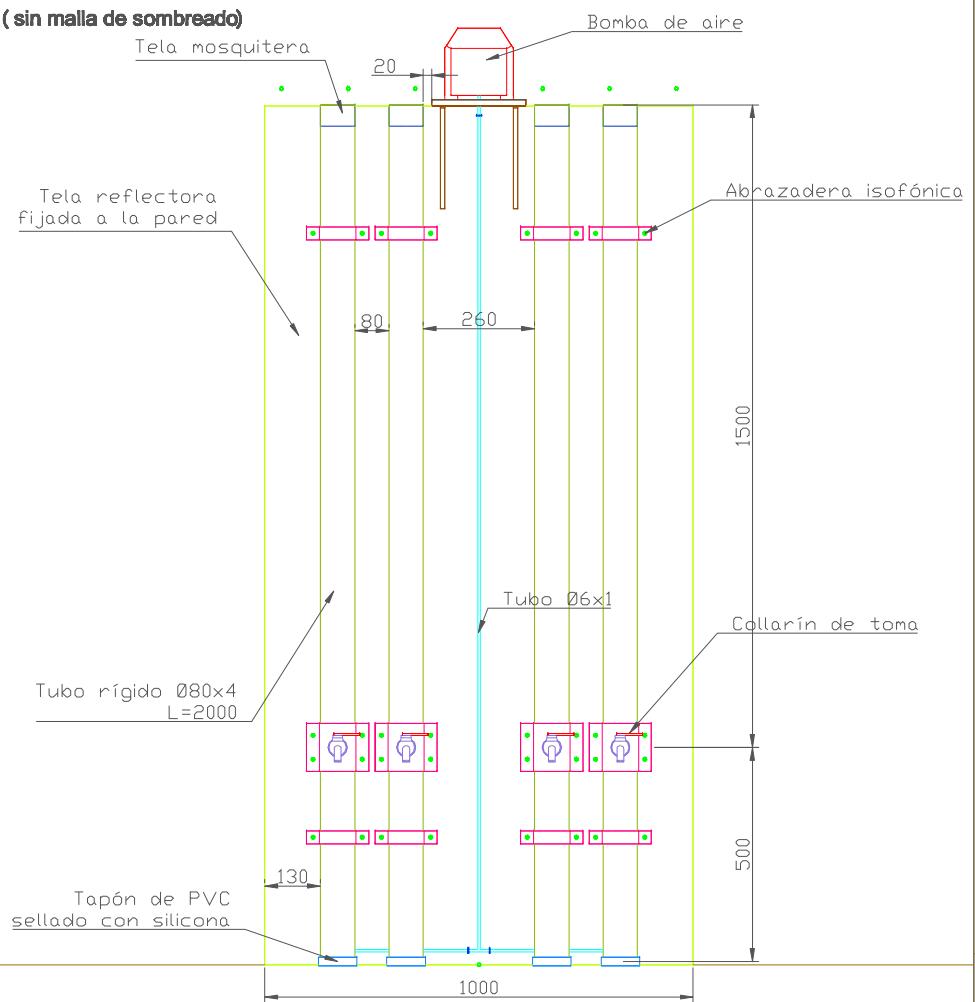


Detalle encaje lona plástica

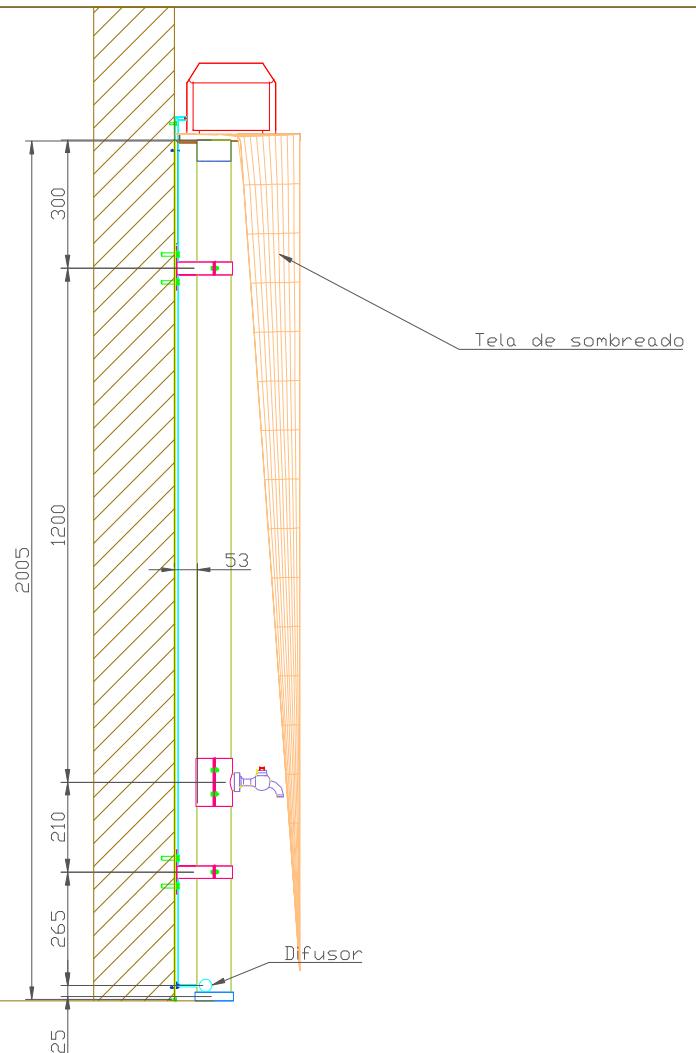


INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO: QUÍMICA APLICADA A LA INGENIERÍA	PROFESORA: Mº JOSÉ CASELLES POMARES
PROYECTO: DISEÑO DE MÓDULOS PARA LA PRODUCCIÓN A PEQUEÑA ESCALA DE SPIRULINA	REALIZADO: JOAN SOLE GUÀRDIA	
FIRMA:		
PLANO: MÓDULO 3: CULTIVO EN UNA TERRAZA	FECHA: 26.03.12	ESCALA: N° PLANO: 1:30 3.2

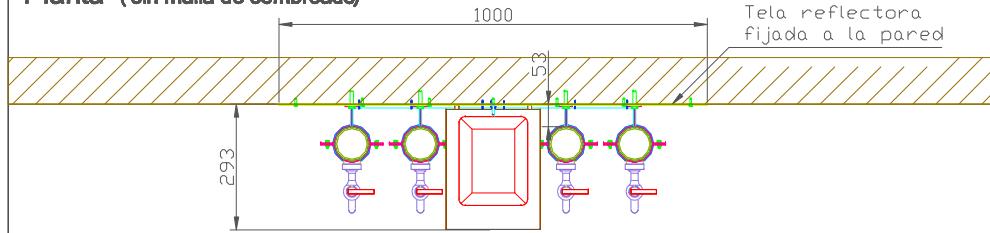
Módulo 4 - Alzado frontal (sin malla de sombreado)



Alzado lateral

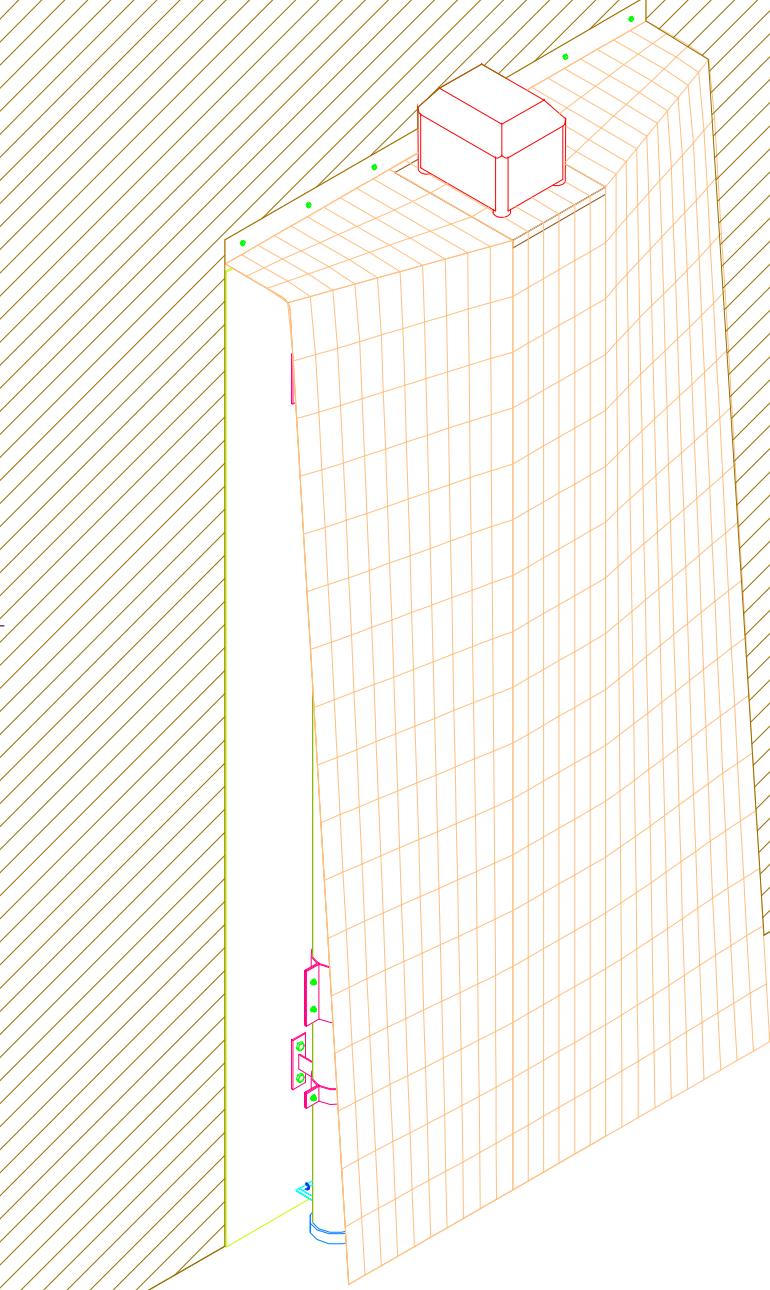


Planta (sin malla de sombreado)

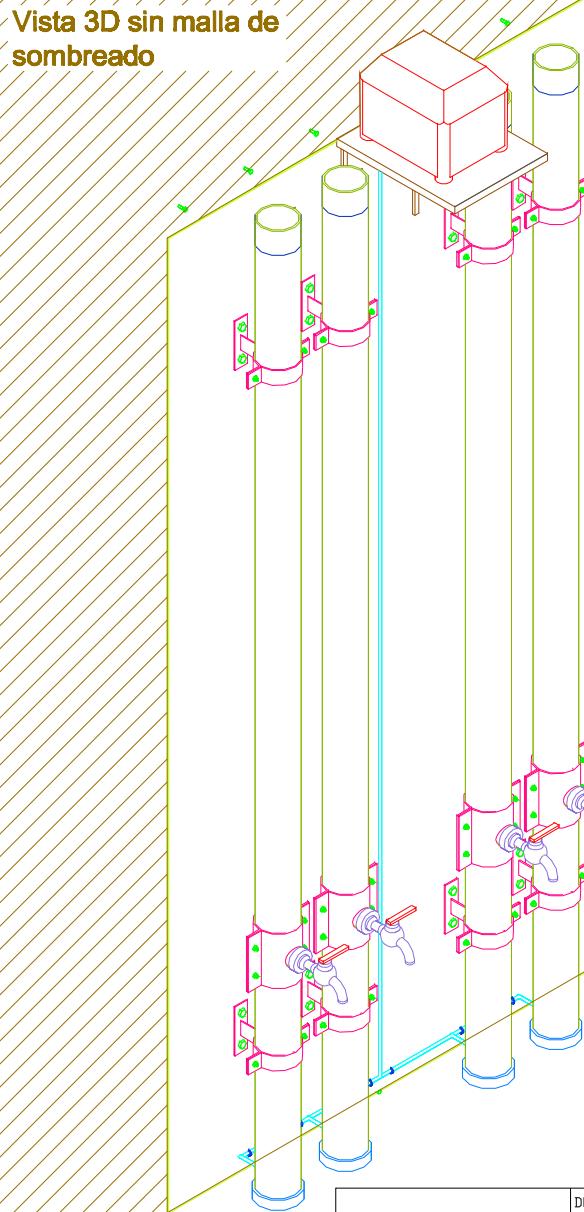


DEPARTAMENTO:	QUÍMICA APLICADA A LA INGENIERÍA	PROFESORA:
INGENIERIA INDUSTRIAL		Mº JOSÉ CASELLES POMARES
PROYECTO:	DISEÑO DE MÓDULOS PARA LA PRODUCCIÓN A PEQUEÑA ESCALA DE SPIRULINA	REALIZADO:
		JOAN SOLÉ GUÀRDIA
FIRMA:		
PLANO:	MÓDULO 4: CULTIVO EN TUBOS RÍGIDOS	FECHA: 26.03.12
		ESCALA: Varias
		Nº PLANO: 4.1

Módulo 4 - Vista 3D con malla de sombreado

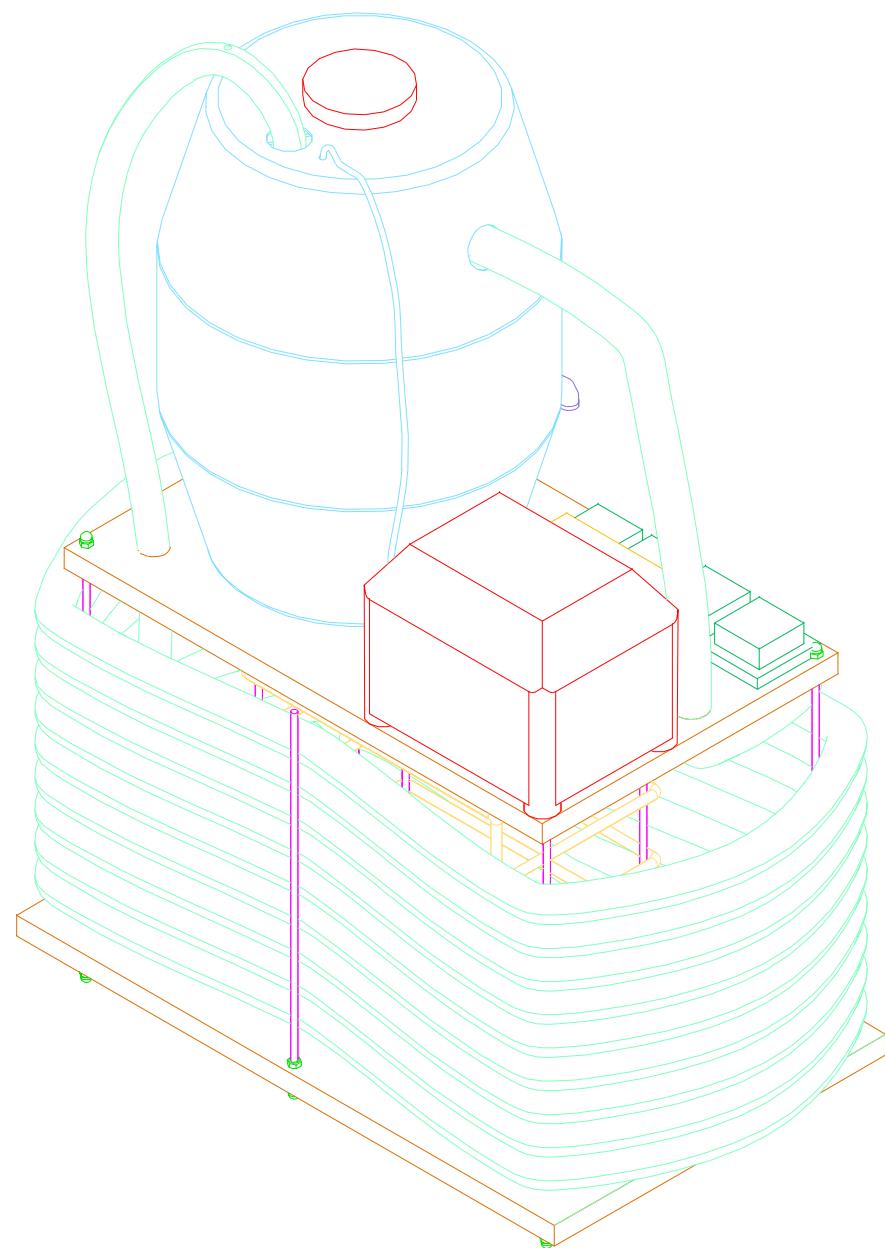


Vista 3D sin malla de sombreado

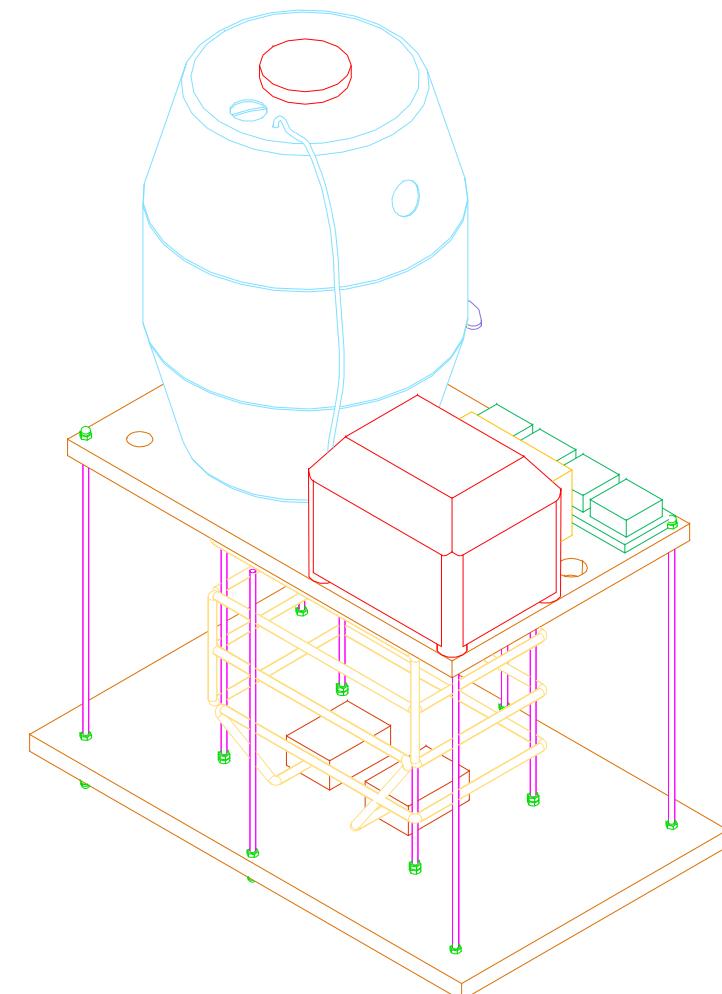


DEPARTAMENTO:	PROFESORA:
INGENIERIA INDUSTRIAL	Mº JOSÉ CASELLES POMARES
PROYECTO:	REALIZADO:
DISEÑO DE MÓDULOS PARA LA PRODUCCIÓN A PEQUEÑA ESCALA DE SPIRULINA	JOAN SOLÉ GUÀRDIA
FIRMA:	
PLANO:	FECHA: ESCALA: Nº PLANO:
MÓDULO 4: CULTIVO EN TUBOS RÍGIDOS	26.03.12 Varias 4.2

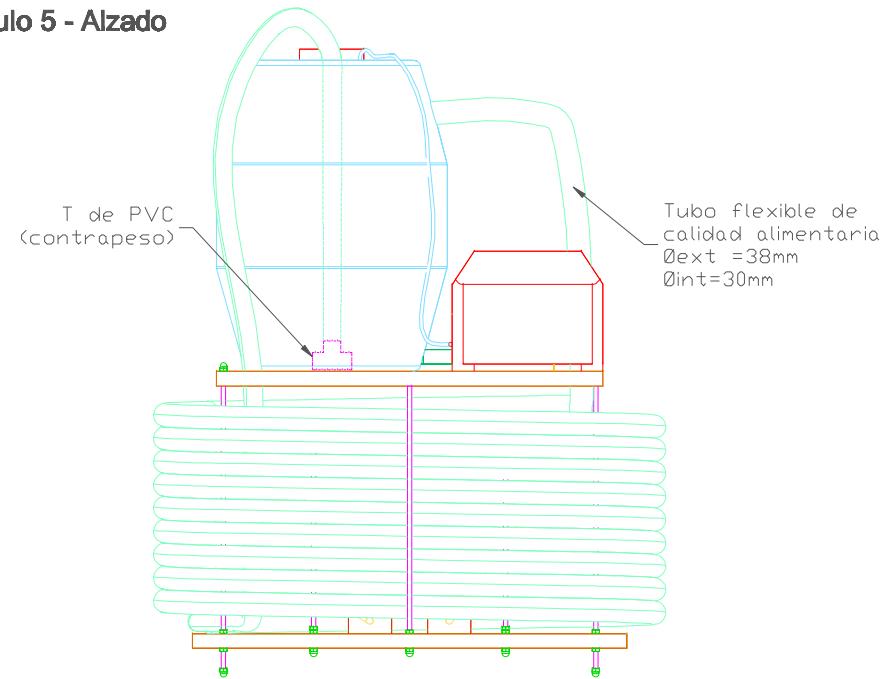
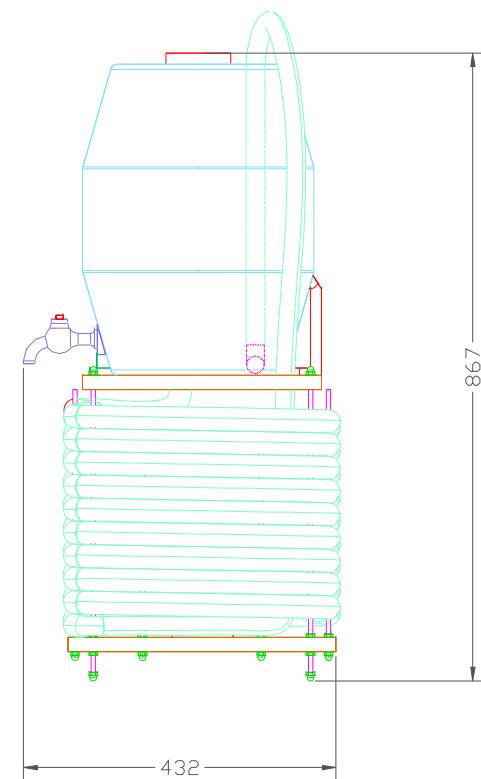
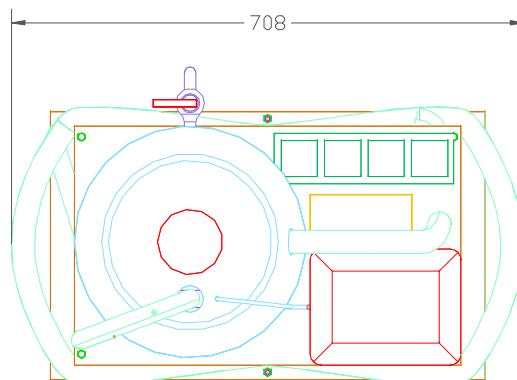
Módulo 5 - Vista 3D



Módulo 5 - Vista 3D (sin manguera)

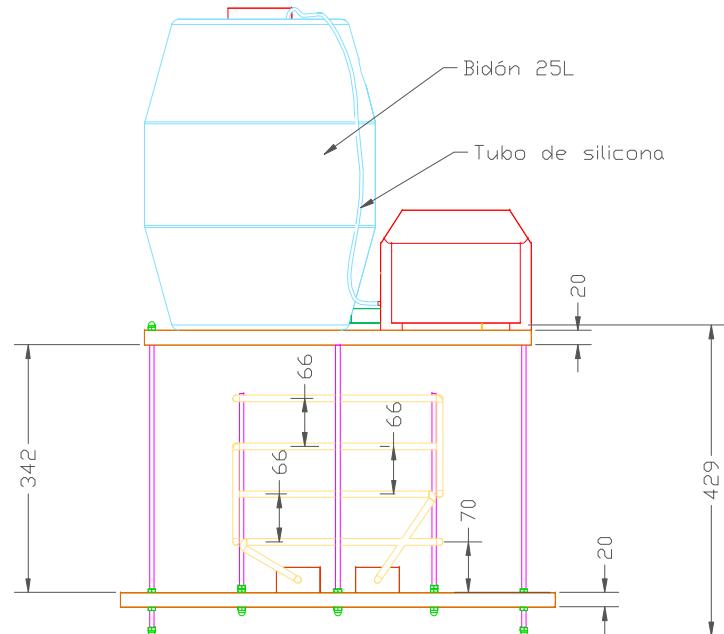


INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO: QUÍMICA APLICADA A LA INGENIERÍA	PROFESORA: Mº JOSÉ CASELLES POMARES
PROYECTO: DISEÑO DE MÓDULOS PARA LA PRODUCCIÓN A PEQUEÑA ESCALA DE SPIRULINA	REALIZADO: JOAN SOLÉ GUÀRDIA	
FIRMA:		
PLANO: MÓDULO 5: FOTOBIOREACTOR	FECHA: 29.05.12	ESCALA: N° PLANO: Varias 5.1

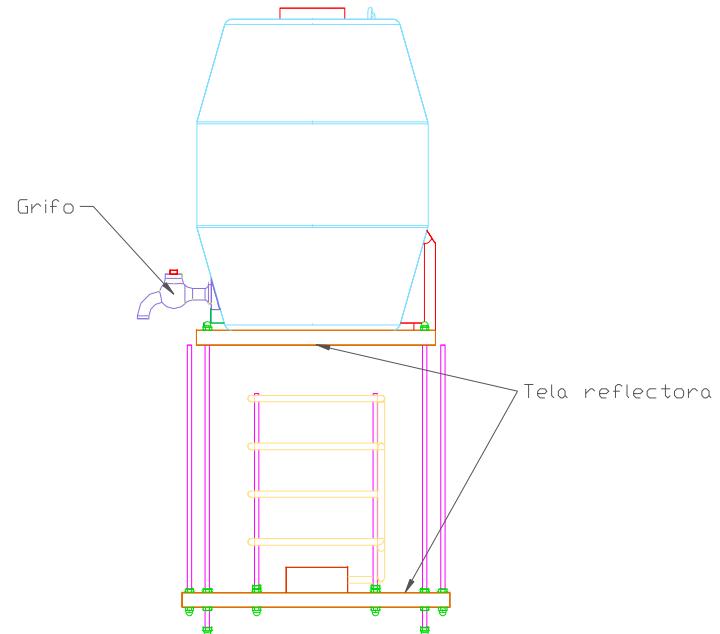
Módulo 5 - Alzado**Alzado lateral****Planta**

INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO: QUÍMICA APLICADA A LA INGENIERÍA	PROFESORA: Mº JOSÉ CASELLES POMARES
PROYECTO: DISEÑO DE MÓDULOS PARA LA PRODUCCIÓN A PEQUEÑA ESCALA DE SPIRULINA	REALIZADO: JOAN SOLÉ GUÀRDIA	FIRMA:
PLANO: MÓDULO 5: FOTOBIOREACTOR	FECHA: 29.05.12	ESCALA: N° PLANO: 1:7 5.2

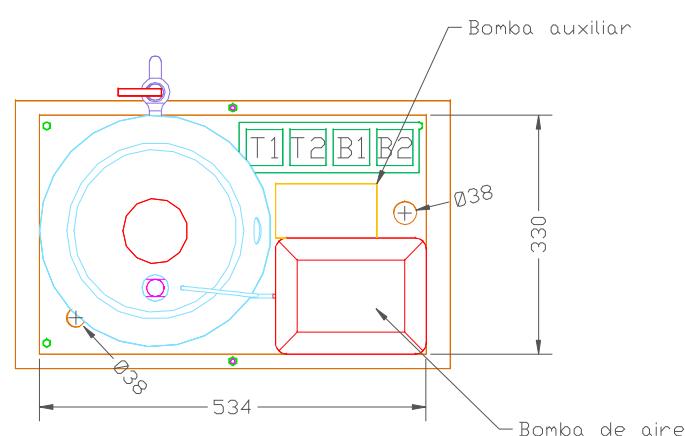
Módulo 5 (sin manguera) - Alzado



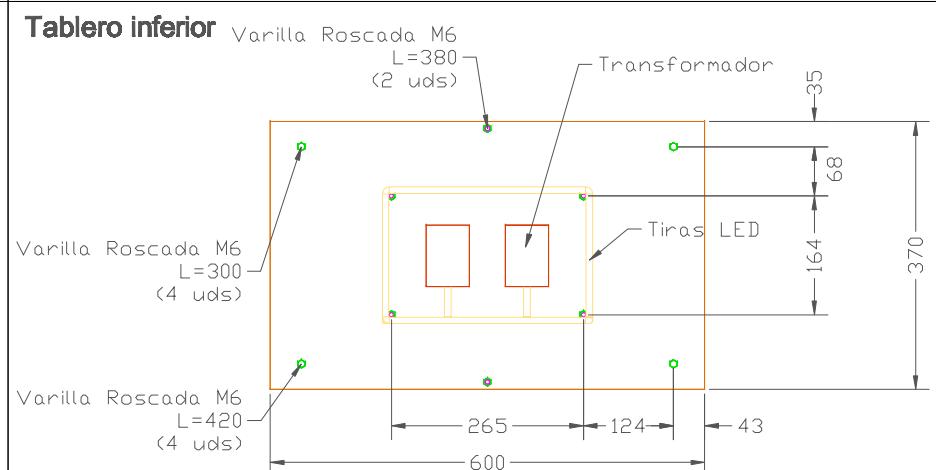
Alzado lateral



Planta



Tablero inferior



INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO: QUÍMICA APLICADA A LA INGENIERÍA	PROFESORA: Mº JOSÉ CASELLES POMARES
PROYECTO: DISEÑO DE MÓDULOS PARA LA PRODUCCIÓN A PEQUEÑA ESCALA DE SPIRULINA	REALIZADO: JOAN SOLE GUÀRDIA	FIRMA:
PLANO: MÓDULO 5: FOTOBIOREACTOR	FECHA: 29.05.12	ESCALA: N° PLANO: 1:7 5.3

APÉNDICE V. PRESUPUESTOS.

En este apéndice se presentan los presupuestos de los distintos módulos de producción. Todos los precios son expresados en euros (€).

AV-1 Presupuesto del módulo 1

AV-1.1 Presupuesto de instalación del módulo

AV-1.1.1 Presupuesto parcial: Recinto

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-1.1.1	ud	Piscina infantil 183 cm	1,00	11,00	11,00
AIII-1.1.2	ud	Recinto auxiliar 40 L	1,00	5,44	5,44
<hr/>					TOTAL
					16,44

AV-1.1.2 Presupuesto parcial: Sistema de agitación

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-1.2.1	ud	Bomba de aire 3W	2,00	8,67	17,34
AIII-1.2.2	m	Tubo silicona	4,00	0,40	1,60
AIII-1.2.3	ud	Difusor 30 cm	2,00	2,36	4,72
AIII-1.2.4	ud	Programador analógico	1,00	4,31	4,31
<hr/>					TOTAL
					27,97

AV-1.1.3 Presupuesto parcial: Sistema de recolección

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-1.3.1	m ²	Tela de Nilón	1,00	3,00	3,00
AIII-1.3.2	ud	Colador	1,00	5,62	5,62
AIII-1.3.3	caja	Pinzas para tender la ropa	1,00	2,54	2,54

AV-1.1.4 Presupuesto parcial: Sistemas auxiliares

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-1.4.1	m	Tela de sombreado	4,00	2,00	8,00
TOTAL					8,00

AV-1.1.5 Resumen del presupuesto:

Coste instalación	Total
Recinto	16,44
Sistema de agitación	27,97
Sistema de recolección	11,16
Sistemas auxiliares	8,00
 Total	63,57
IVA	11,44
 TOTAL	75,01

AV-1.2 Presupuesto de producción anual

A) Barcelona y Madrid

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-6.2 b)	kg	Bicarbonato	4,00	1,05	4,20
AIII-6.2 c)	kg	Sal	2,00	0,85	1,70
AIII-6.1.2	L	Alimentación orgánica	2,00	1,50	3,00
AIII-6.3	kWh	Consumo eléctrico	18,00	0,14	2,56
	%	Mantenimiento instalación	10,00	63,57	6,36
	%	Medios auxiliares	2,00	0,23	0,46
	%	Costes indirectos	3,00	0,55	1,64
			Total		19,92
			IVA		3,59
			TOTAL		23,51

B) Santa Cruz de Tenerife

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-6.2 b)	kg	Bicarbonato	4,00	1,05	4,20
AIII-6.2 c)	kg	Sal	2,00	0,85	1,70
AIII-6.1.2	L	Alimentación orgánica	3,50	1,50	5,25
AIII-6.3	kWh	Consumo eléctrico	30,66	0,14	4,36
	%	Mantenimiento instalación	10,00	63,57	6,36
	%	Medios auxiliares	2,00	15,51	0,31
	%	Costes indirectos	3,00	22,18	0,67
			TOTAL		22,85
			IVA		4,11
			TOTAL		26,96

AV-2 Presupuesto del módulo 2

AV-2.1 Presupuesto de instalación del módulo

AV-2.1.1 Presupuesto parcial: Recinto

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
	m ³	Excavación de tierra	1,8	21,28	38,30
AIII-2.1.1	ud	Lona plástica	4,0	7,00	28,00
AIII-2.1.2 a)	ud	Varilla roscada	6,0	0,57	3,42
AIII-2.1.2 b)	ud	Arandela mixta EPDM	6,0	0,04	0,24
AIII-2.1.2 c)	ud	Tuerca autoblocante	6,0	0,06	0,36
	hr	Oficial 1 ^a Montador	0,5	16,18	8,09
	%	Medios auxiliares	2,0	78,41	1,57
	%	Costes indirectos	3,0	79,98	2,40
				TOTAL	82,38

AV-2.1.2 Presupuesto parcial: Sistema de agitación

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-2.2.1	m ²	Bomba 12 V	4,0	9,10	36,40
AIII-2.2.2	ud	Tubo silicona	8,0	0,40	3,20
AIII-2.2.3	ud	Difusor de aire 60 cm	2,0	4,64	9,28
AIII-2.2.4	ud	Placa solar 20W	1,0	75,00	75,00
AIII-2.1.5	ud	Batería	1,0	29,90	29,90
	ud	Soporte placa solar	1,0	20,00	20,00
	hr	Oficial 1 ^a Montador placa solar	0,3	16,18	4,85
	%	Medios auxiliares	2,0	178,63	3,57
	%	Costes indirectos	3,0	182,21	5,47
				TOTAL	187,67

AV-2.1.3 Presupuesto parcial: Sistema de recolección

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-2.3.1	m ²	Tela de Nilón	0,4	3,00	1,20
	hr	Adaptación de la tela	0,5	10,00	5,00
AIII-2.3.2	ud	Bomba de agua 12 V	1,0	13,50	13,50
AIII-2.3.3	ud	Abrazadera sin fin	1,0	0,42	0,42
	%	Medios auxiliares	2,0	20,12	0,40
				TOTAL	20,52

AV-2.1.4 Presupuesto parcial: Sistemas auxiliares

Código	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-2.4.1	ud	Malla de sombreado	9,0	2,00	18,00
AIII-2.4.2 a)	m ²	Tubo de PVC de 1/2"	20,0	0,88	17,60
AIII-2.4.2 b)	m	T de PVC de 1/2"	6,0	0,39	2,34
AIII-2.4.2 c)	ud	Codo de PVC de 1/2"	4,0	0,31	1,24
AIII-2.4.2 d)	ud	Disolvente limpiador	1,0	3,11	3,11
AIII-2.4.2 e)	ud	Pegamento para PVC	1,0	1,99	1,99
AIII-2.4.3	ud	Grapa metálica zincada	6,0	0,02	0,12
AIII-2.4.4	pq	Bridas sujeción	1,0	1,65	1,65
	hr	Oficial 1 ^a Montador placa solar	0,5	16,18	8,09
				TOTAL	10,45

AV-2.1.5 Resumen del presupuesto:

Coste instalación	Total
Recinto	82,4
Sistema de agitación	187,7
Sistema de recolección	20,5
Sistemas auxiliares	10,5
 Total	301,0
IVA	54,2
 TOTAL	355,2

AV-2.2 Presupuesto de producción anual

A) Barcelona y Madrid

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-6.2 b)	kg	Bicarbonato	10,0	1,05	10,50
AIII-6.2 c)	kg	Sal	5,0	0,85	4,25
AIII-6.1.2	L	Alimentación orgánica	3,3	1,50	4,95
	%	Mantenimiento instalación	5,0	301,03	15,05
	%	Medios auxiliares	2,0	19,70	0,39
	%	Costes indirectos	3,0	35,15	1,05
			 TOTAL		36,20
			IVA		6,52
			 TOTAL		42,72

B) Santa Cruz de Tenerife

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-6.2 b)	kg	Bicarbonato	10,0	1,05	10,50
AIII-6.2 c)	kg	Sal	5,0	0,85	4,25
AIII-6.1.2	L	Alimentación orgánica	5,5	1,50	8,25
	%	Mantenimiento instalación	5,0	301,03	15,05
	%	Medios auxiliares	2,0	23,00	0,46
	%	Costes indirectos	3,0	38,51	1,16
			TOTAL		39,67
			IVA		7,14
			TOTAL		46,81

AV-3 Presupuesto del módulo 3

AV-3.1 Presupuesto de instalación del módulo

AV-3.1.1 Presupuesto parcial: Recinto

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-3.1.1	ud	Piezas componible 2 m largo	8,0	15,26	122,08
AIII-3.1.2 a)	ud	Angulo de montaje 90º	12,0	2,77	33,24
AIII-3.1.2 b)	ud	tornillo con aro roscado M8	20,0	0,26	5,20
AIII-3.1.2 c)	ud	Arandela zincada M8	40,0	0,02	0,80
AIII-3.1.3	m²	Lona plástica	6,0	7,00	42,00
AIII-3.1.4	ud	Bloque de hormigón 40x20x20	17,0	0,66	11,22
AIII-3.1.5	ud	Pegamento para lona	2,0	3,66	7,32
	hr	Oficial 1ª Montador	1,0	15,67	15,67
	%	Medios auxiliares	2,0	237,53	4,75
	%	Costes indirectos	3,0	242,28	7,27
<hr/>					TOTAL
					249,55

AV-3.1.2 Presupuesto parcial: Sistema de agitación

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-3.2.1	m ²	Plástico de recuperación	1,8	0,00	0,00
AIII-3.2.2	ud	Motor limpia-parabrisas nuevo	1,0	41,32	41,32
AIII-3.2.3	m	Varilla INOX	1,3	3,08	4,00
AIII-3.2.4	ud	Manguito hembra-hembra	1,0	1,63	1,63
AIII-3.2.5	ud	Programador analógico	1,0	4,31	4,31
AIII-3.2.6	ud	Transformador 220 a 12V	1,0	14,78	14,78
AIII-3.2.7	ud	Cojinete de rodamiento	2,0	6,79	13,58
AIII-3.2.8 a)	ud	Cable eléctrico de 25m	1,0	22,90	22,90
AIII-3.2.8 b)	ud	Ladrón triple	1,0	2,46	2,46
	hr	Oficial 1 ^a Electricista	0,3	16,18	4,85
	hr	Oficial 1 ^a Soladadura	0,3	15,67	4,70
	%	Medios auxiliares	2,0	114,54	2,29
	%	Costes indirectos	3,0	116,83	3,50
				TOTAL	120,33

AV-3.1.3 Presupuesto parcial: Sistema de recolección

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-3.3.1	m ²	Tela de Nilón	0,4	3,00	1,20
	hr	Adaptación de la tela	0,5	10,00	5,00
AIII-3.3.2	ud	bomba de agua	1,0	14,32	14,32
AIII-3.3.3	ud	Abrazadera sin fin	1,0	0,42	0,42
	%	Medios auxiliares	2,0	20,94	0,42
				TOTAL	21,36

AV-3.1.4 Presupuesto parcial: Sistemas auxiliares

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-3.4.1	m	Tela plástica transparente	6,0	3,00	18,00
AIII-3.4.2 a)	m	Tubo de PVC de 1/2"	42,0	0,88	36,96
AIII-3.4.2 b)	ud	T de PVC de 1/2"	8,0	0,39	3,12
AIII-3.4.2 c)	ud	Codo de PVC de 1/2"	4,0	0,31	1,24
AIII-3.4.2 d)	ud	Empalme quadruple	1,0	0,52	0,52
AIII-3.4.2 e)	ud	Disolvente limpiador	1,0	3,11	3,11
AIII-3.4.2 f)	ud	Adhesivo tubería PVC	1,0	1,99	1,99
AIII-3.4.3 a)	ud	Grapa metálica zincada	10,0	0,02	0,20
AIII-3.4.3 b)	ud	Taco de anclaje con tornillo	10,0	1,07	10,70
AIII-3.4.4	m ²	Malla de sombreado	12,0	2,00	24,00
AIII-3.4.5	ud	Silicona	1,0	5,16	5,16
AIII-3.4.6	ud	Sistema de aporte de CO ₂	1,0	186,36	186,36
AIII-3.4.7 a)	ud	Botella recargable	1,0	93,22	93,22
AIII-3.4.7 b)		Adaptador estándar	1,0	16,93	16,93
				TOTAL	383,51

AV-3.1.5 Resumen del presupuesto:

Coste instalación	Total
Recinto	249,5
Sistema de agitación	120,3
Sistema de recolección	21,4
Sistemas auxiliares	383,5
Total	774,8
IVA	139,5
TOTAL	914,2

AV-3.2 Presupuesto de producción anual

a) Barcelona y Madrid

Referencia ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-6.2 b)	kg Bicarbonato	16,0	1,05	16,80
AIII-6.2 c)	kg Sal	8,0	0,85	6,80
AIII-6.1.2	L Alimentación mineral	160,0	1,00	160,00
AIII-6.3	kWh Consumo eléctrico	102,2	0,14	14,55
AIII-6.4	kg Recarga de CO ₂	10,0	10,00	100,00
	% Mantenimiento instalación	2,0	774,75	18,28
	% Medios auxiliares	2,0	198,15	3,96
	% Costes indirectos	3,0	320,39	9,61
				TOTAL 330,00
				IVA 59,40
				TOTAL 389,40

b) Santa Cruz de Tenerife

Referencia ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-6.2 b)	kg Bicarbonato	16,0	1,05	16,80
AIII-6.2 c)	kg Sal	8,0	0,85	6,80
AIII-6.1.2	L Alimentación mineral	260,0	1,00	260,00
AIII-6.3	kWh Consumo eléctrico	102,2	0,14	14,55
AIII-6.4	kg Recarga de CO ₂	16,0	10,00	160,00
	% Mantenimiento instalación	2,0	774,75	15,50
	% Medios auxiliares	2,0	298,15	5,96
	% Costes indirectos	3,0	479,60	14,39
				TOTAL 493,99
				IVA 88,92
				TOTAL 582,91

AV-4 Presupuesto del módulo 4

AV-4.1 Presupuesto de instalación del módulo

AV-4.1.1 Presupuesto parcial: Recinto

a) Barcelona y Madrid

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-4.1.1	ud	Tubo rígido 2 m longitud	4,00	50,76	203,04
AIII-4.1.2	ud	Collarín de toma	4,00	2,50	10,00
AIII-4.1.3	m	Grifo de 1/2"	4,00	3,08	12,32
AIII-4.1.4	ud	Tapón hembra liso	4,00	1,09	4,36
AIII-4.1.5	ud	Silicona selladora	1,00	5,16	5,16
AIII-4.1.6	ud	Abrazadera isofónica	4,00	2,72	10,88
	hr	Oficial 1ª Montador	0,50	15,67	7,84
	%	Medios auxiliares	2,00	253,60	5,07
	%	Costes indirectos	3,00	258,67	7,76
				TOTAL	266,43

b) Santa Cruz de Tenerife

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-3.1.1	ud	Tubo rígido 2 m longitud	3,00	50,76	152,28
AIII-3.1.2	ud	Collarín de toma	3,00	2,50	7,50
AIII-3.1.3	m	Grifo de 1/2"	3,00	3,08	9,24
AIII-3.1.4	ud	Tapón hembra liso	3,00	1,09	3,27
AIII-3.1.5	ud	Silicona selladora	1,00	5,16	5,16
AIII-3.1.6	ud	Abrazadera isofónica	3,00	2,72	8,16
	hr	Oficial 1ª Montador	0,50	15,67	7,84
	%	Medios auxiliares	2,00	193,45	3,87
	%	Costes indirectos	3,00	197,31	5,92
				TOTAL	203,23

AV-4.1.2 Presupuesto parcial: Sistema de agitación

a) Barcelona y Madrid

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-4.2.1	ud	Bomba de aire	1,00	42,28	42,28
AIII-4.2.2	ud	Tubo de silicona	5,00	0,40	2,00
AIII-4.2.3	m	Conector T de PVC	3,00	0,76	2,28
AIII-4.2.4	ud	Difusor de aire	4,00	0,45	1,80
AIII-4.2.5	ud	Soporte bomba de aire	1,00	10,00	10,00
AIII-4.2.6	ud	Grapas a la pared	8,00	0,40	3,20
	%	Medios auxiliares	2,00	61,56	1,23
	%	Costes indirectos	3,00	62,79	1,88
TOTAL					64,67

b) Santa Cruz de Tenerife

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-3.2.1	ud	Bomba de aire	1,00	42,28	42,28
AIII-3.2.2	ud	Tubo de silicona	4,00	0,40	1,60
AIII-3.2.3	m	Conector T de PVC	2,00	0,76	1,52
AIII-3.2.4	ud	Difusor de aire	3,00	0,45	1,35
AIII-3.2.5	ud	Soporte bomba de aire	1,00	10,00	10,00
AIII-3.2.6	ud	Grapas a la pared	6,00	0,40	2,40
	%	Medios auxiliares	2,00	59,15	1,18
	%	Costes indirectos	3,00	60,33	1,81
TOTAL					62,14

AV-4.1.3 Presupuesto parcial: Sistema de recolección

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-4.3.1	m ²	Tela de Nilón	0,20	3,00	0,60
	hr	Adaptación de la tela	0,50	10,00	5,00
AIII-4.3.3	ud	Recinto auxiliar	1,00	2,72	2,72
AIII-4.3.2	ud	Agujas para tender la ropa	1,00	2,54	2,54
	%	Medios auxiliares	2,00	10,86	0,22
		Costes indirectos	3,00	11,08	0,33
				TOTAL	11,41

AV-4.1.4 Presupuesto parcial: Sistemas auxiliares

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
	m ²	Malla de sombreado	2,00	2,00	4,00
	m ²	Tela reflectora	2,00	4,58	9,16
	%	Costes indirectos	3,00	13,16	0,39
				TOTAL	13,55

AV-4.1.5 Resumen del presupuesto:

a) Barcelona y Madrid

b) Santa Cruz de Tenerife

Coste instalación	Total	Coste instalación	Total
Recinto	266,43	Recinto	203,23
Sistema de agitación	64,67	Sistema de agitación	62,14
Sistema de recolección	11,41	Sistema de recolección	11,41
Sistemas auxiliares	13,55	Sistemas auxiliares	13,55
Total	356,07	Total	290,34
IVA	64,09	IVA	52,26
TOTAL	420,16	TOTAL	342,60

AV-4.2 Presupuesto de producción anual

a) Barcelona y Madrid

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-6.2 b)	kg	Bicarbonato	1,30	1,05	1,37
AIII-6.2 c)	kg	Sal	0,65	0,85	0,55
AIII-6.1.2	L	Alimentación mineral	14,00	1,00	14,00
AIII-6.3	kWh	Consumo eléctrico	109,50	0,14	15,58
	%	Mantenimiento instalación	3,00	356,07	12,60
	%	Medios auxiliares	2,00	31,50	0,63
	%	Costes indirectos	3,00	44,74	1,34
			TOTAL		46,08
			IVA		8,29
			TOTAL		54,37

b) Santa Cruz de Tenerife

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-6.2 b)	kg	Bicarbonato	1,30	1,05	1,37
AIII-6.2 c)	kg	Sal	0,65	0,85	0,55
AIII-6.1.2	L	Alimentación mineral	16,00	1,00	16,00
AIII-6.3	kWh	Consumo eléctrico	109,50	0,14	15,58
	%	Mantenimiento instalación	3,00	290,34	10,28
	%	Medios auxiliares	2,00	43,78	0,88
	%	Costes indirectos	3,00	44,66	1,34
			TOTAL		45,99
			IVA		8,28
			TOTAL		54,27

AV-5 Presupuesto del módulo 5

AV-5.1 Presupuesto de instalación del módulo

AV-5.1.1 Presupuesto parcial: Recinto

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-5.1.1	ud	Tubo flexible plutone bio	16,68	5,89	98,25
AIII-5.2.1	ud	Recinto auxiliar	1,00	16,10	16,10
AIII-5.3.1	ud	Silicona selladora	1,00	5,16	5,16
	hr	Adecuación del recinto auxiliar	0,60	16,21	9,73
	%	Medios auxiliares	2,00	129,23	2,58
	%	Costes indirectos	3,00	131,82	3,95
				TOTAL	135,77

AV-5.1.2 Presupuesto parcial: Sistema de agitación

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-5.2.1	ud	Bomba de aire ACO 9810	1,00	26,05	26,05
AIII-5.2.2	ud	Bomba de aire ACO 2203	1,00	4,48	4,48
AIII-5.2.3	ud	Tubo silicona	3,0	0,40	1,20
	%	Costes indirectos	3,00	31,73	0,95
				TOTAL	32,68

AV-5.1.3 Presupuesto parcial: Sistema de recolección

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-4.3.1	m ²	Tela de Nilón	0,20	3,00	0,60
	hr	Adaptación de la tela	0,30	10,00	3,00
AIII-4.3.3	ud	Recinto auxiliar	1,00	2,72	2,72
AIII-4.3.2	ud	Agujas para tender la ropa	1,00	2,54	2,54
	%	Medios auxiliares	2,00	8,86	0,18
	%	Costes indirectos	3,00	9,04	0,27
				TOTAL	9,31

AV-5.1.4 Presupuesto parcial: Sistemas auxiliares

Referencia	ud.	Descripción	Medición	p/u	Total
AIII-5.4.1 a)	ud	Tablón de madera	0,18	13,00	2,34
AIII-5.4.1 b)	m ²	Tablón de madera	0,22	13,00	2,86
	hr	Adecuación tablones	0,50	11,81	5,91
AIII-5.4.2 a)	m	Varilla roscada M-6	3,64	0,28	1,01
	hr	Adecuación varillas	0,05	16,21	0,81
AIII-5.4.3 a)	ud	Tuerca hexagonal M-6	14,00	0,001	0,02
AIII-5.4.3 c)	ud	Tuerca rebajada M-6	14,00	0,010	0,14
AIII-5.4.3 f)	ud	Tuerca con sombrerete M-6	4,00	0,020	0,08
AIII-5.4.4 a)	ud	Arandela plana biselada M-6	24,00	0,006	0,13
AIII-5.4.5	m	Tira LED SMD 5050	5,00	7,34	36,70
AIII-5.4.6	ud	Transformador	2,00	5,90	11,80
AIII-5.4.7	ud	Transformador	2,00	5,90	11,80
AIII-5.4.8	m	Tela reflectora	0,50	4,58	2,29
	%	Costes indirectos	3,00	75,89	2,28
				TOTAL	78,17

AV-5.1.5 Resumen del presupuesto:

Coste instalación	Total
Recinto	135,77
Sistema de agitación	32,68
Sistema de recolección	9,31
Sistemas auxiliares	80,54
 Total	258,30
IVA	46,49
 TOTAL	304,79