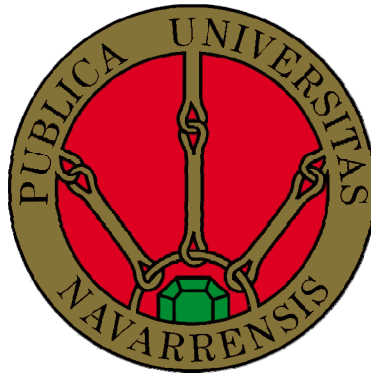


**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE  
NAVARRA  
NAFARROAKO  
UNIBERTSITATE PUBLIKOA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIEROS AGRONOMOS  
NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA**



**IMPLANTACIÓN DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN  
PARALELOS AL CULTIVO DEL ARROZ (O.SATIVA) Y DE LAS SINERGIAS  
CREADAS ENTRE ELLOS EN UNA FINCA ARROCERA DE LAS MARISMAS  
DEL BAJO GUADALQUIVIR**

Presentado por:

Daniel Prieto Notario

**GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL  
GRADUA NEKAZARITZAKO ELIKAGAIEN ETA LANDA INGURUNEAREN INGENIARITZAN**

Junio, 2017

## AGRADECIMIENTOS

Al profesor Dr. Juan Bosco Imbert y al profesor Dr. Javier Casali, por su inestimable ayuda, su guía, sus valiosísimos consejos y su paciencia durante la realización de este trabajo de fin de grado.

A mis Padres, por su apoyo incondicional, por su cariño y su ayuda, por estar siempre ahí durante toda la carrera y durante toda mi vida.

A mis hijas, por seguir queriéndome aunque no les haya dedicado todo el tiempo que merecían, por recibirme con un abrazo cada día al volver de la biblioteca y por seguir riéndose con mis cosquillas a pesar de no haber podido sentarme a jugar.

Pero sobre todo a Rosa, por tirar siempre del carro, por su apoyo y su trabajo incansable en el día a día, su comprensión ante las dificultades, por llevar esta familia sobre los hombros, por aguantar mis despistes y por su amor.

## RESUMEN:

Descripción de la implantación de diferentes sistemas de producción paralelos al cultivo del arroz (*O.sativa*) y de las sinergias creadas entre ellos.

Se analiza la conveniencia de la siembra de *Machrobrachium ssp.* Frente a la continuidad de *Procambarus clarkii*. Se propone integrar un sistema de plantación de lechuga (*L.sativa*) en balsas flotantes.

También se muestra el prediseño de un fotobiorreactor para microalgas con la recirculación del agua del arrozal y la implantación de sendos biorreactores para la cría de rotíferos, cladóceros y microcrustaceos.

Todo ello desde la perspectiva de la producción integrada, la acuicultura multitrófica integrada (AMTI) y la generación de productos de alto valor añadido.

En definitiva un sistema para aumentar la generación de biomasa producida por unidad de superficie. Se toma como ejemplo una finca productora de arroz en el bajo Guadalquivir.

## ABSTRACT:

Description of the implementation of different production systems in parallel with rice cultivation (*O.sativa*) and the synergies created between them.

It is analysed the suitability of the sowing of *Machrobrachium ssp.* Instead of the continuity of *Procambarus clarkii*. It is proposed to integrate a lettuce planting system (*L.sativa*) in floating rafts.

In addition, it is also shown the pre-design of a microalgae photobioreactor with the recirculation of rice water and the implantation of two bioreactors for the breeding of rotifers, cladocerans and microcrustaceans.

All from the perspective of integrated production, integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) and the generation of high added value products.

In conclusion, a system to increase the biomass generation produced per unit area. It is taken as a reference a rice-producing farm in the lower Guadalquivir.

**PALABRAS CLAVE:** Producción integrada; acuicultura; microalgas; arroz; biomasa.

**KEYWORDS:** Integrated production; aquaculture; microalgae; rice; biomass.

# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	6
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA A ESTUDIAR .....	6
1.2	JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	6
1.2.1	UNA TENDENCIA DIFÍCIL DE SUPERAR: LA REVOLUCIÓN VERDE .....	6
1.2.2	LA PRODUCCIÓN INTEGRADA .....	7
1.3	NIVEL DE RESOLUCIÓN, CON EL DESARROLLO DE LA CORRESPONDIENTE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
1.4	OBJETIVOS A CONSEGUIR CON EL ESTUDIO QUE SE DESARROLLA.....	14
2.	METODOLOGÍA EMPLEADA .....	15
2.1	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN INICIAL, LOCALIZACIÓN .....	15
3.	RESULTADOS.....	17
3.1	BREVE DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....	17
3.2	DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIES IMPLEMENTADAS EN EL SISTEMA .....	18
3.2.1	ARROZ, <i>Oryza sativa</i> .....	18
3.2.2	EL CANGREJO ROJO AMERICANO, <i>Procambarus clarkii</i> .....	19
3.2.3	CAMARÓN GIGANTE, <i>Macrobrachium spp</i> .....	20
3.2.4	LECHUGA, <i>Lactuca sativa</i> .....	21
3.2.5	CASTAÑA DE AGUA, <i>Trapa natans</i> .....	23
3.2.6	MICROALGAS.....	25
3.2.7	ROTÍFEROS.....	30
3.2.8	CLADÓCEROS.....	31
3.2.9	MICROCRUSTACEOS .....	32
3.3	RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS TOTALES.....	34
3.4	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	36
4.	CONCLUSIONES .....	39
5.	BIBLIOGRAFÍA .....	39
	ANEXOS .....	49

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA A ESTUDIAR

La población mundial en 1800 era de un millardo y se ha incrementado de dos a siete millardos en los últimos 85 años. Hoy somos más o menos 7396 millones de personas (US Census bureau, 2017), es decir crece de forma exponencial. Esto nos lleva a pensar en que las necesidades alimentarias y por tanto las productivas deben aumentar al menos en un ritmo similar.

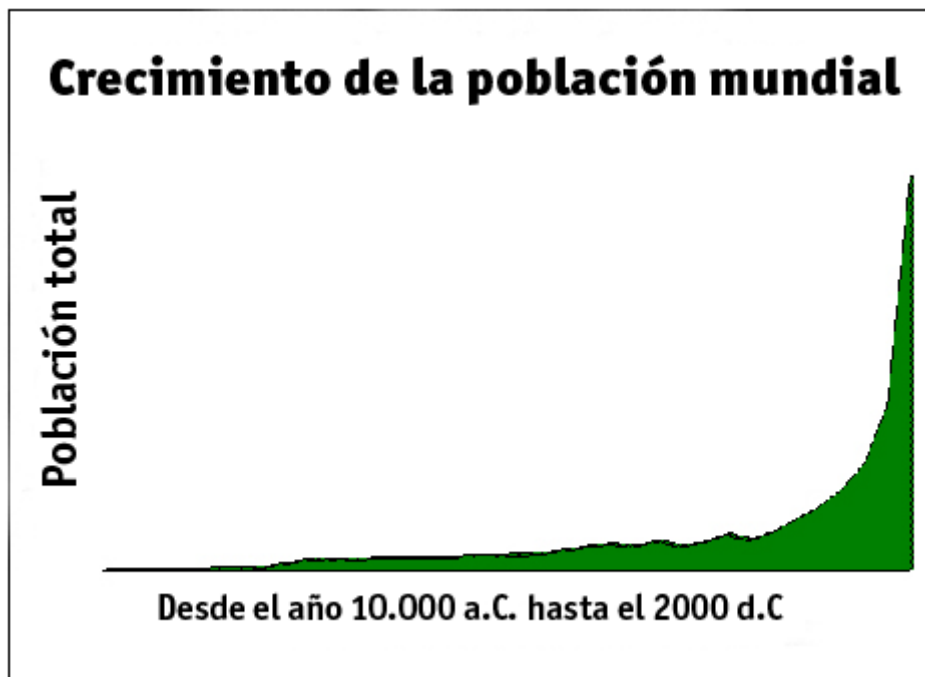


Gráfico 1. Crecimiento poblacional (Javier E. Durán Leirado, 2012)

### 1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

#### 1.2.1 UNA TENDENCIA DIFÍCIL DE SUPERAR: LA REVOLUCIÓN VERDE

Hasta mediados del siglo pasado la producción en agronomía se hacía de forma tradicional; las técnicas que se usaban no eran capaces de satisfacer la creciente demanda de alimentos que exigía el exponencial crecimiento demográfico. Fue a partir de 1940 con el nacimiento de la revolución verde cuando los avances en biotecnología vegetal de la mano de Norman Borlaug permitieron crear variedades mejoradas de cereal que unidos a técnicas de monocultivo, avances en los sistemas de riego, maquinaria agrícola más moderna, mejoras en los sistemas de transporte y conservación de alimentos y el avance en la formulación de agroquímicos más capaces permitieron triplicar la producción.

Pero no sólo la agricultura vivió una revolución, también la ganadería sufrió una importante transformación con la mejora de las razas existentes y la creación de nuevas razas superproductoras, la industrialización del hasta ahora manejo tradicional y la creación de nuevos piensos, medicamentos y compuestos más eficaces (Sarandon, 2002).

Sin embargo, este sistema productivo trajo consigo nuevos problemas como la erosión del suelo por exceso de laboreo y la aparición de plagas y enfermedades que hacían perder las cosechas por uso masivo de insecticidas y herbicidas que rompieron el equilibrio biológico del agrosistema. También surgieron problemas en el mundo de la ganadería pues la alimentación de vacas con piensos que contenían restos animales y el suministro de hormonas de crecimiento causaron la encefalopatía esponjiforme bovina que supuso el sacrificio de 2 millones de vacas solo en el Reino unido. Otros problemas como el descenso de la calidad sanitaria de la carne y de la leche de los animales hormonados, la exigencia de los consumidores sobre la calidad de los productos, la conservación del medio ambiente o el bienestar animal, están en parte haciendo obsoleto el sistema intensivo (Azcarete, 1991).

### 1.2.2 LA PRODUCCIÓN INTEGRADA

A pesar de que la producción industrial sigue siendo dominante, como contrapunto hemos podido observar la restauración de antiguas prácticas con la agricultura ecológica y la aparición de un nuevo concepto la producción integrada.

El origen de la producción integrada se dio a partir de la lucha biológica e integrada de plagas, que intenta llevar un control del cultivo a fin de saber el estado de desarrollo en el que se encuentran las plagas y sus depredadores naturales en cada momento. Esta idea siguió extendiéndose a otras facetas del propio manejo del cultivo, hasta llegar a lo que hoy es conocido como agricultura integrada. A su vez esta filosofía se ha llevado a otras ramas de la agronomía como la ganadería donde se ha puesto de manifiesto la importancia de la vieja idea de que un animal que se sienta cómodo producirá más y mejor (Dominguez Martin, 2001).

La Organización Internacional de la Lucha Biológica e Integrada (OLIB) define la producción integrada como “Un sistema agrícola de producción de alimentos que utiliza al máximo los recursos y los mecanismos de regulación naturales y asegura, a largo plazo, una agricultura viable y sostenible. En ella los métodos

biológicos, las técnicas de cultivo y los procesos químicos son escogidos con esmero, buscando un equilibrio entre el medio ambiente, la rentabilidad y las exigencias sociales” (Badii, 2015).

La producción integral es por tanto un sistema intermedio entre la agronomía ecológica y la industrial. A diferencia de la Producción Ecológica, permite la utilización de productos químicos de síntesis como vacunas o medicamentos para el ganado o plaguicidas para las cosechas si no existen otras alternativas. Si bien se busca hacer un uso mínimo de los mismos, y éste está restringido en las Normas Técnicas específicas de producción para cada animal o cultivo vegetal.

Se busca por tanto la utilización racional de los medios de producción para mejorar la rentabilidad de las explotaciones gracias a la reducción del coste de los insumos. Se manifiesta también la gran exigencia de que esta rentabilidad sea sostenible en el tiempo y en el espacio por lo que la mejora del medio ambiente es una consecuencia de esta necesidad, es decir la perspectiva actual es que se trata de un imperativo para la mejora de la rentabilidad y no algo que está en contraposición con la ganancia del agricultor o el ganadero (Porcuna 2007).

Pero volviendo al tema que nos atañe ¿Es la producción integrada la solución para paliar las crecientes necesidades de alimentos de la población?

Muchos campos de la ciencia han intentado afrontar este reto; por ejemplo después de los descubrimientos de la recombinación genética, los enzimas de restricción y el ADN recombinante, los alimentos transgénicos parecían tener el potencial necesario para emular el increíble avance productivo que acaeció tras la revolución verde.

No obstante, ese incremento no llegó por esta vía y aunque bien es cierto que la producción integrada debe incluir los nuevos descubrimientos de la biotecnología como la ingeniería genética o el cultivo in vitro, es por otro camino por el que puede llegar a marcar la diferencia en el terreno productivo. (García Olmedo, 1999)

Es mediante las observaciones de los ecólogos sobre los flujos de materia y energía en los diferentes ecosistemas donde hallamos la respuesta. La marcada diferencia entre estos flujos en el agroecosistema, frente a los que se dan en determinados ecosistemas naturales, en los que la eficiencia de asimilación total es mayor y donde la biomasa potencial es superior ya que la producción secundaria es más grande debido a que hay más biomasa heterotrófica. Esto es así porque en muchos ecosistemas naturales las redes tróficas están más

desarrolladas y en todos los niveles se produce una utilización de la energía y de la materia (Figueroa et al, 2011).

En este sentido aunque etimológicamente puede llevar a un equívoco, la integración de la producción de diferentes productos en un mismo sistema está siendo uno de los desarrollos naturales de la producción integrada. Como ejemplo tenemos la plantación de alcornoques micorrizados con trufas en las dehesas, la acuaponía que es un sistema que combina la acuicultura tradicional con la hidroponía, la explotación de seteros en los pastos de ganado vacuno, el cultivo del cangrejo en las plantaciones de arroz o la utilización de fibra de coco, subproducto de la industria automovilística, como sustrato para las plantaciones en Almería (Viñuela, 2015).

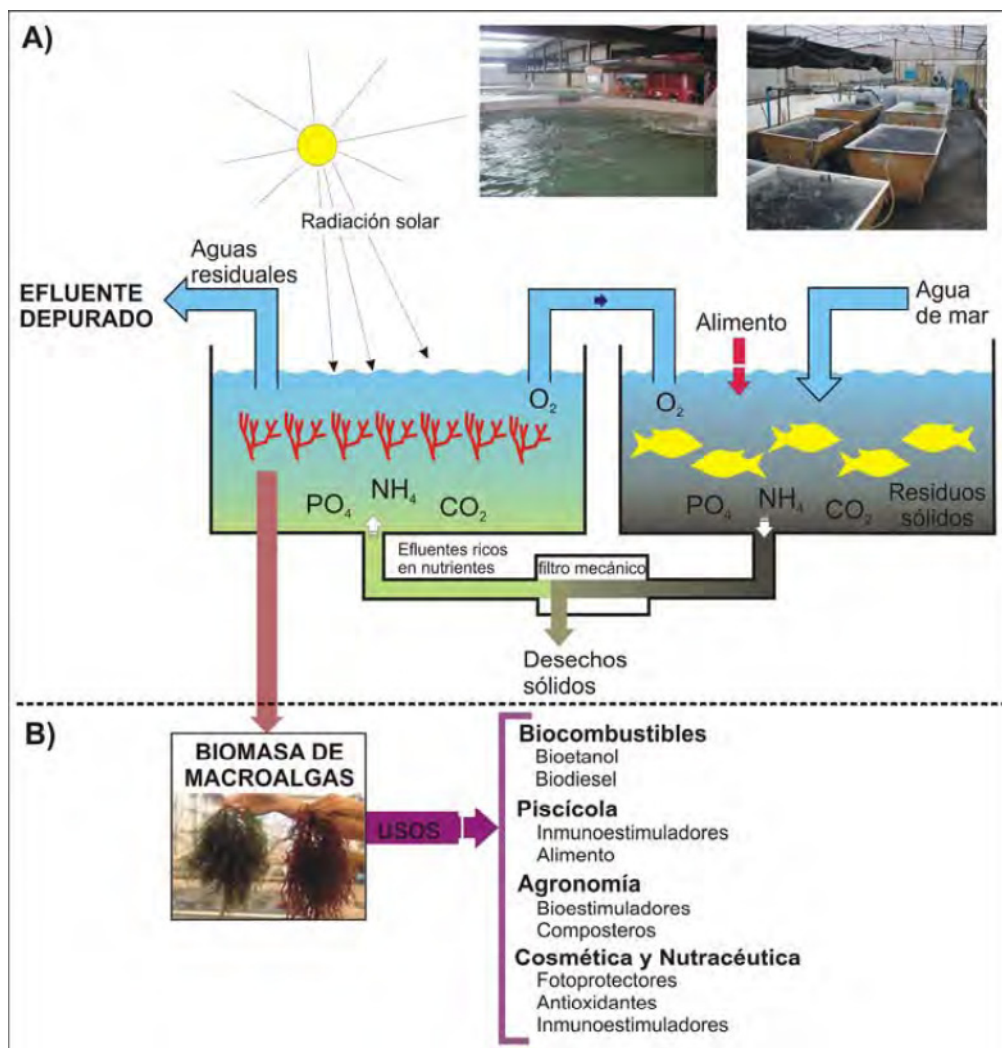


Gráfico 2: Esquema de sistema acuapónico (Figueroa, 2011).

Sin embargo es en ecosistemas acuáticos donde menor producción primaria neta necesitamos para obtener una mayor producción secundaria pues la tasa de renovación es muy alta; es decir para obtener un mayor número de biomasa animal, necesitamos una menor biomasa vegetal. Incluso podemos



encontrarnos pirámides eltonianas invertidas (Challenger et al, 1998). Esto es particularmente interesante pues extrapolándolo a los agroecosistemas nos permite obtener mucha más producción en periodos de tiempo más cortos (Rodríguez, 2005).

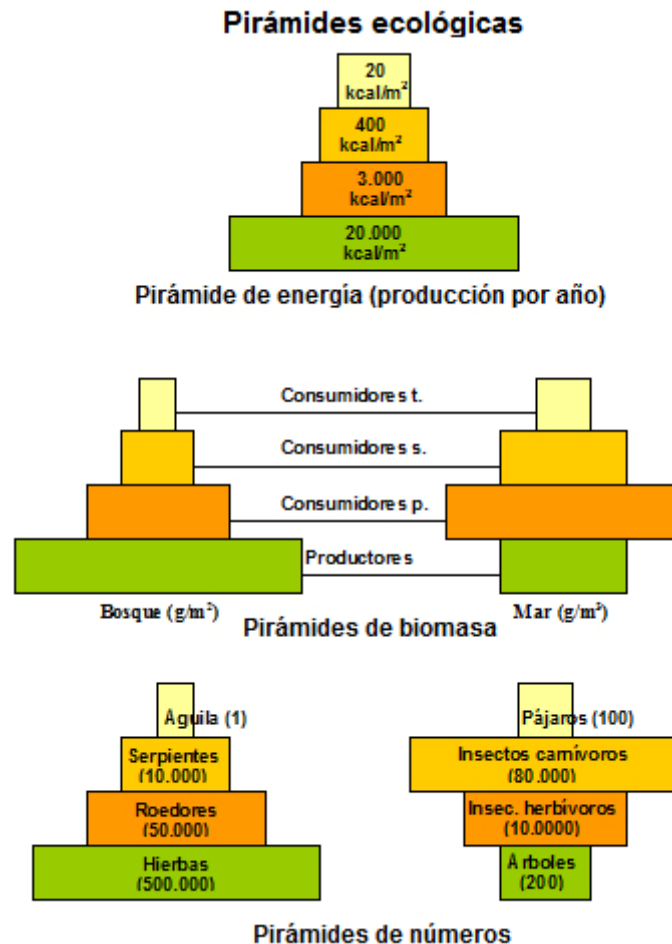


Gráfico 3 (Challenge et al, 1998)

### 1.3 NIVEL DE RESOLUCIÓN, CON EL DESARROLLO DE LA CORRESPONDIENTE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Una práctica que ya lleva tiempo implantada y que es la esencia misma de la producción integrada es la AMTI, acuicultura multitrofica integrada, que se basa en que los deshechos o los subproductos de una especie son utilizados como aporte para otra y que establece un filtro biológico entre diferentes especies de una cadena trófica. El siguiente reto es el de combinar estos métodos en los demás sectores de la producción de alimentos para crear así la agricultura multitrofica integrada o la ganadería multitrofica integrada donde

ya se han dado pasos en ese sentido como por ejemplo el uso de la gallinaza como alimento para el ganado vacuno.

En ese sentido la implementación de producciones auxiliares interrelacionadas en una red trófica dentro de los sistemas de producción actuales nos permite obtener una producción global mayor que si los produjésemos por separado (Porcuna, 2011). Por ejemplo en el caso anterior, la paja de los cereales sirve de yacija para las gallinas ponedoras que defecarán sobre ella. Las vacas y las gallinas se alimentarán del grano del cereal y las segundas, también de la gallinaza que se compone de la paja de cereal y de los excrementos de las gallinas muy ricos en nitrógeno. A su vez los purines y el estiércol obtenido de las vacas servirán como fuente de materia orgánica y como fertilizante para el campo de cereales. Obtenemos así en un proceso global carne de vacuno, huevos, y cereales de un alto valor añadido además de reducir los costes por la adopción del subproducto de un nivel trófico como materia y energía para el siguiente.

De manera similar se viene utilizando la denominada copra, que es pulpa seca de coco que sale como subproducto de la producción del aceite de coco y que se emplea como alimento para el ganado de alto valor nutritivo (Pujals, 1978).

Existen numerosos ejemplos a lo largo del mundo de la implantación de redes tróficas más o menos complejas, como la acuaponía en la cría de peces y plantas ornamentales que se da en diversos criaderos de Suramérica y del sudeste asiático. Donde los peces elevan el nivel de los nitratos y los nitritos presentes en el agua con sus deposiciones; este agua es conducida por un sistema de terrazas donde se hallan las plantas que recogen y utilizan los compuestos nitrogenados para su actividad metabólica actuando a su vez como filtro biológico, lo que permite reintegrar el agua limpia hacia el tanque de los peces.

Otro ejemplo lo hallamos en la cría de langostinos en China y en Japón (*Penaeus japonicus* o *Penaeus monodon*) en grandes balsas artificiales, donde se busca la dinámica y la función natural de amortiguamiento para combatir los desequilibrios biológicos, físicos y químicos mediante la adición y cría de fitoplancton (Kanawaza et al, 1985). Éste además posteriormente servirá de alimento a la *artemia franciscana*, un pequeño crustáceo de agua salada que se siembra mediante esparcimiento de sus quistes y que será el alimento de los langostinos, permitiendo además a los productores el ahorro de piensos y harinas de pescado. Este sistema supone ya el 10% de la producción total de esta especie (FAO).



Ilustración 1: Balsas de cultivo de *Penaeus japonicus* (U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration)

También en España podemos encontrar ejemplos como en la ría de Vigo donde se da la introducción de bateas con especies filtradoras, como los mejillones y las zamburiñas, en granjas de engorde de corvina, lo que favorece la asimilación de residuos orgánicos y mejora la calidad de las aguas.

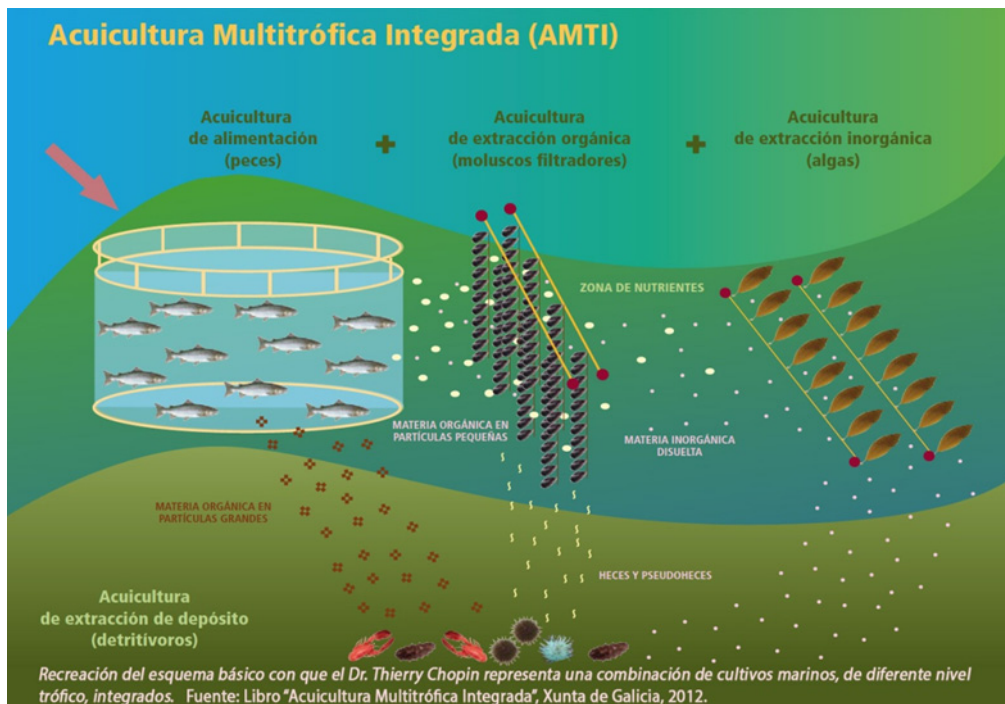


Gráfico 4: AMTI en la ría de Vigo (Chapín, 2012)

Aunque bien podemos observar que existen ejemplos de este tipo de producción son sin duda solamente una pequeña parte de la producción mundial, algo completamente irrisorio y anecdótico comparado con la totalidad de explotaciones que no lo contemplan (Macias et al, 2008).

No obstante si hay algo que estas explotaciones, aun con su reducido número nos muestran, es que realmente las productividades aumentan, el impacto medioambiental es menor y los costos bajan al ser necesarios menos insumos (Porcuna, 2011).

También es posible aprovechar subproductos de los consumidores de la cadena detrítica como el metano que producen las bacterias presentes en la maduración y el compostaje del estiércol, que nos puede servir para obtener energía para maquinaria e iluminación gracias al biogás. En definitiva, se trata de ser consciente de como los diferentes elementos interrelacionados de una red trófica, tienen una determinada eficiencia de producción. De ir buscando dentro de esas producciones ya existentes la posibilidad de la obtención de un nuevo beneficio económico para el productor, de un mayor valor añadido para el consumidor y una mejor gestión medioambiental, tanto de los residuos que podemos ocasionar con la actividad, como de los recursos que nos ofrece la naturaleza. El resultado es obtener un mayor provecho social a partir de menos recursos aprovechando el máximo de materia y energía en cada alimento que producimos gracias a las sinergias que nos ofrece una red trófica.

Sin embargo no solo debemos limitarnos a la utilización de las relaciones existentes en los agroecosistemas tradicionales, sino que la verdadera revolución puede estar en la introducción de nuevos eslabones en esas cadenas que multipliquen la sinergia y por tanto la productividad y el rendimiento económico. Y no solo eso, también debemos ser capaces de diseñar desde el principio un agroecosistema a nuestra medida donde prácticamente la totalidad de los subproductos sean reutilizados y donde la sinergia entre las diversas especies y los diferentes niveles de la red trófica sea máxima, sin olvidarnos de los consumidores de la cadena detrítica que también pueden suponer una parte importante del beneficio.

Se trata por tanto, de aprovechar no solo los detritos de una especie para beneficio de otra y así disminuir la necesidad de los aportes de energía auxiliar dependiente del petróleo; además creamos nuevas sinergias que multiplican el rendimiento de cada especie implicada en el proceso. Así no solamente reducimos la necesidad de insumos, sino que además obtenemos mayor número de elementos con valor comercial.

Esto también tiene importantes implicaciones económicas de carácter positivo para el agricultor o el ganadero ya que aumenta las fuentes de ingresos, con lo que el beneficio es mayor y al haber más diversificación en las entradas el riesgo es menor.

Otro aspecto importante, es el hecho de que se alivia la contaminación orgánica gracias al reciclado de nutrientes, lo que además de ser necesario para que las producciones sean estables a medio y largo plazo, también nos repercutirá en el valor intrínseco de los productos que ofertemos ya que agrega un valor añadido debido a la exigencia actual de los consumidores.

En definitiva, aunque quizá pueda parecer algo pretencioso, bien podemos augurar que el futuro de toda la civilización humana estará inexorablemente unido a la implantación de esta filosofía y al establecimiento de estos procesos productivos en la producción de los alimentos que nos deben proveer de sustento.

La producción integrada, busca por tanto una mayor eficiencia de todas las labores que realiza el ganadero y el agricultor, consiguiendo una agronomía más avanzada, convirtiéndose así una explotación moderna en una empresa que gestiona de forma adecuada todos sus recursos. Esta concepción de la agricultura integrada tiene su máxima expresión en el innovador concepto de agricultura de precisión (García y Flego, 2008).

#### 1.4 OBJETIVOS A CONSEGUIR CON EL ESTUDIO QUE SE DESARROLLA

Este trabajo pretende analizar la situación general de la producción en una parcela de arroz de las marismas del bajo Guadalquivir. Para tratar de incrementar su generación de biomasa útil ante la situación agroalimentaria actual y las tendencias en innovación, presentes y futuras, que podrían permitir al sector adecuarse a la creciente demanda de alimento, debida al aumento de la población mundial. Así como a la exigencia por parte de los consumidores de una mayor seguridad alimentaria a la par de un mayor respeto al medio ambiente.

En definitiva, el objetivo se basa en tratar de implementar un método que permita aumentar la producción por unidad de superficie en una finca de arroz.

## 2. METODOLOGÍA EMPLEADA

### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN INICIAL, LOCALIZACIÓN

La parcela está situada en la población de Isla Mayor, en el sur de la provincia de Sevilla, población fundada por emigrantes valencianos en la década de los 40, la actividad principal es el cultivo del arroz por inundación del que cuenta con un total de 39913.49 ha cultivadas (Navarro et al, 1996), siendo por tanto la zona de cultivo de arroz más extensa de la península.

La parcela, de coordenadas UTM 37,122232; -6,200102, está enclavada en los alrededores del parque nacional de Doñana. Esta particularidad hace que estén muy limitados los abonos y fitosanitarios con los que operar durante el cultivo del arroz, por lo que resulta especialmente pertinente la implantación de un sistema que aumente la biodiversidad para potenciar la lucha biológica y que aumente la fertilidad del suelo de manera poco costosa y comprometida con el medio.

La finca consta de una tabla de arroz de 13.59 Ha (concretamente 135887 m<sup>2</sup>), regada por el canal de poniente, brazo del canal principal de Isla mínima, que toma su caudal del río Guadalquivir. Además se compone de una nave que hace las veces de almacén agrícola y de una plataforma de hormigón armado de 969,78 m<sup>2</sup>, que antaño hacía las veces de secadero de arroz y hoy en día se halla inutilizada. Esta configuración es similar en las parcelas de la zona, así que la propuesta sería extensible a cualquiera de ellas.

Siguiendo las recomendaciones y reglas de la producción multitrófica integrada, el productor se verá claramente recompensado, con producciones de mayor calidad, menores costes, etc. Por lo que no es de extrañar que este sistema se esté comenzando a implementar alrededor del mundo.

Ahora solo falta ir un paso más allá y pensar que en cada explotación que exista y en cada nueva explotación que proyectemos podemos llegar a buscar nuevas sinergias y nuevos eslabones en la red trófica.

Por ejemplo, antes hemos mencionado plantaciones de arroz donde se cultivan también cangrejos, pues podríamos introducir también *Daphnia spp*, que por depredación reducirían la incidencia de algas como *Oedogonium spp*, *Spirogyra spp* y *Cladophora spp* que compiten por la luz y oxígeno, produciendo clorosis y marchitez de las plántulas de arroz. También podríamos incluir rotíferos que junto a *daphnia spp*, y las llamadas “artemias de agua dulce” serían el alimento para el cangrejo *Procambarus clarkii*. Estas “artemias” del género *Dendrocephalus*, grandes productoras de biomasa que gracias al corto ciclo

reproductivo de las microalgas quizá incluso invertirían la pirámide eltoniana y que nos podrían servir como alimento de una piscifactoría cercana o simplemente como abono orgánico. Además puesto que en determinados estadios pueden producir huevos que resisten los periodos secos prácticamente no sería necesario repoblarlo cada año.



*Ilustración 2: Dendrocephalus brasiliensis (Fotografía de Sebastien Stephan)*

No obstante, no basta con limitarse a introducir ciertos cambios en el agroecosistema, confiando en que de resultas a estas pequeñas variaciones la productividad dará un vuelco y la ganancia del agricultor será duplicada al instante. Cada explotación requiere de un pormenorizado análisis técnico y de la realización de un proyecto concreto basado en la investigación y en sus posibilidades reales. Es decir, se trata de descubrir la potencialidad real de cada superficie y de dilucidar como rentabilizar su capacidad en todos los ámbitos interrelacionados, valor productivo, valor social, valor económico, valor ecológico etc.

Por tanto, este trabajo pretende ser una propuesta real de implantación de producciones anexas a un monocultivo preexistente, en una parcela real. Continuando con las reflexiones anteriores, se impone la creación de un sistema productivo que permita la implementación de nuevos productos de alto valor nutritivo y económico y que cree las sinergias necesarias para que se abaraten los costes y se incremente la biomasa total producida por el sistema.



### 3. RESULTADOS

#### 3.1 BREVE DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En la propia tabla se podrá cultivar arroz (*Oryza sativa*), cangrejo (*Procambarus clarkii*), Castaña de agua (*Trapa natans*), balsas flotantes de lechuga (*Lactuca sativa*) y camarón gigante (*Macrobrachium spp*).

Mediante la recirculación del agua de la tabla se alimenta unos fotobiorreactores que se construirán en la plataforma secadero, de manera que nos permita cultivar las siguientes microalgas; *Arthrospira spp*, *Chlorella spp*, *Porphyridium spp*, *Rhodella spp*, *Scenodermus spp* y también al protista *Euglena Spp*.

Dichas algas servirán de alimento principal para la cría de zooplancton como el rotífero *Brachionus plicatilis* o los cladóceros *Daphnia magna* o *moina ssp* mediante biorreactores conectados al sistema de fotobiorreactores.

Por último otro biorreactor alojará anostráceos como *Dendrocephalus ssp*, *thamnocephalus ssp* y *chirocephalus ssp*.

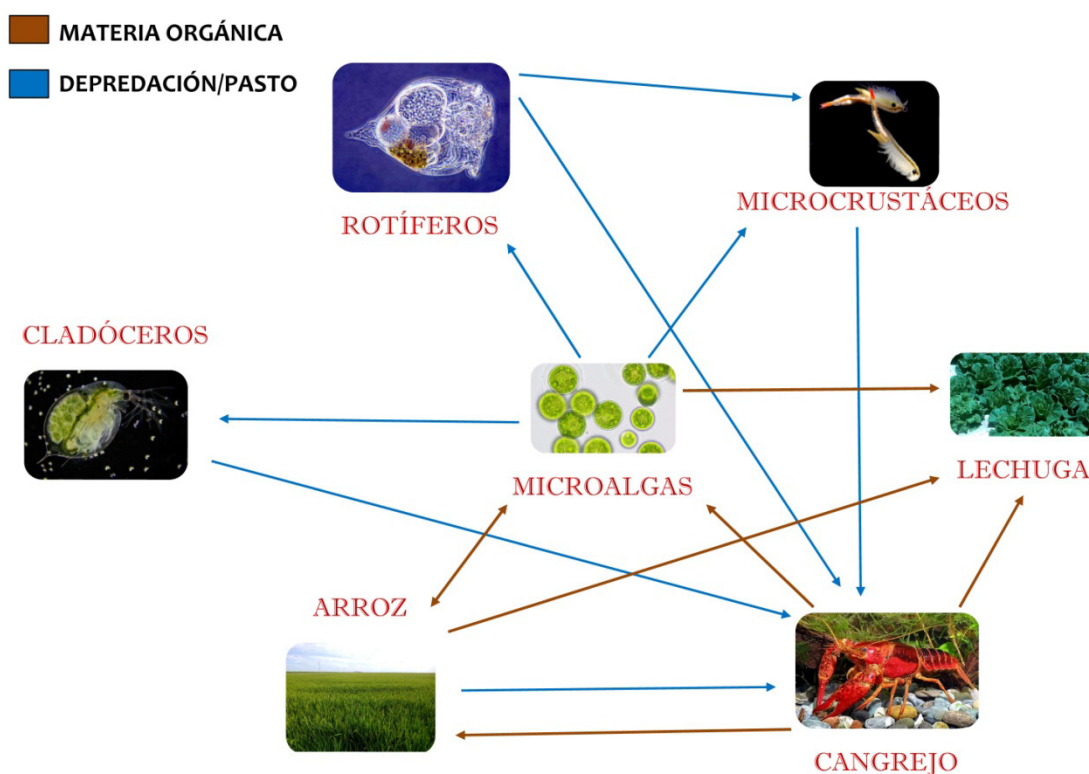


Gráfico5: Red trófica que contempla las especies del sistema



## 3.2 DETERMINACIÓN DE LAS ESPECIES IMPLEMENTADAS EN EL SISTEMA

### 3.2.1 ARROZ, *Oryza sativa*

Se trata del principal cultivo de la parcela y el actual sustento económico de la explotación. Como ya se ha descrito su productividad en la zona es muy alta y se antoja difícil el poder aumentarla, al menos de manera sustancial.

No obstante, si es posible disminuir el uso de insumos, para así aumentar el beneficio económico que se obtiene, para ello es necesario restringir en lo posible el uso de fitosanitarios como herbicidas y plaguicidas para lo que es muy recomendable aumentar la biodiversidad del agroecosistema y respetar y potenciar los enemigos naturales.

Un primer paso en este sentido sería recuperar el porcentaje de materia orgánica que había en los suelos agrícolas antes de la utilización masiva de fertilizantes inorgánicos que se obtienen a partir de procesos relacionados con el uso del petróleo. Ligado con eso, para reducir al mínimo los aportes de abonado se impone ante todo la necesidad de aumentar el porcentaje de materia orgánica (M.O) en el suelo.

#### 3.2.1.1 LA CUESTIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA: CUANDO INNOVAR PASA POR RECUPERAR VIEJAS PRÁCTICAS

Si desciende el porcentaje de M.O, a la larga el suelo tendrá problemas de estructura pues la cantidad de complejo arcillo húmico irá decreciendo causando la disminución del número de poros, disminuirá la infiltración, la retención de agua y la aireación; también habrá problemas de erosión y de compactación. Las capacidades quelatantes y la capacidad de intercambio catiónico del suelo se verán comprometidas con lo que disminuirá la fertilidad. Por otra parte la actividad microbiana será menor por la falta de la materia orgánica y de la aireación con lo que la estructura se verá aún más afectada y se romperá el equilibrio biológico del agrosistema, lo que aumentará la probabilidad de aparición de plagas y enfermedades. Esta situación hará disminuir la productividad y aumentará la dependencia de insumos como fertilizantes e insecticidas que además de un aumento de los costes causaran problemas añadidos, los primeros mayor apelmazamiento (actúan como cementantes) y aumento de la salinidad del suelo y los segundos empeorarán más el desequilibrio biológico del suelo, pues no solo acaban con las plagas sino que también sus depredadores naturales.

Resulta perentorio por tanto incrementar o al menos mantener el porcentaje de materia orgánica en el suelo para que el óptimo rendimiento perdure en el tiempo. Para ello las medidas a tomar pueden ser no retirar la paja y

complementar con estiércol o algún otro tipo de abono orgánico (el porcentaje entre estos dependerá de su precio de mercado).

La cuestión es qué tipo de materia orgánica aportamos pues los problemas mencionados se hacen patentes sobre todo si las contribuciones son en forma de materia orgánica fresca sin procesar como restos vegetales. Este no es el caso pues la materia orgánica aportada puede pasar por un proceso de compostaje donde madura convenientemente sufriendo procesos de humificación. Además puesto que la tierra se labra, la oxigenación y por tanto la mineralización de la materia orgánica también es mayor.

Grandes aliados en este sentido serán los cangrejos *Precambarus clarkii* o los camarones *Macrobrachium ssp*, grandes generadores de M.O con sus desechos o los rotíferos y cladóceros de los que obtendríamos un abono de alto valor.

Otra medida puede ser eliminar el barbecho y continuar con la producción de otros productos que es lo que aquí se pretende, pues la mineralización es la misma, no hay producción y además la erosión es mayor.

También podemos hacer un abonado en verde, o introducir en el ciclo cultivos de leguminosas que además ayudarán a fijar el nitrógeno.

Otros ejemplos de estas prácticas pueden ser el laboreo mínimo o la siembra directa, la preservación de la fauna y flora presente en las veras de la parcela o la utilización de especies y variedades adaptadas al medio que requerirán menos cuidados y con ello disminuye plagas y enfermedades ya que la diversidad es mayor pues aumenta el número de especies presentes y el equilibrio demográfico entre ellas, la conservación de los alimentos aquí producidos mediante tratamientos térmicos frente a la utilización de productos químicos y en definitiva cualquier medida encaminada a mantener el agrosistema.

### 3.2.2 EL CANGREJO ROJO AMERICANO, *Procambarus clarkii*.

Llamado así porque procede del sudeste americano, paradójicamente fue introducido en la zona en 1973 por el ICONA, desde donde unido a las sueltas de Badajoz y el levante, se extendió por la península causando estragos en las poblaciones locales de cangrejo. Sin embargo actualmente se trata de una especie muy importante para la economía de la zona ya que sustenta una importante industria pesquera y de transformación alimenticia que exporta toneladas de este crustáceo (Gherardi y Barbaresi, 2000)

La problemática actual de esta actividad se deriva de las escasas tallas que se obtienen ya que no hay ningún tipo de control ni normativa que regule su

extracción y que respete los periodos de cría, esta escasez de tallas en muchos ejemplares hace que gran parte de las partidas sean inviables para la demanda de los países importadores y que en cualquier caso aumente los gastos de las empresas transformadoras en cuanto a tallaje y destrío. También se detectan incompatibilidades con los periodos de desecado de las parcelas para el laboreo y otras labores para la preparación de las tierras para el cultivo del arroz, así como el uso de ciertos fitosanitarios que debilitan o matan el cangrejo.

En esta coyuntura la productividad de la actividad se resume en alrededor de 300 Kg/ha. La actuación a seguir respecto a esta especie pasaría por variar los periodos de preparación de la tierra para que coincidieran con el reposo invernal de la especie, abstenerse de quemar o retirar el rastrojo y la paja de arroz que puede ser la principal fuente de alimento del cangrejo, sembrar adecuadamente con reproductores durante el final de la primavera y el inicio del verano, un adecuado monitoreo de la población que se centre también en la vigilancia de plagas y enfermedades y por último un aporte extra de alimentación de base animal que permitirá aumentar la masa de cada individuo en ratios superiores a los alimentados sólo con materia vegetal (Oliveira y Fabián, 1998). Para ello se utilizarán las especies de cladóceros que forman la parte principal de la dieta de los cangrejos en su entorno natural. (Gutiérrez-Yurrita et al 1998).

Actuando de esta manera se puede pasar de una producción casi testimonial en cuanto a tamaño medio de los individuos y una productividad total de 300 Kg/ha·año (4077 Kg en toda la tabla), hasta la consecución de ejemplares de calibre adecuado a las exigencias del mercado con productividades totales del orden de 1300 Kg/ha·año.

“225 Kg /ha·año en grandes estanques con pocos insumos, hasta más de 1 300 Kg/ha·año con administración intensiva. Los rendimientos de algunos estanques han excedido los 2 800 Kg/ha·año”. (FAO)

### 3.2.3 CAMARÓN GIGANTE, *Macrobrachium spp*

Bien es sabido que *Procambarus clarkii* se trata de una especie invasora y como tal, han surgido leyes que prohibían su pesca y comercialización, lo que ha puesto en grave peligro a la actividad económica derivada de su explotación. De momento por presiones del sector, la Junta de Andalucía permite que la actividad continúe, pero se hace perentoria la búsqueda de una alternativa a la cría del cangrejo americano.

Un firme candidato a ello es el Camarón gigante, especies como *Macrobrachium rosenbergii* o *Macrobrachium carcinus* alcanzan un tamaño de hasta 25 cm con un total de 200g de peso. Las hembras de buen tamaño llegan a producir entre

70000 y 80000 larvas viables con un ciclo de puestas cada 42 días en condiciones controladas (Graciani et al, 1993). Esta alta prolificidad unido a elevada tasa de engorde permite que se alcancen productividades del orden de 2338 Kg/ha·año en explotaciones semi-intensivas (Schwantes et al 2009).

Para ello sería necesario la instalación de pequeños acuarios de cría para las hembras reproductoras y tanques para que las larvas alcancen a los 45 días el tamaño suficiente como para ser liberados en la tabla con una densidad de siembra de 20/m<sup>2</sup> (Ponce-Palafox et al, 2002).

En cuanto a los requerimientos dietéticos en la fase de engorde son similares a los descritos para *Procambarus clarkii* y al igual que este su tasa de engorde es muy superior con un aporte complementario de proteína animal. Siendo de nuevo muy adecuados para ello los cladóceros producidos en los biorreactores.

#### 3.2.4 LECHUGA, *Lactuca sativa*

Tradicionalmente, desde finales de septiembre cuando se realiza la cosecha de arroz hasta mayo que se re-inunda y se siembra, la tabla permanece en descanso improductivo salvo por las tareas de nivelación, laboreo y mantenimiento de almorrones y piqueras.

En los últimos años, se ha implantado la práctica de dejar las tablas en inundación a pesar de que no se esté cultivando para eliminar la formación de flora adventicia y con ello disminuir el uso de herbicidas. Además los agricultores reciben una subvención por ello ya que también es muy beneficioso para las aves migratorias que hacen alto en el entorno del parque nacional de Doñana.

Esto nos permitirá implementar nuevos cultivos a lo largo de esos 7 meses. El principal cultivo a valorar por su elevado precio, facilidad de venta y estandarización de la producción es el de la lechuga.

Está bien verificada la aptitud de esta especie para la hidroponía y aun no siendo el principal modo de producción sino un pequeño porcentaje del mismo, a lo largo de todo el mundo se han establecido explotaciones pioneras con muy buenos resultados.

De entre todos los métodos de hidroponía existentes, el cultivo en balsa o bandejas flotantes es que mejor se adaptaría a la extensión de una tabla de arroz inundada. Tradicionalmente se ha venido haciendo en mesas con canales agua recirculante, dónde se colocaban las bandejas y se aportaba al agua la solución nutritiva correspondiente.

Este sistema puede ser fácilmente adaptado a las condiciones de la finca. En esencia para su plantación, se recurrirá a balsas flotantes de poliestileno expandido de 30 mm de grosor con 2 x 3 m y se recurrirá a una densidad de siembra por bandeja de 13.3 plantas/m<sup>2</sup>, es decir 72 plantas por bandeja. Para la plantación se usará lechuga en taco piramidal de sustrato, que cualquier viverista comercializa en bandejas de alveolos.

Para que las bandejas flotantes no se desplacen por la tabla con el viento y la corriente, se recurrirá a la siguiente solución técnica:

Las bandejas flotantes llevarán en los laterales, unas argollas con rosca de madera o de pladur para que aguanten en el material, por las que se enhebrará un cordel que será atado a unos postes colocados firmemente en el terreno, antes y después de cada 2 bandejas. De modo que los que estén entre medio serán compartidos por las 2 bandejas de un lado y las otras 2 del otro lado.

Otro problema existente a la hora de adaptar el sistema a la tabla es que al estar las lechugas al aire libre muchas de las innumerables especies de aves presentes en el entorno se alimentarían de ellas causando su desaparición en cuestión de horas. La solución a esta problemática pasa por utilizar mantas térmicas, que además de mejorar las condiciones para la planta ya que crean un microclima más cálido y uniforme, sin grandes oscilaciones térmicas; aumentan la productividad y la calidad del producto a la vez que impiden el acceso a las aves.

Con la disposición mencionada y dejando un margen de 2m en los lindes donde la circulación de agua no es óptima, se pueden colocar un total de 14036 bandejas, lo que supone la cantidad de 1010592 lechugas por ciclo. Suponiendo un peso medio de 268g, (Rios mesa et al, 2002), se obtiene una cantidad total de biomasa de 270839 Kg. Lo que supone la nada desdeñable cantidad de 19929 Kg/ha por ciclo.

Estos cálculos se basan en la consecución de un solo ciclo de cultivo de lechuga, sin embargo desde que se re-inunda la parcela hasta que se deseca para preparar la tierra para la siembra de arroz trascurren alrededor de 7 meses en los cuales se podría conseguir entre 3 y 4 ciclos.

Nº plant	Plantación	Recolección	Ciclo (días)
1B	19-sep	30-oct	41
2B	31-oct	30-ene	91
3B	30-ene	1-abr	62
4B	3-abr	14-may	41
5B	14-may	18-jun	35
6B	19-jun	22-jul	33
7B	22-jul	22-ago	31
8B	22-ago	23-sep	32

Tabla1: Resultados Finca Experimental que el ITGA s.a. tiene en Sartaguda, Navarra (sabada, 2010)

Por tanto con 3 ciclos se obtendría un rendimiento de 812517 Kg en el total de la parcela, es decir 59788 Kg/ha.

En cuanto a los requerimientos de nutrientes disueltos por parte de la planta, frente al tradicional cultivo en mesas de canales dónde es relativamente sencillo controlar los parámetros; nos hallamos ante la problemática de dilucidar si será necesario un aporte extra de abonado líquido. Caso de ser necesario parece recomendable utilizar abono foliar suministrado por avionetas. (Este método se practica en esta región en la actualidad en el cultivo de arroz).

No obstante, las lechugas de este sistema productivo, se beneficiarán también de los aportes suplementarios de materia orgánica mencionados en el resto de procesos productivos enlazados. Además puesto que el suelo se encuentra a unos 20cm por debajo de la superficie de la lámina de agua tendrán oportunidad de fijarse parcialmente al mismo para extraer parte de los nutrientes necesarios para su desarrollo.

### 3.2.5 CASTAÑA DE AGUA, *Trapa natans*

Puesto que el sistema mencionado para *Lactuca sativa*, puede resultar bastante caro, técnicamente complicado de implementar y requiere de mucha mano de obra, se puede optar por alternativas más sencillas como la utilización de plantas flotantes para generar biomasa.

Hay antecedentes en el sudeste asiático de utilización de plantas acuáticas como *Azolla ssp*, combinadas con las plantaciones de arroz debido a su capacidad para capturar nitrógeno con lo que disminuye la necesidad de usar abonos minerales.

También se han hecho numerosos estudios sobre la utilización de plantas acuáticas como fitorremediadores en tratamientos de aguas contaminadas o como indicadores en ensayos de contaminación, (Poveda, y Abigail, 2014). Otros ejemplos como su uso para extraer etanol, (Mishima et al 2008) o metano (Olguín y Hernández, 1998).

No obstante uno de los usos más empleados en este tipo de plantas es el de su cultivo para obtener un producto de alimentación animal de calidad, ya que poseen un alto contenido proteico y materia mineral, Ly (1993).

Buenas candidatas para este propósito podrían ser la lenteja de agua, *Lemna ssp*; el Jacinto de agua, *Eichhornia crassipes*; Pistia, *Pistia stratiotes*; el Azol, *azolla spp*; Salvinia, *Salvinia molesta*, o la espinaca acuática *Ipomoea aquatica*

La capacidad productiva de estas especies está demostrada gracias a su increíble capacidad para cubrir grandes superficies de agua debido a su alta prolificidad (Arrollave, 2004) empero son especies prohibidas en España al considerarse especies invasoras. No es el caso de la planta flotante *Trapa Natans* o castaña de agua.

Esta planta presente de manera natural en Eurasia y africa, ha sido cultivada en Asia por sus frutos, oscuros, almidonados y con forma de cuernos. Por tanto, no solo es útil como complemento a la alimentación animal sino que en muchos países como en China, es muy valorada como alimento. Es posible por tanto separar el fruto para uso humano, mientras que el resto de la planta puede ser destinada para la industria ganadera.



*Ilustración 3: Fruto de Trapa natans en un mercado local en la India. (Fotografía de Sanjeet tv)*

La productividad de esta planta en su ambiente natural ronda los 300g/m<sup>2</sup> de materia seca, (Tsuchiya, Nohara e Iwaki, 1987), es decir 3000 Kg/ha. Esta cantidad, ya de por sí nada desdeñable puede ser ampliamente superada gracias a los aportes orgánicos de los cangrejos y los rotíferos y cladóceros de los biorreactores, también es preciso señalar, que aunque no lo necesiten debido a su elevada rusticidad, si se aplicase un extra de abonado, es muy probable que lo agradecerían; por tanto sería adecuado realizar un estudio al respecto.

Partiendo únicamente del dato de su producción en ambientes naturales podemos calcular una producción de biomasa para la parcela del orden de 40770 Kg considerando un único ciclo de cultivo al año en los meses que no hay arroz. Pendiente queda sin embargo estudiar si es más conveniente realizar cosechados parciales durante el citado periodo para clarear y así renovar el ímpetu reproductivo de esta especie.

Es también perentorio el uso de algún tipo de malla o barrera que impida que las plantas fluyan a través de las piqueras.

### 3.2.6 MICROALGAS

La producción intensiva de microalgas en fotobiorreactores frente a los sistemas abiertos como los raceways, ha dejado de ser una tecnología de futuro para convertirse en una práctica habitual en el presente.

En cuanto a las aplicaciones de las mismas son muy variadas como su utilización como fuente de energía, principalmente para la obtención de combustibles fósiles como bioetanol, biohidrógeno, biometano y sobre todo biodiesel. También su desecación y pelletización puede derivar en otros usos similares como combustible para calderas, o para centrales termoeléctricas.



La utilización de microalgas como fuente de energía es actualmente la principal actividad comercial gracias al alto contenido en lípidos de algunas especies como *Chlorella pyrenoidosa* (Rodolfi et al, 2009), en segundo lugar encontramos su uso para el tratamiento de aguas residuales gracias a la enorme capacidad de captación de nitratos, fosfatos y DQO, (Chacón et al 2004). Por tanto además del valor intrínseco que las algas pudieran tener también hay que valorar el impacto ecológico positivo en cuanto a depuración de aguas, captación de CO<sub>2</sub> y cuando sea el caso el ahorro en la generación de energías fósiles o la no utilización de superficie y cultivos de alimentación humana para la generación de biodiesel (González, 2013).

Otra de las aplicaciones más usadas en las microalgas es su uso como alimentación animal gracias a su buena digestibilidad y a su alto contenido en lípidos proteínas, vitaminas y microelementos esenciales (Quevedo et al 2009).

Partiendo de estas características y de su capacidad de ser pelletizada se considera un buen suplemento tanto para monogástricos como para rumiantes (Miñon, 2017). Además de servir de alimento para grandes animales también puede ser empleada para la cría de peces como *A.salmo* en piscifactorías (Gomez Pinchetti 2011), lo que puede ser realmente beneficioso para esta explotación ya que hay una piscifactoría a pocos km. Son enormemente útiles para cualquier proceso de acuicultura ya que sirven como alimento para larvas, alevines, zoeas y por supuesto para los rotíferos y cladóceros y microcrustáceos y crustáceos que se plantea producir en este trabajo, (Ortega-Salas, Reyes-Bustamante 2012).

Otra aplicación de la materia seca obtenida a partir de microalgas es la de servir como enmienda orgánica para mejorar la estructura y las propiedades químicas del suelo en los campos de cultivo, con lo que se produciría un gran ahorro en fertilización del suelo y se evitaría, o al menos se reduciría el uso innecesario de abonos minerales, (Ortega-Salas, Reyes-Bustamante 2012).

Son también la fuente principal de complejos multivitamínicos, productos cosméticos, colorantes alimentarios, encapsulados con formulados antioxidantes y todo tipo de complementos alimenticios. Productos por tanto de un alto valor que comienzan a estar muy bien posicionados en el mercado.

Las especies de microalgas a utilizar serían, al menos en un primer momento, especies de probada eficacia en el rendimiento de su cultivo, de las cuales se pudiera adquirir inóculos comerciales sin mucha dificultad. Las candidatas más firmes se encuentran entre:

- *arthrospira spp*, conocida por su derivado, la spirulina, comercializada como complemento alimenticio.

- *Chlorella spp*, la más citada para la producción de combustibles fósiles, utilizada también en alimentación animal y depuración de aguas (Rodolfi et al 2009; Quevedo et al 2009).
- *Porphyridium spp*, empleada en la producción de combustibles fósiles y valorada por su aptitud para la alimentación animal (Wu, y Merchuk 2004).
- *Kirchneriella obesa*, *Scenedesmus quadricauda* y *Chlorococcum infusorium* utilizadas para alimentación animal (Ortega-Salas, y Reyes-Bustamante, 2012).
- *Scenedesmus spp*, producida por su gran contenido lipídico para la producción de biofuel.
- *Euglena spp*, que en realidad es un protista autótrofo fotosintético facultativo, es producido para alimentación animal, se usa también como biorremediador de aguas contaminadas y en la fabricación de biofuel y productos cosméticos (Yamada et al, 2016).
- *Rhodella spp*, muy empleada para la síntesis de colorantes alimentarios como carotenoides, fabricación de cosméticos y como fuente de valores alimenticios como Omega-3 y astaxantina, un potente antioxidante (Ivanova, y Kabaivanova, 2014).

### 3.2.6.1 DISEÑO DEL FOTOBIORREACTOR

Para la producción de microalgas se ha diseñado un fotobiorreactor de diseño cerrado con tubos de vidrio de 65 mm de diámetro en horizontal formando un sinfín unido por tubos de cristal en U del mismo diámetro. En un extremo del fotobiorreactor se anexa un tubo de vidrio de 300 mm de diámetro en vertical que cumplirá las funciones de marmita para el inóculo inicial ya que el flujo en un principio solo circulará por este y por un tubo de PVC paralelo al mismo. Una vez alcanzada la densidad de cultivo óptima que será similar a la del inóculo inicial, mediante el accionamiento de unas electroválvulas el flujo será incorporado al resto del sistema.

Para incluir el inóculo inicial, se dispone de un tubo de entrada por el que se podrán introducir también las sales y preparados necesarios para optimizar los parámetros del medio de cultivo, como las bacterias *Azospirillum spp*, coadyuvantes en el proceso de producción de microalgas (De-Bashan, y Bashan 2003). A poca distancia del mismo, una estrechez en el tubo permite que la mezcla se realice correctamente.

Para el llenado y vaciado del fotobiorreactor, así como para la recirculación interior de agua se empleará una bomba de membrana ya que las paletas de un rotor podrían dañar las células en suspensión. La bomba será de potencia

regulable para poder adaptar la velocidad del flujo a las tareas de llenado, vaciado y a las 2 fases de la recirculación antes descritas.

La velocidad del flujo se situará un poco por debajo del flujo turbulento, a una velocidad entre 30 y 50 cm/s que es la suficiente para que las microalgas no se decanten y no es demasiada ya que por encima de estos valores las células podrían sufrir daños por los choques o no poder captar correctamente los nutrientes necesarios para su duplicación (contreras, 2003).

Como fuente de agua se usará una de las piqueras de desagüe de la tabla de arroz, de manera que los suplementos de abonado que se apliquen a los cultivos de la tabla beneficiando también el aumento de la biomasa algal. En caso de necesidad se podría tomar del canal de desagüe ya que el diseño permite la bidireccionalidad en los tubos colectores de desagüe.

Tras el fin del ciclo de cultivo la suspensión celular es conducida a una centrifugadora dónde se separarán las células del agua. De resultas al proceso de cultivo, el agua sale del sistema purificada, libre de nitratos y fosfatos con lo que se genera un valor extrínseco, que aunque no repercuta en el precio del producto, si crea un bien social.

Parte del flujo de salida puede ser derivado a los biorreactores para el cultivo de rotíferos cladóceros y microcrustaceos.

Se dispone un diseño con 14 fotobiorreactores de módulo largo con una capacidad de volumen fotosintéticamente activo de 5776 L y 6 de módulo corto con una capacidad de volumen fotosintéticamente activo de 5358 L (ver anexo planos), sin embargo cada módulo es independiente por lo que se puede cultivar simultáneamente hasta 20 especies diferentes según los requerimientos comerciales. Además se estima conveniente que cada lote de producto esté escalonado en los diferentes fotobiorreactores para así vaciar llenar y centrifugar cada fitorreactor en momentos diferentes.

### 3.2.6.2 PRODUCTIVIDADES

Existe gran variabilidad en los datos de estudios referentes a productividades ya que los estudios suelen plantearse en fotobiorreactores a escala para ensayos de laboratorio, con diferentes diseños cada vez, empleando diferentes especies de microalgas, con incidencia de luz artificial o luz solar, con diferentes densidades de inóculo primario y con ciclos de cultivo y cosecha diferentes, por lotes con producción continua etc. Por tanto se presenta harto complicado dilucidar una productividad determinada para el diseño propuesto en base a la bibliografía existente ya que las grandes empresas de producción de microalgas

no facilitan estos datos. No obstante intentemos arrojar un poco de luz sobre este asunto.

Torcillo et al, en su estudio de 1998 recogen datos de 69 ensayos con diferentes especies de microalgas de los que resultan diferentes productividades que arrojan una media de 17.83 g de materia seca/m<sup>2</sup> · día. En un estudio específico algo más reciente se da el dato de 17.83 g de materia seca/m<sup>2</sup> · día (Arbib et al, 2013). No obstante aunque estos datos se basen en sistemas cerrados, siguen la costumbre de los estudios sobre productividades en sistemas abiertos tipo estanques o raceway de cuantificar la producción sobre medida de superficie, tal vez para demostrar en los inicios de los sistemas cerrados su mayor eficiencia ante la preponderancia de los sistemas abiertos.

Otros estudios basados en sistemas cerrados tubulares similares a los propuestos ofrecen datos de productividad por volumen de agua fotoactiva, por ejemplo para un fotobiorreactor tubular helicoidal con siembra de *Spirulina* (denominados biocoil) se presenta el dato de 0.40 g/L (Travieso et al, 2001).

Ese mismo año en un estudio similar, Pulz cifra la productividad en un ratio de 2 a 8 g/l. Sin embargo llama la atención por lo elevado de las cifras (Pulz, 2001).

El estudio cuyos datos más se pueden parecer a la realidad del diseño propuesto es el realizado en el instituto alemán del IGV para sistema cerrado de tubos horizontales con luz natural que recoge Oscar Durán Pozo en su tesina de 2012 sobre el uso de fotobiorreactores para la depuración de aguas residuales y que ofrecen unos datos entre 0.8 g/L y 1.3 g/L (Durán-Pozo, 2012).

Por tanto con el dato medio de 1.05 g/L, obtenemos una producción de 6064.8 g de materia seca/día en cada fotobiorreactor de módulo largo y una de 5625.9 g de materia seca/día en cada fotobiorreactor de módulo corto. Lo que supone una producción diaria total de 118662.6 g.

En definitiva, la producción anual de biomasa de microalgas para este sistema es de 43312 Kg.

Otro cultivo similar del que se podría estudiar su implantación es el de las suspensiones celulares de macroalgas, que sirven de inóculo para el cultivo de macroalgas como el alga filamentosa *Cladophora ssp*, conocida en regiones de Sudamérica como Yasca donde es consumida por la población local.

El cultivo de estas macroalgas en fotobiorreactores, empero tiene la problemática de que al ser un alga con largos filamentos podría obturar el sistema, de modo que sería perentorio implementar al sistema algún tipo de cortadora o triturador, pero eso queda para posterior estudio.

### 3.2.7 ROTÍFEROS

La especie más mencionada a la hora de pensar en producción de rotíferos es sin duda *Brachionus plicatilis*. Son en extremo valorados para la alimentación de crustáceos y peces, sobretodo en sus primeras etapas debido al pequeño tamaño de este (0.16  $\mu\text{g}$ ) (Ramirez-Sevilla, 1991), lo que lo convierte en el alimento principal de ciertas zoeas y alevines de pequeño tamaño ya que al ser de origen animal posee un alto contenido proteico, lo que se deriva en una alta tasa de transformación en los que lo ingieren. Es por tanto más recomendable que otras alternativas como las levaduras para los primeros estadíos de muchas especies cultivadas en la acuicultura (Diez, 1991).

Para cultivar a *Brachionus plicatilis*, se propone un biorreactor de palas con doble camisa y oxigenación por burbujeo de 20000 litros, que se procederá a llenar con agua del canal de desagüe y parte proveniente de los fotobiorreactores aledaños (tal como se indica en el anexo planos) ya que estos se alimentan de partículas orgánicas y de microalgas. De hecho es más indicado su cría con microalgas respecto a alimentarlos con levaduras ya que de este modo su valor nutritivo posterior y su tasa de multiplicación son mayores (Kitajima et al 1980).

En cuanto a la productividad obtenida con el cultivo de *Brachionus plicatilis*, se puede calcular a partir de la concentración que se alcanza de los mismos 300 individuos/ml-día (Teilacker, y Mc Master, 1971) y a partir del peso ya mencionado de 0.16  $\mu\text{g}$ . En definitiva la estimación supone una producción en el biorreactor de 960g/día lo que se infiere en 345,6 Kg al año. Puede parecer poca cantidad pero servirá para alimentar a una gran cantidad de larvas y zoeas ya que estas necesitan tan solo de una concentración de 5 a 10 individuos/ml para su correcta alimentación (Diez, 1991).



Ilustración 4 : *Brachionus plicatilis* (fotografía de Wim van Egmond)

### 3.2.8 CLADÓCEROS

Al igual que los rotíferos se consideran un alimento excelente para la larvicultura, debido a su alto valor energético, su elevada prolificidad con una frecuencia reproductiva entre 2 a 4 días con una fecundidad de 4.16 neonatos/hembra (Prieto, 2001) y su facilidad de cría. Las hembras se pueden reproducir partenogénicamente en ambientes con buenas condiciones o generar huevos de resistencia en condiciones de estrés.

La principal diferencia con los rotíferos a la hora de ser servido como alimento es que tienen un tamaño superior a estos, y dentro de la familia cada género tiene también diferentes tamaños, por ejemplo entre 0.6 y 1.8 mm en el caso de *Moina spp* (Vignati et al, 2013), entre 0.7 y 0.8 mm en el caso de *Alona spp* (Otero-Paternina et al, 2005).

La posibilidad de poder criar alimento vivo de calidad de un variado rango de tamaños hace que podamos suministrar el alimento adecuado para cada larva, alevín o zoea independientemente de su estadio.

Para su producción se propone la misma solución que para los rotíferos, un biorreactor de palas con doble camisa y oxigenación por burbujeo de 20000 litros, en este caso se requiere un aporte de microalgas de una concentración de 300000 Células/ml (Prieto, 2001).

En cuanto a la productividad de su cultivo es de 100g/m<sup>3</sup>·día (Torretera, 1987), lo que supone 2Kg/día en el biorreactor, es decir una biomasa anual de 730 Kg.



Ilustración 5: *Daphnia longispina* (Fotografía de Wim van Egmond)

### 3.2.9 MICROCRUSTACEOS

Junto con el cultivo de microalgas, estos son el alimento más cultivado y desarrollado en larvicultura y acuicultura. Mención especial requiere el orden Anostraca al que pertenecen las Artemias como *A.franciscana* o *A.persimilis* (Machalay et al, 2016). Concretamente la primera es sin duda el alimento vivo más conocido y utilizado en todo el mundo para la cría de todo tipo de especies acuáticas, tanto marinas como dulceacuícolas.

La cría de artemia requiere de altas concentraciones salinas para que se puedan desarrollar los diferentes estados larvarios hasta llegar a obtener adultos reproductores; por lo que las extensas balsas de cultivo, se hallan en zonas del sudeste asiático que se han salinizado y que no admiten otro tipo de cultivos y en los grandes lagos salados de Norteamérica. Éstas se suministran en cistos a los diferentes acuicultores.

Empero la implantación de un sistema multitrófico como el que se propone, no puede contar con una fase con alta salinidad ya que arruinaría el resto de cultivos; por tanto se hace necesaria una alternativa con anostráceos de agua dulce.

En ese sentido podemos encontrar cuantiosos estudios y experiencias con las común o comercialmente llamadas “artemias de agua dulce”, “branchonetas” o “fairy shrimp”, que no dejan de ser denominaciones comunes para todas las

especies de las diferentes familias de anostráceos dulceacuícolas como Thamnocephalidae o Chirocephalidae.

De entre todo ese maremágnum taxonómico destaca *Dendrocephalus spp* que ha sido el género más estudiado como posible competidor comercial de la artemia salina ya que además de ser dulceacuícola parece que tiene tasas de supervivencia mayores que *Artemia franciscana* en los cultivos con microalgas (Brito et al, 2011). Otra ventaja es que no requiere de una elevada salinidad para la eclosión de los cistos (García et al, 2000)

Para la producción intensiva de anostráceos, hay experiencias con el uso de polvillo de arroz, que como subproducto de la industria del arroz de la zona resulta tentador usar; sin embargo esas experiencias han demostrado que pese a ser un método totalmente viable, la tasa de supervivencia de los nauplios es menor, al igual que el tamaño alcanzado por unidad de tiempo respecto a los cultivos a base de microalgas. No obstante los resultados con alimentación mixta todavía no han sido descartados (Lara et al, 2016).

Para su cría se recomienda “densidades poblacionales de 100 a 200 y de 4 a 10 individuos/L en organismo de 1-6 y de 6-32 días de edad, respectivamente” (Brito et al 2011). Por su parte, la densidad de las microalgas suministradas debe estar en el orden de 10000 células/ml. (Brito, 2010)

En cuanto a su productividad gracias a su alta tasa de ingestión 2.761.574 cél/ind/h (Brito, 2010) se puede llegar a obtener una cantidad de biomasa notable. Esta cantidad dependerá del sistema productivo que elijamos ya que si lo cultivamos en los biorreactores como con los rotíferos y los cladóceros se puede obtener “7 y 5 kg de peso húmedo de biomasa/m<sup>3</sup> al cabo de 2 semanas de cultivo” (Sorgeloos et al, 1986). Dato para artemia salina, que podemos tomar ya que como hemos comentado anteriormente, los estudios han demostrado que tiene tasas de supervivencia mayores que *Artemia franciscana* en los cultivos con microalgas.

Es decir, si tomamos la media, 6 kg cada 2 semanas/m<sup>3</sup>, produciríamos 3129 Kg al año.

Sí que existen experiencias previas específicas con su cultivo en balsas, que generan una cantidad de 4700 Kg/ha · año (Lopes, 2007). Lo que supondría una cantidad de Kg/año siendo sembradas en la tabla.

En otro orden de cosas, es necesario destacar que no existe mención en la legislación de especies invasoras de especies de *Dendrocephalus spp* oriundas de Sudamérica que son con las que se han realizado los estudios reflejados en la bibliografía existente. No obstante existen especies endémicas similares en



nuestro suelo que a priori podrían cumplir con el mismo cometido dada su proximidad taxonómica como es el caso de *Branchipus schaefferi* (Verdiell-Cubedo, 2014), *Branchipus cortesi* y *Streptocephalus torvicornis* (Perez-Bote et al, 2006). Por ejemplo, *Branchipus cortesi* tiene 17 mm de media (Alonso y Jaume, 2013), un tamaño muy similar al de *Dendrocephalus brasiliensis* del mencionado estudio de Lopes. Estas especies no están recogidas tampoco en ningún tipo de lista de conservación pese a que alguna de ella se halle prácticamente aislada y en reducido número (Perez-Bote et al, 2006). Así que además del beneficio económico derivado de su cultivo estaríamos incurriendo en un beneficio al medio, lo cual pese a no estar cuantificado tiene un importante valor social.

### 3.3 RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS TOTALES

El rendimiento productivo total variará ligeramente si utilizamos unas especies u otras en el sistema. No parece aconsejable sembrar simultáneamente cangrejos con camarones ya que estos tienen el mismo nicho ecológico y se generaría una competencia no deseada. De igual manera, por razones de espacio, el cultivo de lechugas en balsas flotantes es incompatible con el de *Trapa natans*.

	PRODUCTIVIDAD MEDIA (Kg/ha)	PRODUCTIVIDAD MEDIA EN EL TOTAL DE LA EXPLOTACIÓN (Kg)
ARROZ	9500	129105
CANGREJOS	1300	17667
CAMARONES	2338	31773
LECHUGA	19929	270839
CASTAÑA DE AGUA	3000	40770
MICROALGAS	-	43312
CLADÓCEROS	-	730
ROTÍFEROS	-	346
MICROCRUSTACEOS EN BIORREACTOR	-	3129
MICROCRUSTACEOS EN LA TABLA	4700	63873

Tabla2: Rendimientos de los posibles cultivos en la explotación

De resultas a estas incompatibilidades y suponiendo que siempre se siembra arroz y que siempre se cultivan rotíferos, microalgas, cladóceros y microcrustaceos. Hay 4 opciones de sistema diferentes:

- Máximo: con lechuga y camarón. Requiere mayor inversión ya que supone eliminar o desplazar el cangrejo en favor del camarón e implementar las lechugas.
- Sencillo: Con *Trappa natans* y cangrejo
- *Trappa natans* y camarón.
- Lechuga con cangrejo.

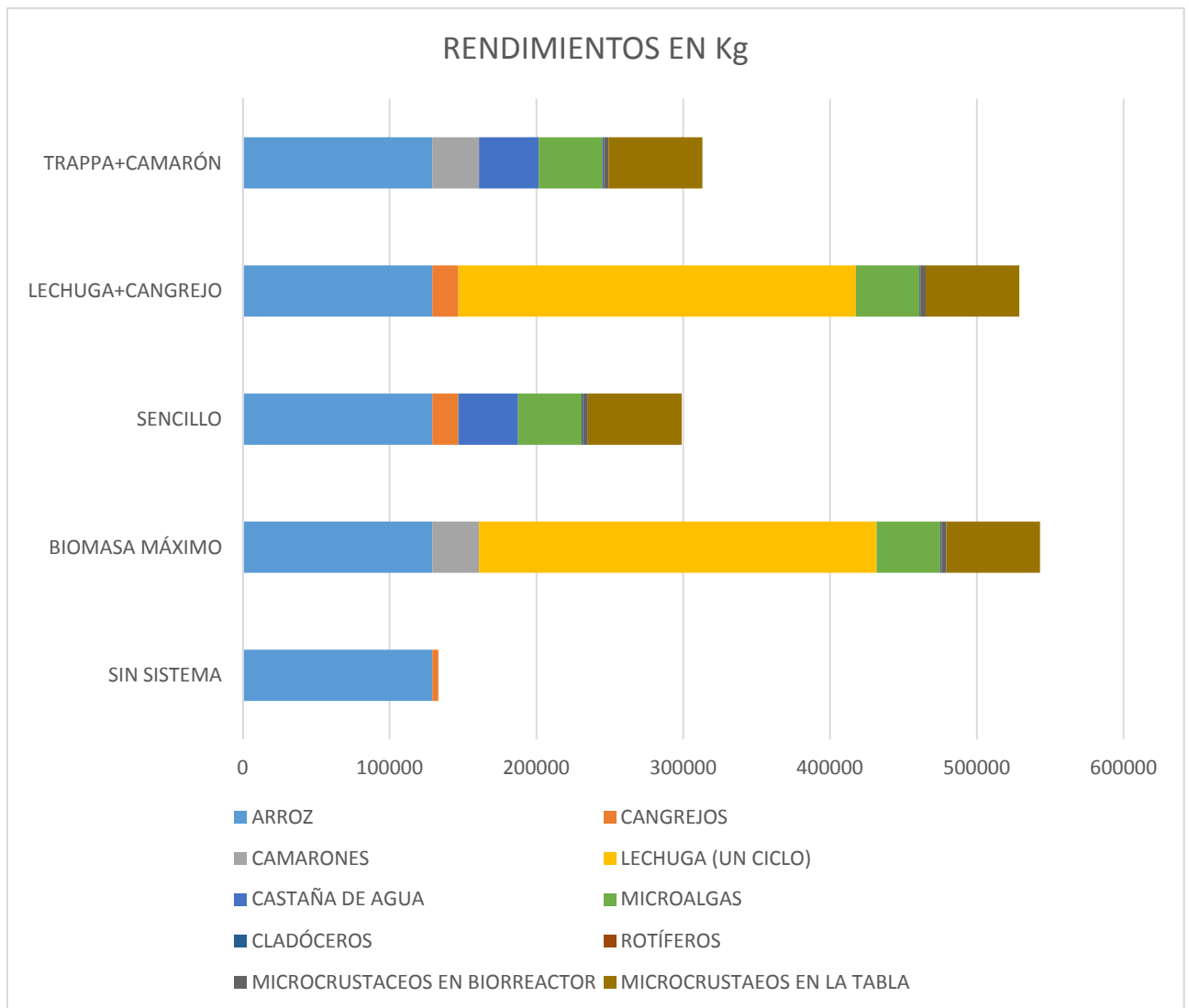


Gráfico 5: Productividad total en la parcela según el sistema de cultivo.

### 3.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Resulta complicado realizar una relación directa entre producción y precio de mercado en estos productos ya que muchos de ellos están en implantación, además existirían grandes divergencias en los precios según para el fin que se comercializasen. En cualquier caso parece adecuado reflexionar sobre la situación del sector agroalimentario en España y en Europa para dilucidar como otorgar su sitio a estos productos.

En España este sistema viene de la mano de las distintas CA que tienen sendas legislaciones para regular que los productores puedan acceder a tener el distintivo de producción integrada en sus productos. Tiene especial importancia en el sector de frutas y hortalizas y en el olivar. Y sin embargo poca implantación en ganadería y producción de cereales.

También las grandes cadenas de distribución ofertan este tipo de productos con denominaciones especiales propias como Selectia del grupo Eroski o BIO de Carrefour.

Sin embargo estar dentro de la denominación de producción integrada no beneficia siempre al productor, ya que en situaciones adversas está limitado por estas reglas y además se ve obligado a una mayor profesionalización y especialización.

Este es uno de los principales errores en la implementación actual de la producción integrada. Se ha pretendido resumir una filosofía de trabajo, unos preceptos metodológicos, todo un complejo sistema productivo y en definitiva una determinada concepción de la agronomía, en unas pocas leyes y restricciones que no mejoran la productividad y que apenas supone un aumento en el precio percibido por el agricultor.

Además el consumidor no tiene herramientas para diferenciar un producto que se supone cualitativamente superior pero que en cada comunidad autónoma tiene un sello diferente y difícilmente identificable.

Es vital que cualquier nueva tendencia vaya encaminada a adaptarse a las exigencias del mercado. Es muy importante en este sector concienciarnos de que el consumidor debe poder percibir claramente en el producto el valor añadido que le otorga una innovación frente a otros productos similares. No podemos pretender aplicar un precio más elevado, sólo por el mero hecho de haber desarrollado una innovación sin que el consumidor aprecie realmente que el producto tiene un valor superior.

Esto se hace especialmente necesario en Europa donde a pesar de tener altas productividades agroalimentarias, los costos de producción son más elevados que en otros países productores. A pesar de ello, en el sector gran parte de la producción sigue encaminada como producto indiferenciado o a granel. Esto sigue siendo posible gracias a la política proteccionista de Europa con subvenciones y pagos directos a los agricultores y con protección de fronteras con cuotas, aranceles, o normas técnicas restrictivas ante la importación de alimentos extracomunitarios.

No obstante, ni podemos ni debemos seguir basando una gran parte de la producción del sector agroalimentario en producto indiferenciado ya que somos incapaces de competir en el mercado global con una estrategia de precio.

En ese sentido no solo está cambiando la política europea que ya comienza a premiar estrategias de diferenciación con herramientas como el pago verde o ayudas para la innovación; sino que también los productores se están dando cuenta de la importancia de que la estrategia de diferenciación recorra toda la cadena de producción y no solo la última fase de transformación de un producto agroalimentario.

Por ejemplo, tan importante debería ser que una empresa de comida precocinada cree un nuevo envase atractivo y que guarde las propiedades organolépticas para una paella, como que el consumidor tuviese conciencia de que el arroz que la conforma ha sido producido en su propio país, que tiene un óptimo índice glucémico, que ha respetado el medio ambiente y en definitiva que en todas las fases de su cultivo se han cuidado especialmente unos parámetros de calidad que deberían aumentar su percepción del valor del producto final.

En definitiva, el gran reto del sector agroalimentario europeo está en dotar a los agentes de toda la cadena productiva de las herramientas necesarias para poder percibir como precio lo que han de saber transmitir al cliente final como valor.

En ese sentido, cabe destacar la iniciativa del nuevo etiquetado del jamón ibérico con un código de colores fácilmente identificable por el consumidor gracias al esfuerzo conjunto de productores y organismos de las diferentes IGP presentes en todo el territorio.

En ese sentido los productos obtenidos en la explotación deberían ser comercializados en orden al valor añadido que poseen. Gracias a las sinergias creadas por el sistema, son verdaderos productos de producción integrada respetuosos con el medio, además esas sinergias hacen que disminuyan mucho los costos de la explotación con lo que la ganancia neta es superior aunque se comercializasen como producto indiferenciado. Esa particularidad de los

productos cultivados en la explotación facilita la tarea de acercarse a sectores del mercado más exigentes, que reconocen la calidad y que están dispuestos a pagar un sobreprecio por la diferenciación. En ese sentido cobra especial relevancia el canal de distribución, siendo preferible por tanto ofrecerlo a establecimientos gourmet en el caso de los comestibles. De hecho, hoy en día con los medios técnicos disponibles sería posible, aventurarse a crear una marca comercial propia e incluso intentar llegar directamente al consumidor final.

Por ejemplo, las lechugas pueden venderse como simples lechugas a 30 céntimos la unidad en origen (media anual según boletín agrario, 2017) a un mayorista. O por el contrario como lechuga viva, con sello de producción integrada, con su propia raíz y un poco de agua para que llegue con la máxima frescura al consumidor final, de una marca propia, bien posicionada e identificada con la calidad y el respeto al medio ambiente por 1.50 Euros. Con una cantidad de 1010592 lechugas por ciclo supone una diferencia de 1212710 euros brutos por ciclo.

Por otro lado, los cangrejos *Procambarus clarkii* deben ser recolectados cuando alcanzan el tamaño suficiente para tener buen valor comercial, los camarones *Macrobrachium spp*, pueden ser vendidos en Europa sin las pinzas con la denominación comercial de gambones o langostinos (García-Guerrero et al 2013).

Los rotíferos, cladóceros, microalgas y microcrustáceos, pueden ser utilizados como abono o para alimentación animal, pero también pueden ser comercializados como alimento especializado para la acuariofilia congelados o liofilizados con lo que alcanzarían gran valor. Sin embargo el valor máximo que podrían alcanzar es como producto gourmet para alimentación humana al igual que ya se comercializa a tal efecto el plancton cultivado en Cadiz, que es empleado por chefs de renombre y que se cotiza a 3000 euros el kilo. La dificultad en este sentido radica en la compleja legislación europea en cuanto a nuevos alimentos que resulta muy restrictiva.

En el caso particular de los microcrustáceos además de comercializar adultos, una salida muy interesante para valorar es la de comercializar cistos ya que estos tienen un valor en el mercado actual de entre 20 y 100 dólares por kg.

Particularmente en el caso de las microalgas también resulta muy ventajosa su comercialización como productos cosméticos y como suplementos alimenticios pildorados, con el valor añadido de que son aptos para vegetarianos y veganos.

#### 4. CONCLUSIONES

En base a la bibliografía consultada, se puede afirmar que es posible triplicar la producción de biomasa por unidad de superficie de una explotación de arroz, mediante la implantación de un sistema con diferentes especies compatibles. Las sinergias creadas entre estas especies, otorgan al sistema una reducción del gasto en insumos, mayor productividad, mejor cuidado medioambiental y productos de alto valor añadido.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, M. (2010). Producción integrada del arroz en el sur de España. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.
- Alonso, M., & Jaume, D. (1991). *Branchipus cortesi* n. sp.: a new anostracan from western Spain (Crustacea, Branchiopoda). *Hydrobiologia*, 212(1), 221-230.
- Arredondo-Figueroa, J. L., Domínguez, D. P. L., & Grande, C. D. (1997). Los sistemas integrales de acuicultura; un punto de vista sobre el aprovechamiento multiespecífico y multitrófico. *Sistemas integrales de acuicultura para el desarrollo sustentable*. Universidad Autónoma Metropolitana. México, 1-14.
- Arroyave, M. D. P. (2004). La lenteja de agua (*lemna minor* L.): una planta acuática promisoría. *Revista EIA*, (1), 33-38.
- Asaduzzaman, M., Wahab, M. A., Verdegem, M. C. J., Mondal, M. N., & Azim, M. E. (2009). Effects of stocking density of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* and addition of different levels of tilapia *Oreochromis niloticus* on production in C/N controlled periphyton based system. *Aquaculture*, 286(1), 72-79.
- Azcarete, T. (1991). LA REVOLUCIÓN VERDE?
- Badii, M., Landeros, J., & Cerda, E. (2015). Manejo Sustentable de Plagas o Manejo Integral de Plagas: Un apoyo al desarrollo sustentable. *CULCyT*, (23).

- Benavente-Valdés, J. R., Montañez, J. C., Aguilar, C., Méndez-Zavala, A., & Valdivia, B. (2012). Tecnología de cultivo de microalgas en fotobiorreactores. *Revista científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 7(4), 1-12.
- Brito, D. (2010). Evaluación de las tasas de filtración e ingestión de *Dendrocephalus Spartaenovae* (Crustacea: Anostraca: Thamnocephalidae) con *Pseudokirchneriella Subcapita* Y *Chlorella Vulgaris* en condiciones de laboratorio. *Interciencia*, 35(2), 126-130.
- Brito, D., Brito, R., & Pereira, G. (2011). Supervivencia de *Dendrocephalus spartaenovae* (Crustacea: Anostraca: Thamnocephalidae) alimentado con un cultivo mixto de microalgas. *population*, 29(1).
- Chacón, C., Andrade, C., Cárdenas, C., Araujo, I., & Morales, E. (2004). Uso de *Chlorella* sp. y *Scenedesmus* sp. en la remoción de nitrógeno, fósforo y DQO de aguas residuales urbanas de Maracaibo, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 38(2).
- Challenger, A., Caballero, J., Zarate, S., & Elizondo, R. (1998). Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. Comisión Nacional para el Concimientoy Uso de la Biodiversidad.
- Contreras-Flores, C. (2003). Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas. *Interciencia*, 28(8), 450-459.
- De-Bashan, L. E., & Bashan, Y. (2003). Bionota: Bacterias promotoras de crecimiento de microalgas: una nueva aproximación en el tratamiento de aguas residuales. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 5(2), 85-90.
- De-Rada, S. S. D., del Castillo García, J. A., Astiz, M., Anacabe, A. U., & Aguado, G. (2010). Cultivo hidropónico de lechuga. *Horticultura global*, (289), 32-40.

- Diez, A. P. (1991). Crecimiento y alimentación durante el desarrollo larvario de la dorada, *Sparus aurata* L., en cultivo (Doctoral dissertation, Universidad de Cádiz).
- Domínguez Martín, R. (2001). Las transformaciones del sector ganadero en España:(1940-1985)
- Durán Pozo, Ó. (2012). Producció de biomassa algal en un fotobioreactor per a la depuració d'aigües residuals.
- Evans, L. V., CALLOW, M. E., PERCIVAL, E., & Fareed, V. (1974). Studies on the synthesis and composition of extracellular mucilage in the unicellular red alga *Rhodella*. *Journal of cell science*, 16(1), 1-21.
- FAO Fisheries and Aquaculture Department .Programa de información de especies acuáticas. *Macrobrachium rosenbergii*.  
[http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Macrobrachium\\_rosenbergii/es](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Macrobrachium_rosenbergii/es)
- FAO Fisheries and Aquaculture Department .Programa de información de especies acuáticas. *Penaeus Monodon*.  
[http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Penaeus\\_monodon/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Penaeus_monodon/en)
- FAO Fisheries and Aquaculture Department .Programa de información de especies acuáticas. *Procambarus clarkii*.  
[http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Procambarus\\_clarkii/es](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Procambarus_clarkii/es)
- Figueroa, F. L., Korbee, N., Coba, F. D. L., Gil Jerez, C., Bonomi Barufi, J., Güenaga Unzetabarrenechea, L., & Sousa-Pinto, I. (2011). Valorización de la biomasa de macroalgas en acuicultura multitrófica integrada (AMTI): aplicaciones en cosmética y nutraceútica (fotoprotectores y antioxidantes).
- García, E., & Flego, F. (2008). Agricultura de precisión. *Revista Ciencia y Tecnología*. Recuperado de [http://www.palermo.edu/ingenieria/Ciencia\\_y\\_tecnologia/ciencia\\_y\\_tecno\\_8.html](http://www.palermo.edu/ingenieria/Ciencia_y_tecnologia/ciencia_y_tecno_8.html).



- García-Guerrero, M. U., Becerril-Morales, F., Vega-Villasante, F., & Espinosa-Chaurand, L. D. (2013). Los langostinos del género *Macrobrachium* con importancia económica y pesquera en América Latina: conocimiento actual, rol ecológico y conservación. *Latin american journal of aquatic research*, 41(4), 651-675.
- García, J. V., Marcano, S., & Pereira, G. (2000). Eclosión de quistes en dos especies de *Dendrocephalus* (Anostraca: Thamnocephalidae) de uso potencial como alimento en acuicultura. *Rev. Biol. Trop*, 1, 145-149.
- García Olmedo, F. (1999). La tercera revolución verde.
- Gherardi, F., & Barbaresi, S. (2000). Invasive crayfish: activity patterns of *Procambarus clarkii* in the rice fields of the Lower Guadalquivir (Spain). *Archiv für Hydrobiologie*, 150(1), 153-168.
- Gherardi, F., & Holdich, D. M. (Eds.). (1999). *Crayfish in Europe as alien species*. CRC Press.
- Gómez-Pinchetti, J. L. (2011). El cultivo de Macro-y Microalgas para el desarrollo de nuevas aplicaciones ecológicas y energéticas.
- Graziani, C. A., Chung, K. S., & De Donato, M. (1993). Comportamiento reproductivo y fertilidad de *Macrobrachium carcinus* (Decapoda: Palaemonidae) en Venezuela. *Rev. Biol. Trop*, 41(3), 657-665.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J., Sancho, G., Bravo, M. A., Baltanas, A., & Montes, C. (1998). Diet of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in natural ecosystems of the Donana National Park temporary fresh-water marsh (Spain). *Journal of Crustacean Biology*, 120-127.
- Huys, R. (2003). An Updated Classification of the Recent Crustacea. *Journal of Crustacean Biology*, 23(2), 495-497.

- Ivanova, J., & Kabaivanova, L. (2014). Variation in light-temperature conditions affects pigments and extracellular polysaccharide production by *Rhodella reticulata*. *Ecol. Eng. Environ. Protect*, 3-4.
- Kanazawa, A., Teshima, S. I., & Sakamoto, M. (1985). Effects of dietary lipids, fatty acids, and phospholipids on growth and survival of prawn (*Penaeus japonicus*) larvae. *Aquaculture*, 50(1-2), 39-49.
- Kitajima, C., Arakawa, T., Oowa, F., Fujita, S., Imada, O., Watanabe, T., & Yone, Y. (1980). Dietary value for Red Sea bream larvae of rotifer *Brachionus plicatilis* cultured with a new type of yeast. *Bulletin of the Japanese society of scientific fisheries*, 46(1), 43-46.
- Lara, J. L. C., Mirabá, M., Guartatanga, S., Sampedro, C., & Farinango, C. (2016). Uso del polvillo de arroz como alternativa de alimento inerte para el desarrollo larvario de *Artemia* sp. en acuicultura. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 29(1).
- López González, D. (2013). Valorización de Biomasa de origen vegetal mediante procesos térmicos y termoquímicos.
- López González, P. (2016). Diseño de un fotofermentador para la producción de algas de interés biotecnológico (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Ly, J. (1993). Macrófitas acuáticas flotantes en sistemas integrados de producción animal. Instituto de Investigaciones Porcinas. La Habana-Cuba.
- Machaly, A. S., Cervellini, P. M., & Bambill, G. A. (2016). Experiencias preliminares con *Artemia persimilis* (Crustacea, Anostraca) como potencial alimento vivo en acuicultura. *Revista AquaTIC*, (21).
- Macías, J. C., Aguado, F., González, N., Guerrero, S., Estévez, A., Valencia, J. M., & Cremades, J. (2008). Acuicultura Integrada: desarrollo de experiencias de cultivos multitroóficos en la costa española. *Foro Ac. Rec. Mar. Rías Gal*, 10, 483-490.

- Medina, E., Barboza, F., & SANCHEZ, M. F. Y. J. (2006). Biomasa y composición mineral de comunidades de *Lemna obscura* (Austin) Daubs en el Lago de Maracaibo. *Ciencia*, 14, 32-41.
- Miñón Martínez, J. (2017). Desarrollo y análisis técnico-económico de la gestión de nutrientes residuales en la producción de biomasa de algas para fines agrícolas y ganaderos.
- Mishima, D., Kuniki, M., Sei, K., Soda, S., Ike, M., & Fujita, M. (2008). Ethanol production from candidate energy crops: water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Bioresource Technology*, 99(7), 2495-2500.
- Mukhopadhyay, P. K., Rangacharyulu, P. V., Mitra, G., & Jana, B. B. (2003). Applied nutrition in freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, culture. *Journal of Applied Aquaculture*, 13(3-4), 317-340.
- Navarro, L., Díaz, J., & Rodríguez, M. J. (1996). Cultivo del arroz en Andalucía. Estructuras productivas. VV. AA. Cultivo de arroz en el clima mediterráneo. Sevilla, Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.
- OLGUÍN, E., & HERNÁNDEZ, E. (1998). Use of aquatic plants for recovery of nutrients and heavy metals from wastewater. Institute of Ecology, Environmental Biotechnology. Vancouver.
- Oliveira, J., & Fabião, A. (1998). Growth responses of juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* Girard, to several diets under controlled conditions. *Aquaculture research*, 29(2), 123-129.
- Ortega-Salas, A., & Reyes-Bustamante, H. (2012). Cultivo de las microalgas dulceacuícolas *Kirchneriella obesa*, *Scenedesmus quadricauda* y *Chlorococcum infusorium* empleando tres medios de cultivo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 16(2), 35-44.

- Otero-Paternina, A., Medina-Robles, V. M., Zapata-Berruecos, B. E., Mira, T., & Cruz-Casallas, P. E. (2005). Aspectos reproductivos del cladóceros Alona sp bajo condiciones de laboratorio. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 4.
- Pérez Alarcón, W., & González, G. E. (2012). Diseño de un Fotobioreactor a escala piloto, con base en energía solar, para el cultivo de *Chlorella vulgaris*.
- Pérez-Bote, J. L., Muñoz, A., García, J. M., Rodríguez, S. P., Romero, A. J., Corbacho, P., & Fernández, J. (2006). Distribución, estatus y conservación de los grandes branquiópodos (Crustacea, Branchiopoda) en Extremadura (SO de la Península Ibérica). *Boletín de la Asociación española de Entomología*, 30(1-2), 41-57.
- Ponce-Palafox, J. T., Arana-Magallón, F. C., Cabanillas-Beltrán, H., Esparza-Leal, H., & de Blas, I. (2002, June). Bases biológicas y técnicas para el cultivo de los camarones de agua dulce nativos del Pacífico Americano *Macrobrachium tenellum* (Smith, 1871) y *M. americanum* (Bate, 1968). In I Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura, CIVA 2002 (pp. 534-546).
- Prieto, M. (2001). Aspectos reproductivos del cladóceros *Moinodaphnia* sp. en condiciones de laboratorio. *Revista MVZ Córdoba*, 6(2), 102-110.
- Pujals, N. (1978). La copra fuente de producción de aceites y alimentos para ganado. Copra as a source of production of oil and feed for cattle. *Agro (R. Dominicana)*. v. 7 (57) p. 8, 32.
- Porcuna, J. L. (2007). Producción integrada. Una estrategia de tránsito hacia sistemas más sostenibles. *Revista Ecosistemas*, 16(1).
- Poveda, O., & Abigail, R. (2014). evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola, previamente caracterizadas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

- Pulz, O. (2001). Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. *Applied microbiology and biotechnology*, 57(3), 287-293.
- Quevedo, H. J. M., Quintana, M., Almares, A., & Hernández, L. (1999). Composición bioquímica y evaluación de la calidad proteica de la biomasa autotrófica de la *Chlorella vulgaris*. *Rev. Cub. Alim. Nutr*, 13, 123-128.
- Ramírez-Sevilla, R., Rueda-Jasso, R., Ortiz-Galindo, J. L., & González-Acosta, B. (1991). Metodología para el cultivo experimental del rotífero *Brachionus plicatilis*.
- Ríos Mesa, Domingo j.; Raya, Ramallo, Vanessa; Monge Bailón, Joaquín y Suárez Encinoso, Tomás. 2002. Ensayo de variedades de lechuga. Campaña 2001. Servicio de Agricultura. Cabildo Insular de Tenerife.
- Rodolfi, L., Chini Zittelli, G., Bassi, N., Padovani, G., Biondi, N., Bonini, G., & Tredici, M. R. (2009). Microalgae for oil: Strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. *Biotechnology and bioengineering*, 102(1), 100-112.
- Rodríguez, J. (2005). La estructura de tamaños del plancton: un tópico interdisciplinar y Margalefiano. *Revista Ecosistemas*, 14(1).
- Sarandón, S. J. (2002). La agricultura como actividad transformadora del ambiente. El impacto de la agricultura intensiva de la Revolución Verde. *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable*, 1, 23-47.
- Schwantes, V. S., Diana, J. S., & Yi, Y. (2009). Social, economic, and production characteristics of giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii* culture in Thailand. *Aquaculture*, 287(1), 120-127.

- Sorgeloos, P. L., Leger, P., Tackaert, P., & W Versichele, D. (1986). Manual para el cultivo y uso de artemia en acuicultura. (No. F009. 105). FAO.
- Theilacker, G. H., & McMaster, M. F. (1971). Mass culture of the rotifer *Brachionus plicatilis* and its evaluation as a food for larval anchovies. *Marine biology*, 10(2), 183-188.
- Torrentera Blanco, L., & Blanco, L. T. (1987). La producción de alimento vivo y su importancia en la acuicultura (No. SH 39. T67 1987).
- Travieso, L., Hall, D. O., Rao, K. K., Benitez, F., Sánchez, E., & Borja, R. (2001). A helical tubular photobioreactor producing *Spirulina* in a semicontinuous mode. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 47(3), 151-155.
- TSUCHIYA, T., NOHARA, S., & IWAKI, H. (1987). Annual and seasonal variations in biomass of a floating-leaved plant, *Trapa natans* L., in Takahamairi Bay of Lake Kasumigaura, Japan. *Japanese Journal of Limnology (Rikusuigaku Zasshi)*, 48(Special), 39-44.
- united states Census bureau, (Consultado el 10 junio 2017).
- Verdiell-Cubedo, D., & Boix, D. (2014, January). Primeros datos sobre la distribución de grandes branquiópodos (Crustacea: Branchiopoda) en la Región de Murcia (SE España)/First data on the distribution of large branchiopods (Crustacea: Branchiopoda) in Murcia Region (SE Spain). In *Anales de Biología* (No. 36, p. 65). Servicio de Publicaciones, Universidad de Murcia.
- Whitton, B. A. (1970). Biology of *Cladophora* in freshwaters. *Water Research*, 4(7), 457-476.
- Vignatti, A. M., Cabrera, G. C., & Echaniz, S. A. (2013). Distribution and biological aspects of the introduced species *Moina macrocopa* (Straus, 1820), (Crustacea, Cladocera) in the semi-arid central region of Argentina. *Biota Neotropica*, 13(3), 86-92.

- Viñuela, E. L. I. S. A. (2005). La lucha biológica, pieza clave de la agricultura sostenible. El control biológico de plagas, enfermedades y malas hierbas y la sostenibilidad de la agricultura, 15-30.
- Wu, X., & Merchuk, J. C. (2004). Simulation of algae growth in a bench scale internal loop airlift reactor. *Chemical Engineering Science*, 59(14), 2899-2912.
- Yamada, K., Suzuki, H., Takeuchi, T., Kazama, Y., Mitra, S., Abe, T., & Iwata, O. (2016). Efficient selective breeding of live oil-rich *Euglena gracilis* with fluorescence-activated cell sorting. *Scientific reports*, 6.

## ANEXOS

### ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS .....	49
1. GLOSARIO:.....	49
2. TABLA PRODUCCIÓN DE BIOMASA: .....	50
3. ESQUEMA Y FOTOGRAFÍAS DE UN BIORREACTOR SENCILLO .....	51
4. Castaña de agua .....	52
5. FOTOGRAFÍAS DE LA EXPLOTACIÓN.....	53
6. FOTOBIORREACTORES.....	55
7. PRODUCTOS A BASE DE MICROALGAS (AQUALGAE) .....	56
8. PLANOS A NIVEL ESQUEMÁTICO .....	57
8.1 LOCALIZACIÓN .....	57
8.2 UBICACIÓN Y SUPERFICIES .....	60
8.3 CONDUCCIONES .....	61
8.4 DETALLE DE CONDUCCIONES .....	62
8.5 DETALLES 1 Y 2 .....	62
8.6 PLANCHAS DE POLIESTILENO .....	63
8.7 VISTA LATERAL FOTOBIORREACTOR .....	64
8.8 DETALLE DE VISTAS .....	65
8.9 DISTRIBUCIÓN PLANCHAS POLIESTILENO .....	66

#### 1. GLOSARIO:

- Almorrón: Montículos o caballones que delimitan las tablas de arroz.
- Cistos: Estructuras de resistencia de los anostráceos que permiten a los huevos estar metabólicamente inactivos ante condiciones adversas. También son denominados quistes.
- DQO: Demanda química de oxígeno. Mide el nivel de contaminación de las aguas e indica la cantidad de oxígeno necesario para oxidar las sustancias contaminantes.
- Gallinaza: Estiércol de las gallinas, se recoge con la yacija de paja que se coloca en las jaulas.
- IGP: Siglas de Indicación geográfica protegida.
- Inóculo: Pequeño volumen de líquido con una alta concentración de individuos que sirve para sembrar un cultivo.



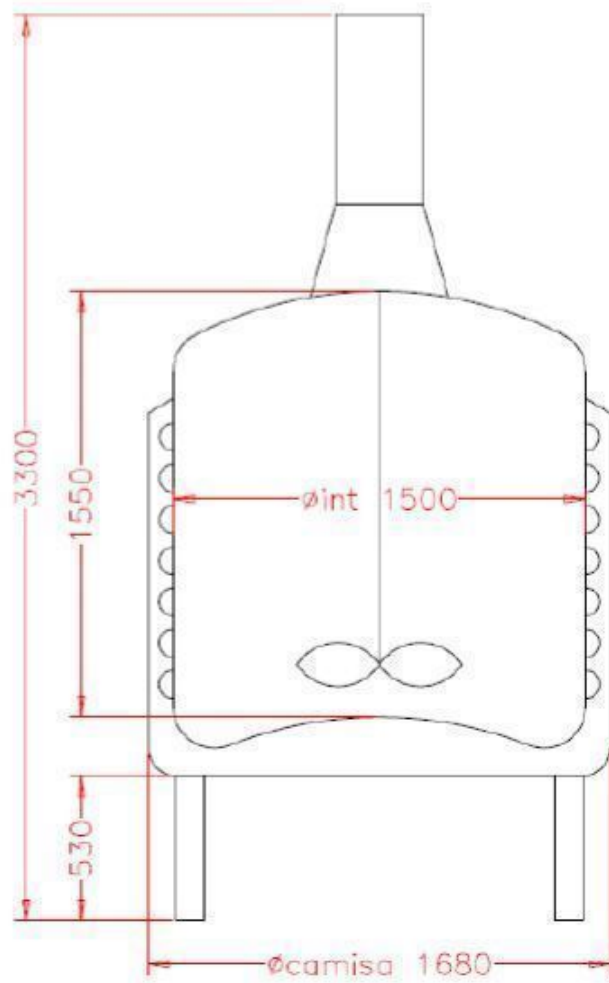
- Nauplio: Primera etapa larvaria de los crustáceos, corresponde a la forma que presentan al emerger del huevo.
- Piquera: En los arrozales se denominan así a las arquetas de entrada y salida de aguas que comunican la tabla con los canales de riego y de desagüe.
- Raceway: Circuito de canales abiertos por el que circula el agua dónde se cultivan las microalgas.
- Tabla: Cada una de las unidades de siembra de una zona arrocera.
- Zoa: Segunda etapa larvaria de los crustáceos.

## 2. TABLA PRODUCCIÓN DE BIOMASA:

	RENDIMIENTO SIN SISTEMA	RENDIMIENTO BIOMASA MÁXIMO	RENDIMIENTO SENCILLO	RENDIMIENTO LECHUGA+CANGREJO	RENDIMIENTO TRAPPA+CAMARÓN
ARROZ	129105	129105	129105	129105	129105
CANGREJOS	4077		17667	17667	
CAMARONES		31773			31773
LECHUGA		270839		270839	
CASTAÑA DE AGUA			40770		40770
MICROALGAS		43312	43312	43312	43312
CLADÓCEROS		730	730	730	730
ROTÍFEROS		346	346	346	346
MICROCRUSTACEOS EN BIORREACTOR		3129	3129	3129	3129
MICROCRUSTACEOS EN LA TABLA		63873	63873	63873	63873
<b>TOTAL</b>	<b>133182</b>	<b>543107</b>	<b>298932</b>	<b>529001</b>	<b>313038</b>

*Producción total de biomasa en la parcela según los sistemas empleados.*

### 3. ESQUEMA Y FOTOGRAFÍAS DE UN BIORREACTOR SENCILLO



#### 4. CASTAÑA DE AGUA



Interior almidonado de la castaña de agua, fruto de *Trappa natans*

## 5. FOTOGRAFÍAS DE LA EXPLOTACIÓN



Siembra de arroz con avioneta del terreno inundado



Piquera y almorrones conduciendo el agua del canal de riego





Piqueras de riego antes de proceder a la inundación de las tablas



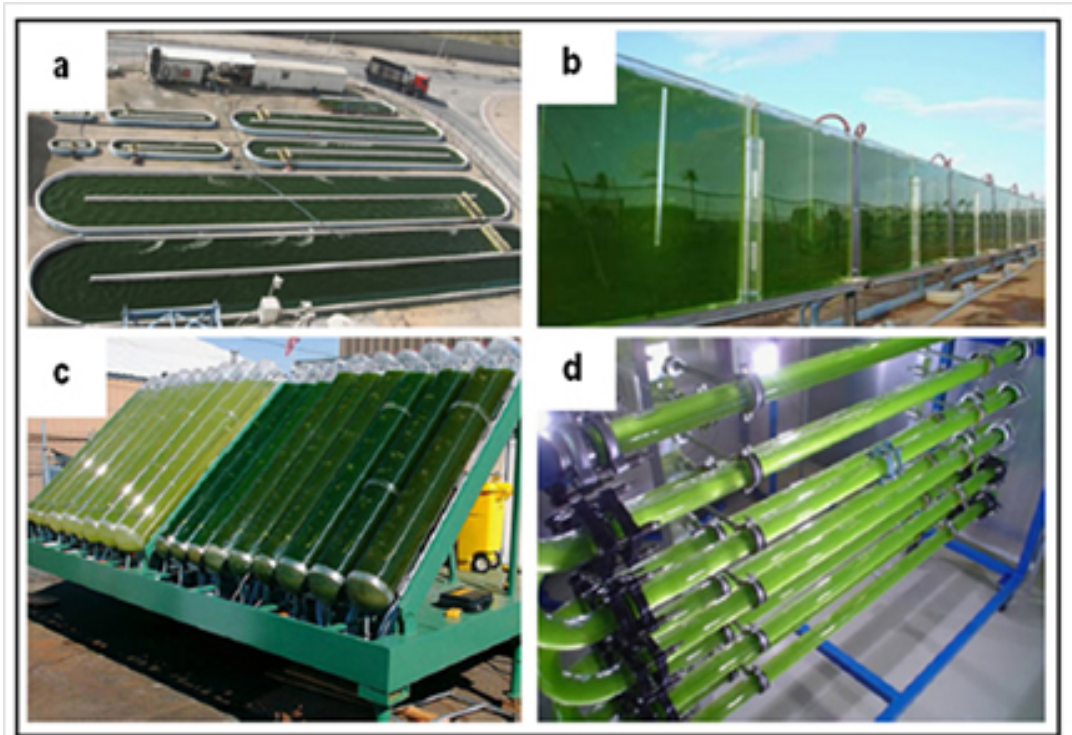
Finca de arroz próxima a la cosecha





Aplicación de abono foliar con tractor

## 6. FOTOBIORREACTORES



Diferentes sistemas de cultivo de microalgas (a) estanque abierto, (b) placa delgada, (c) tubular inclinado y (d) continuo horizontal (Benavente et al 2009).



Tubos de cristal con racores para fotobiorreactor tubular de la marca Schott (fotografía de la empresa)

## 7. PRODUCTOS A BASE DE MICROALGAS (AQUALGAE)







## 8. PLANOS A NIVEL ESQUEMÁTICO

8.1 LOCALIZACIÓN

8.2 UBICACIÓN Y SUPERFICIES

8.3 CONDUCCIONES

8.4 DETALLE DE CONDUCCIONES

8.5 DETALLES 1 Y 2

8.6 PLANCHAS DE POLIESTILENO

8.7 VISTA LATERAL FOTOBIORREACTOR

8.8 DETALLE DE VISTAS

8.9 DISTRIBUCIÓN PLANCHAS POLIESTILENO






TERMINO MUNICIPAL DE ISLA MAYOR



LOCALIZACIÓN DE LA PARCELA

 <p> <small>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</small> </p>		<p>TFG del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural</p>	
<p>Autor:</p>		<p>PLANO DE:</p>	
<p>Fdo: Daniel Prieto</p>		<p>LOCALIZACIÓN</p>	
<p>ESCALA/S:</p>		<p>PLANO:</p>	
<p>VARIAS</p>		<p>01/09</p>	





UBICACIÓN DE LA FINCA

POBLACIÓN DE ISLA MAYOR



969,78 m<sup>2</sup>

13,59 ha

**upna**  
 Universidad  
 Pública de Navarra  
 Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Autor:

Fdo: Daniel Prieto

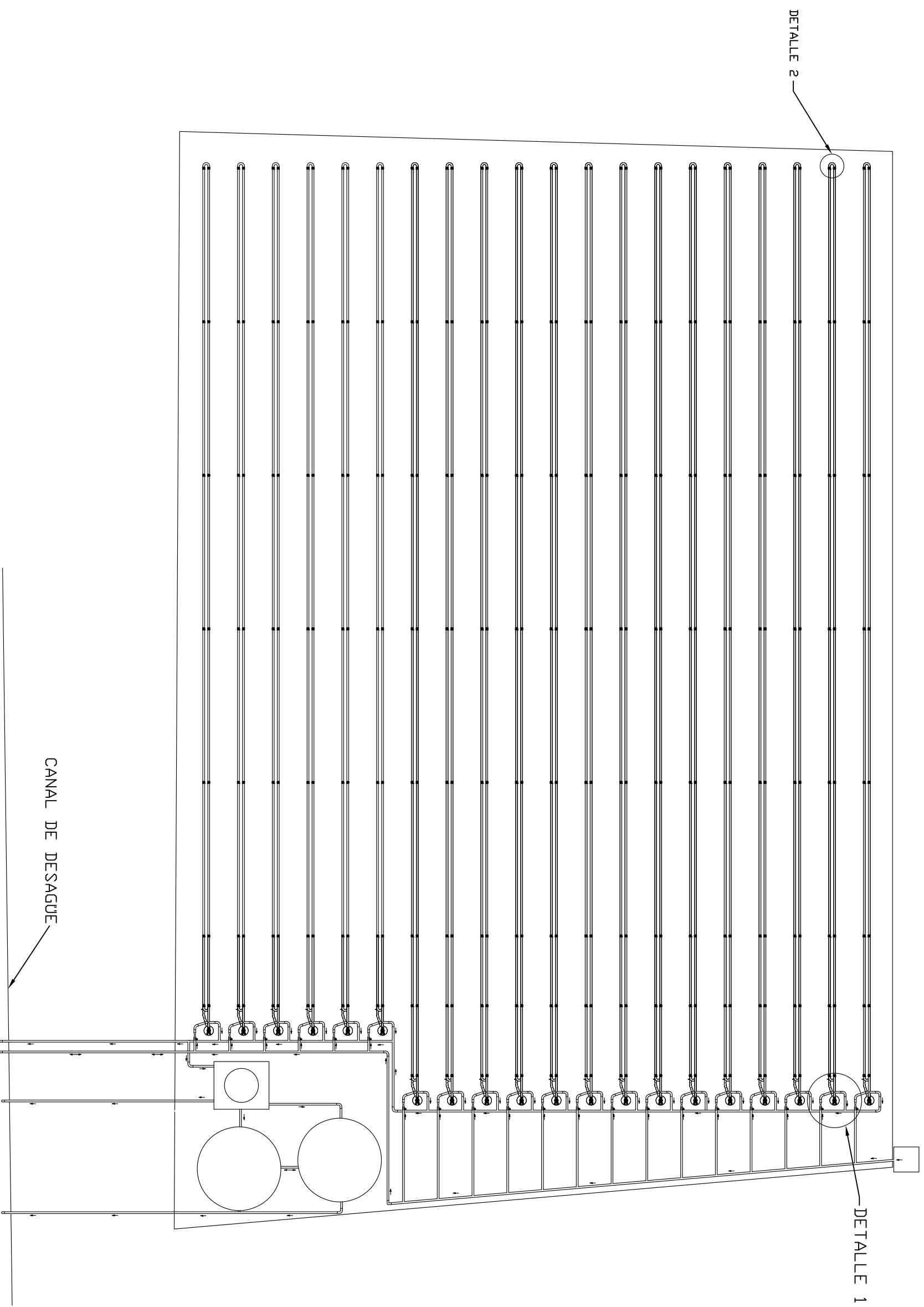
TFG del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

PLANO DE:

UBICACIÓN Y SUPERFICIES

ESCALA/S: 1/20000  
 1/6000

PLANO:  
 02/09



**upna**  
 Universidad  
 Pública de Navarra  
 Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Autor:

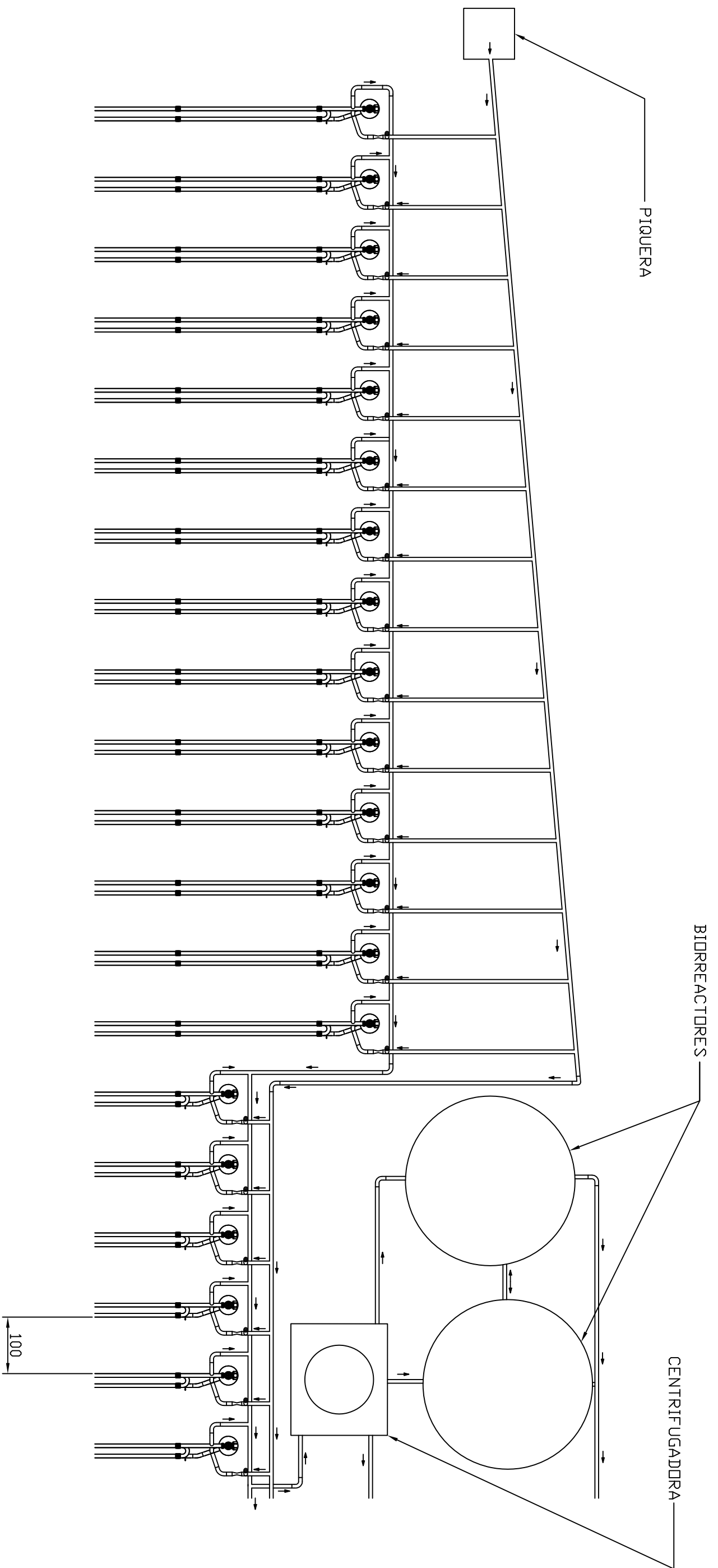
Fdo: Daniel Prieto

TFG del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

PLANO DE:  
 CONDUCCIONES

ESCALA/S: 1/150

PLANO:  
 03/09



**upna**  
 Universidad  
 Pública de Navarra  
 Nafarroako Unibertsitate Publikoa

TFG del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

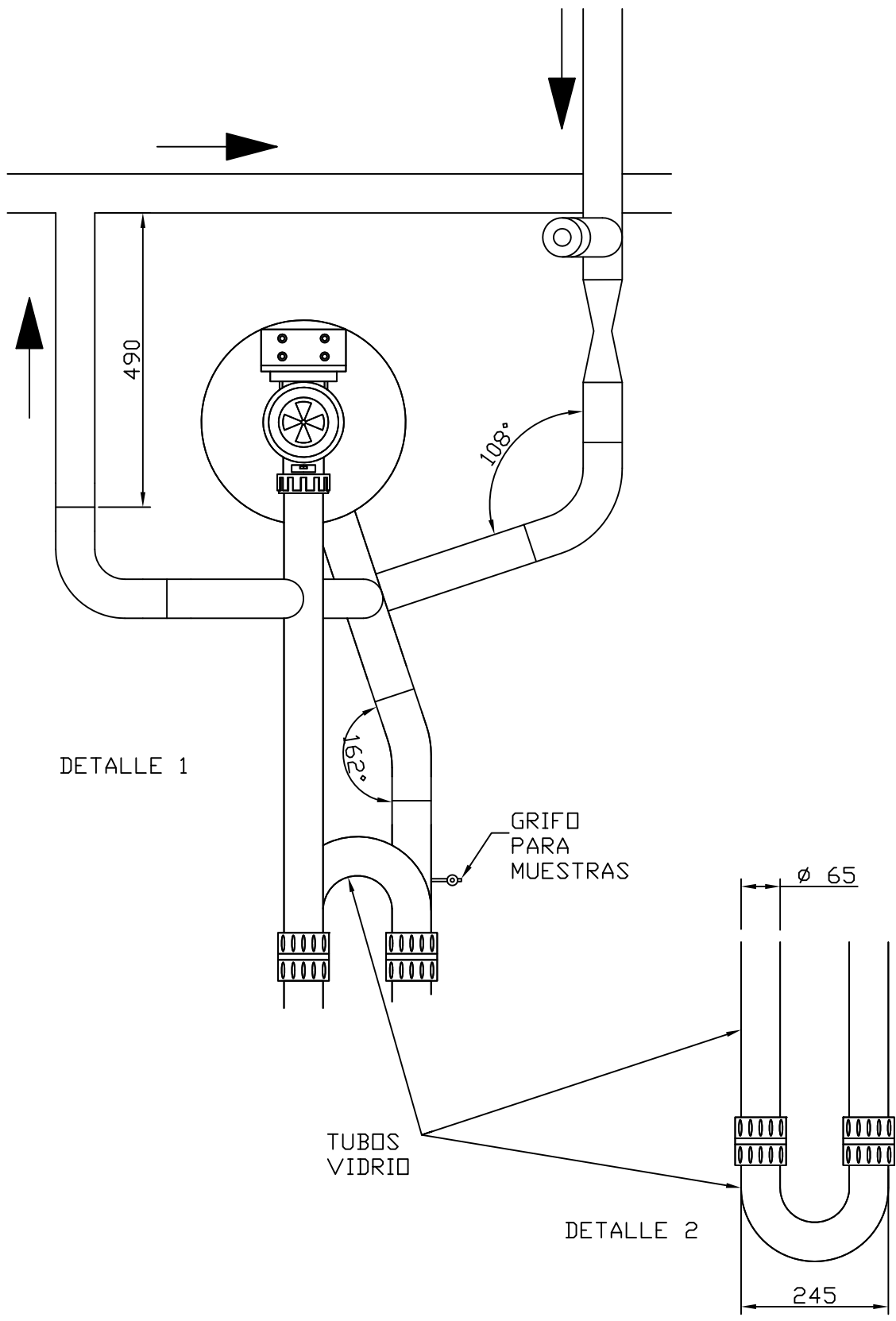
**Autor:**

**PLANO DE:**  
 DETALLE DE CONDUCCIONES

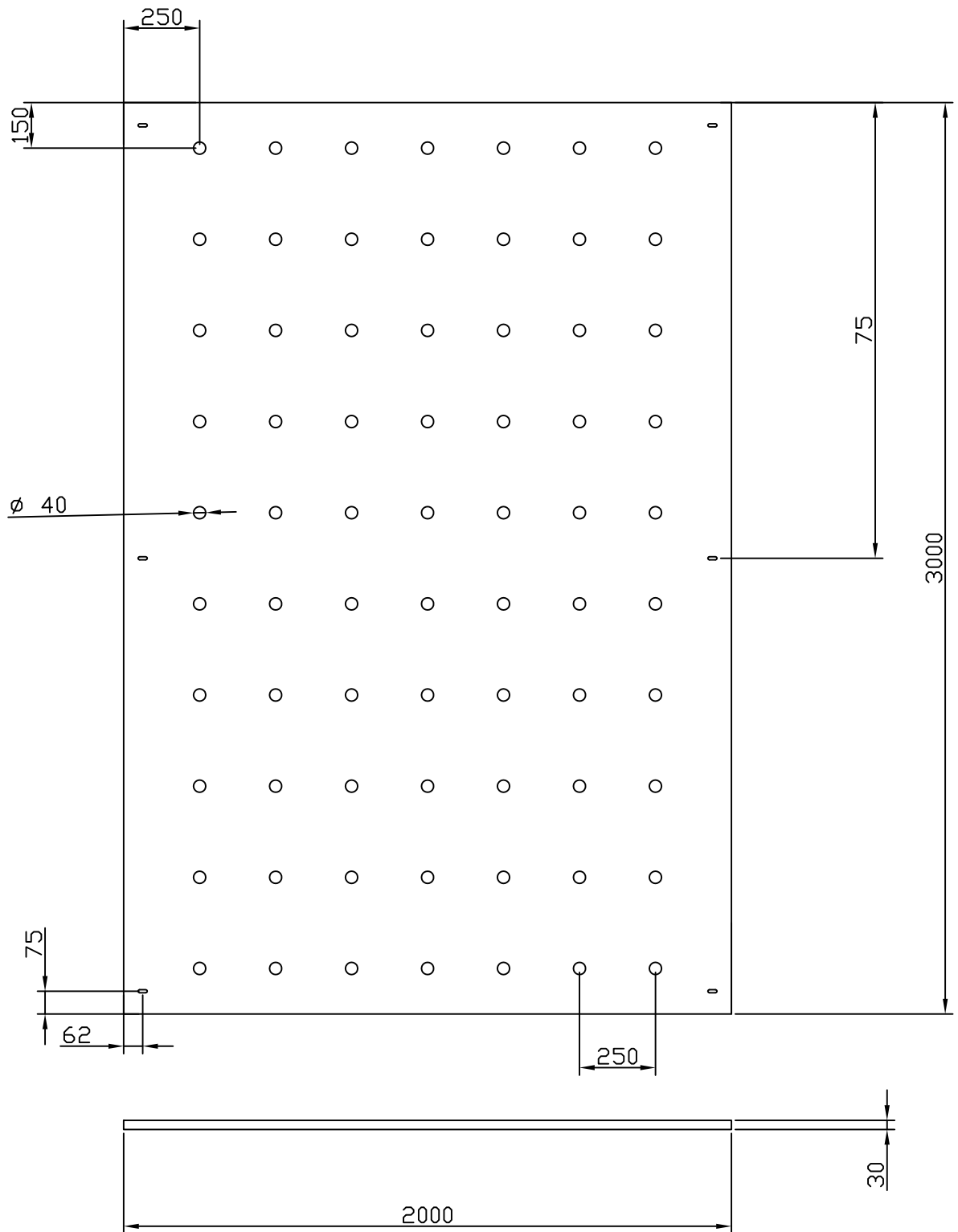
Fdo: Daniel Prieto

**ESCALA/S:** 1/120

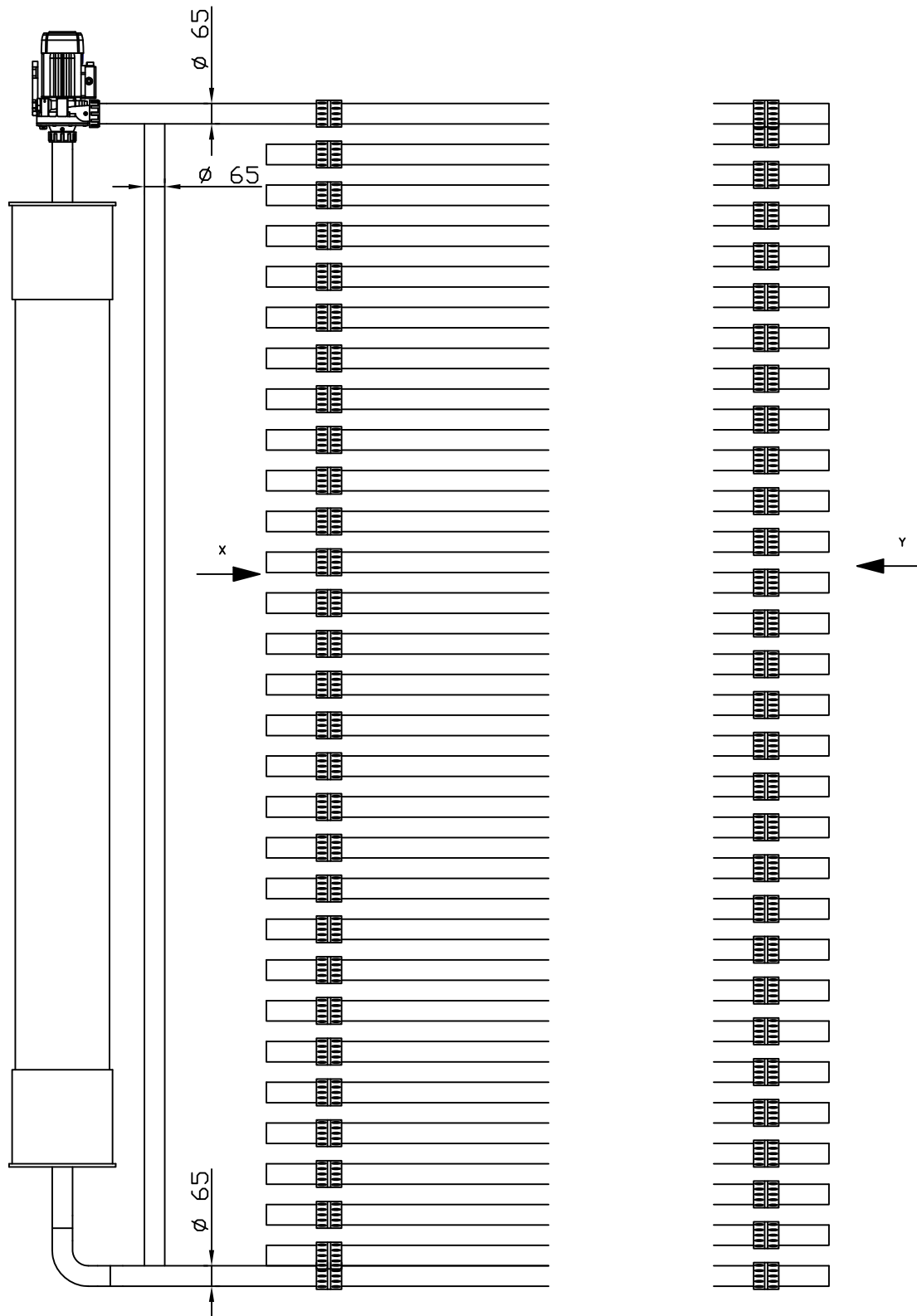
**PLANO:**  
 04/09



<p><b>upna</b>          Universidad          Pública de Navarra          Nafarroako Unibertsitate Publikoa</p>	<p>TFG del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural</p>	
	<p>PLANO DE:          DETALLES 1 Y 2</p>	
<p>Autor:</p>	<p>ESCALA/S: 1/10</p>	<p>PLANO:          05/09</p>
<p>Fdo: Daniel Prieto</p>		



<b>upna</b> Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	TFG del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural	
	<b>PLANO DE:</b> PLANCHAS DE POLIESTILENO	
<b>Autor:</b>  Fdo: Daniel Prieto	<b>ESCALA/S:</b> 1/20	<b>PLANO:</b> 06/09



**upna**  
 Universidad  
 Pública de Navarra  
 Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Autor:

Fdo: Daniel Prieto

TFG del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

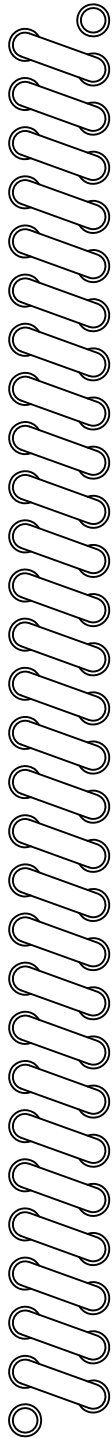
PLANO DE:

VISTA LATERAL FITOBIORREACTOR

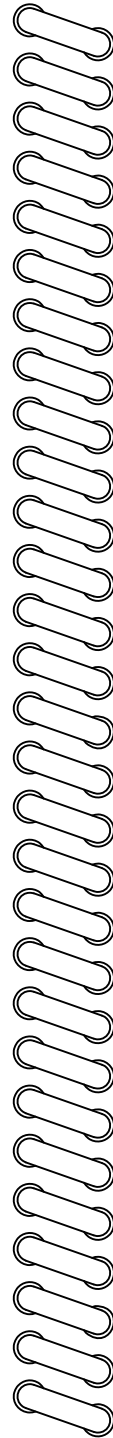
ESCALA/S: 1/20

PLANO:  
 07/09

VISTO POR X



VISTO POR Y



**upna**  
Universidad  
Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

TFG del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del  
Medio Rural

PLANO DE:

DETALLE DE VISTAS

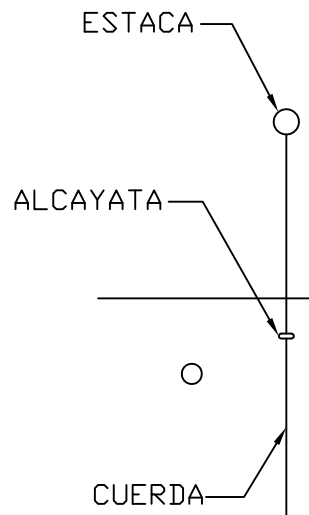
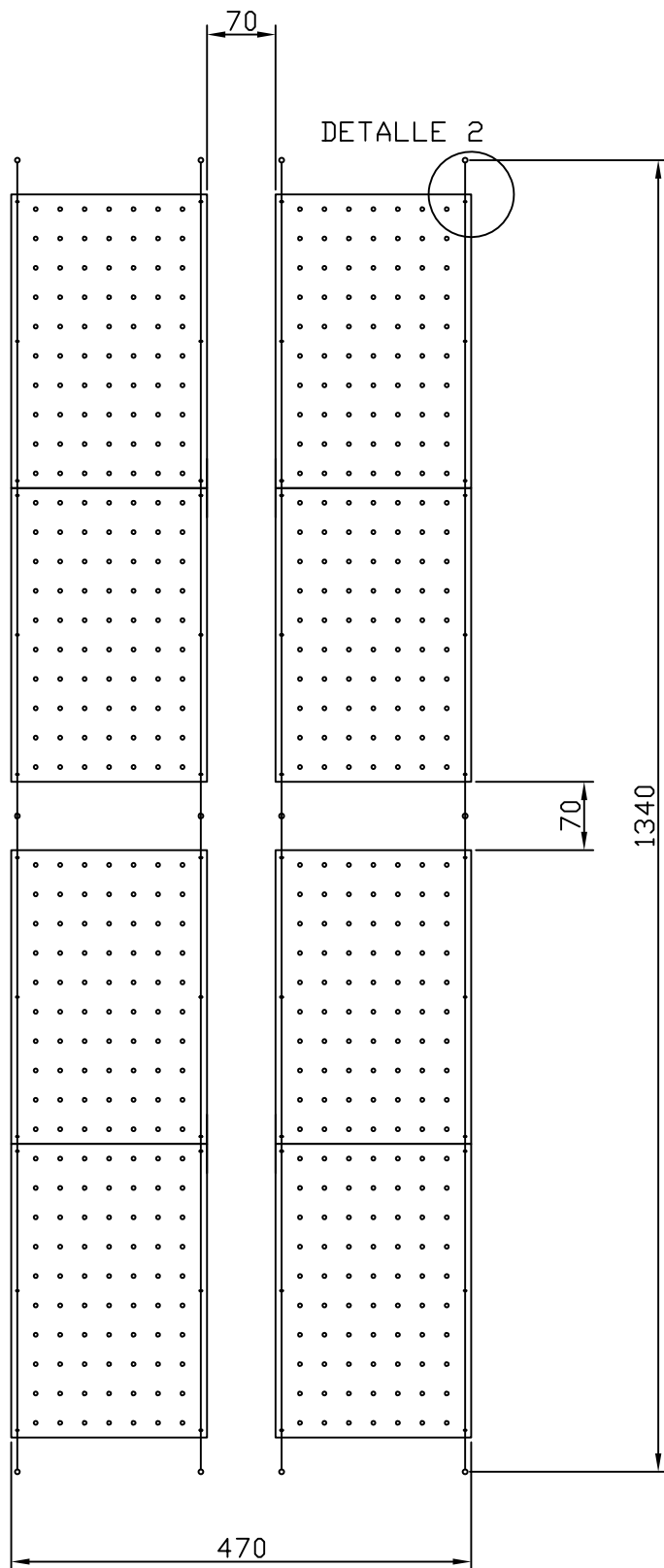
Autor:

ESCALA/S: 1/20

PLANO:  
08/09

Fdo: Daniel Prieto





DETALLE 2

**upna**  
 Universidad  
 Pública de Navarra  
 Nafarroako Unibertsitate Publikoa

TFG del Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

PLANO DE:

DISTRIBUCIÓN PLANCHAS DE POLIESTILENO

Autor:

ESCALA/S: 1/75

PLANO:  
 09/09

Fdo: Daniel Prieto