

***INCREAGUA - Ingeniería Creativa del Agua***

---

***Textos Básicos***

***TEXTO B***

***ACUICULTURA CON BIOFLOCS CELULOSICOS***

***Edición 2.024***

**Autor: Carlos Alberto Páez Martínez**

## *Tabla de Contenido*

<b><i>B-1. INTRODUCCIÓN</i></b> .....	3
<b><i>B-2. TECNOLOGIAS DE ACUICULTURA EXISTENTES</i></b> .....	4
<i>B-2.1. Acuicultura Extensiva Actual</i> .....	4
<i>B-2.2. Tecnología Actual de Acuicultura con Bioflócs</i> .....	5
<i>B-2.3. Sistemas Intensivos RAS y Raceway</i> .....	15
<b><i>B-3. DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DE LA PLANTA PARAB</i></b> .....	17
<b><i>B-4. CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA PARAB</i></b> .....	36
<b><i>B-5. ALIMENTACIÓN DE LAS ESPECIES ACUÍCOLAS</i></b> .....	45
<b><i>B-6. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOFLOCS CELULOSICOS</i></b> .....	57
<b><i>B-7. AIREACIÓN DE ESTANQUES DE ACUICULTURA CON BOQUILLAS DE TUBO TRANSVERSAL</i></b> .....	68
<b><i>B-8. CALCULOS Y FACTIBILIDAD DE UNA PLANTA PARAB</i></b> .....	76
<b><i>B-9. PLANTA PARAB PARA CULTIVO DE CAMARONES</i></b> .....	88
<i>B-9.1. Introducción</i> .....	88
<i>B-9.2. Alimentación y Tasa de Crecimiento</i> .....	91
<i>B-9.3. Salinidad y Oxígeno Disuelto</i> .....	97
<i>B-9.4. Turbiedad</i> .....	101
<i>B-9.5. Relación C/N</i> .....	101
<i>B-9.6. Diseño y Operación de la Planta para Camarones</i> .....	102

## **B-1. INTRODUCCIÓN**

El pescado y los camarones son alimentos ricos en proteína y aceites de buena calidad, y de gran aceptación entre la población. Actualmente se producen principalmente mediante la pesca en mares y ríos. Sin embargo, estas fuentes se están agotando por sobrepesca y contaminación. Esto afecta tanto la producción de pescado y camarón para consumo humano, como la producción de concentrados para acuicultura, que se hace en gran parte con harina de pescado de mar.

La acuicultura que actualmente se realiza en el país es generalmente de carácter extensiva, donde se utilizan grandes caudales como forma de suplir las necesidades de oxígeno de los peces. Su producción se ve limitada por la escasez o la contaminación de las fuentes de agua disponibles. Como fuente de alimentación, la acuicultura actual utiliza principalmente concentrados, los cuales representan cerca de la mitad de los costos totales de producción.

Otro de los problemas de la acuicultura actual es que los efluentes de los estanques contaminan las corrientes naturales, puesto que contienen desechos de alimentos, heces y peces muertos. Por otra parte, los sistemas de aireación que actualmente se emplean en la acuicultura no transfieren el oxígeno al agua en forma energéticamente eficiente, y no lo distribuyen uniformemente en los estanques, y además generan alta turbiedad en ellos. Todo esto aumenta los costos económicos y ambientales, y limita la productividad de la acuicultura.

Ante este panorama, con el fin de cubrir la creciente demanda de proteína saludable en forma ambientalmente sostenible, se ve la necesidad de optimizar los recursos de energía y de agua, reducir su contaminación, y además de incrementar la productividad de la acuicultura.

Las plantas de acuicultura que se presentan en este texto tienen los siguientes propósitos:

- Producir el alimento para peces y camarones a partir de insumos de bajo costo, que reemplacen los concentrados que se utilizan actualmente, los cuales representan alrededor del 50% de los costos totales de producción.
- Mejorar la calidad del agua en los estanques, con lo cual se controlan las enfermedades, y se puede lograr mayor productividad y calidad en la producción de peces y camarones.
- Reducir los costos de los equipos y de la energía en la aireación, y mejorar la distribución y la concentración de oxígeno en los estanques.
- Facilitar el manejo de los peces y camarones en todos los procesos productivos.
- Introducir procesos de recirculación y de tratamiento del agua, con el objeto de reducir su captación de fuentes naturales, y la contaminación de los efluentes que son retornados a éstas.

La planta propuesta se ha denominado Parab, acrónimo de Planta de Acuicultura con Recirculación y Alimentación mediante Bioflócs. En esta planta se combinan las dos

tecnologías más avanzadas que se utilizan actualmente, el sistema RAS (Recirculating Aquaculture System) y el Raceway. La planta Parab consiste esencialmente en un sistema RAS, en donde se purifica el agua de los estanques recirculando el agua a través de un lecho de compostaje, y donde las corrientes generadas por los chorros mantienen los bioflócs en suspensión, como en el Raceway. En el lecho de compostaje también se producen los bioflócs que cubren casi la totalidad de la alimentación. En los sistemas de bioflócs actuales, éstos solo cubren un 30% de ésta.

Para la aireación de los estanques se han desarrollado boquillas de tubo transversal, las cuales constituyen una innovación basada en el efecto venturi. Estas boquillas transfieren oxígeno al agua de una forma energéticamente eficiente, y además producen la turbulencia y capacidad de mezcla que se requieren para la distribución del oxígeno en el estanque, y para mantener los bioflócs en suspensión.

La planta Parab se proyecta inicialmente para la cría de tilapias y camarones, que son las especies acuícolas más cultivadas en Colombia, y que tienen un gran mercado internacional. Las características de estas especies y su cultivo se encuentran en un documento de CIDEA<sup>1</sup>. En documentos técnicos de la FAO se encuentra un manual para acuicultores<sup>2</sup>, y lo referente medidas sanitarias para la acuicultura<sup>3</sup>.

A continuación, se analizan las tecnologías de acuicultura que se emplean actualmente.

## ***B-2. TECNOLOGIAS DE ACUICULTURA EXISTENTES***

### ***B-2.1. Acuicultura Extensiva Actual***

En el país, la acuicultura se hace principalmente mediante sistemas extensivos, donde se requieren importantes caudales tomados de fuentes naturales para suministrar el oxígeno que requieren los peces, y para diluir la contaminación que se genera por la descomposición de heces y residuos de alimento. Este alimento es rico en proteínas, y su descomposición origina amoníaco y anhídrido sulfuros, que son altamente tóxicos para la fauna acuática. La descomposición de los excrementos y de los residuos de los alimentos también consume el oxígeno del agua, lo cual afecta los peces y camarones, y favorece la proliferación de patógenos.

En el medio natural y en sistemas de acuicultura extensivos, la base de la alimentación de las especies acuáticas son los productos ricos en nitrógeno y carbono, tales como el zooplancton y el fitoplancton. Este último está constituido por algas que, a través del proceso de fotosíntesis, utilizan la radiación solar para fijar carbono en forma de carbohidratos. La fotosíntesis transfiere oxígeno al agua durante el día, el cual es agotado durante la noche por la descomposición de la materia orgánica. Las algas se ubican cerca

---

<sup>1</sup> CIDEA. "MANEJO DEL CULTIVO DE TILAPIA". 2.006. <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>

<sup>2</sup> FAO. "Doing aquaculture as a business for small- and medium-scale farmers Practical Training Manual". 2.017. <http://www.fao.org/3/a-i7461e.pdf>

<sup>3</sup> FAO. "Manual Básico de Sanidad Acuícola". 2.011. <http://www.fao.org/3/a-as830s.pdf>

de la superficie para recibir dicha radiación, y el oxígeno que producen no llega al fondo. Allí se decanta la materia orgánica muerta, y su descomposición produce el nitrógeno amoniacal que es asimilado por el fitoplancton y el zooplancton. También genera condiciones anaeróbicas donde se originan patógenos, que pueden afectar las especies a cultivar. En la acuicultura comercial, la alimentación se hace generalmente mediante concentrados ricos en nitrógeno, fósforo y otros nutrientes.

Gran parte de las algas son unicelulares, de tamaño muy pequeño para ser consumidas directamente por peces y camarones, pero sirven de alimento al zooplancton, constituido por especies tales como rotíferos, copépodos y cladóceros, que son organismos filtradores mayor tamaño, que pueden ser consumidos por peces y camarones. En la Figura F-1 se muestran diagramas donde se compara la alimentación de la acuicultura extensiva actual, con la correspondiente a la alimentación con bioflócs.

El cultivo del camarón se hace con aguas saladas o salobres, en estanques que se ubican cerca al mar. Actualmente se emplean estanques extensos en zonas costeras intermareales, donde generalmente se utilizan sistemas semi intensivos, con recambio de agua, y aireación superficial mediante equipos de tipo paletas o splash. En recientes desarrollos tecnológicos del cultivo de camarón, se ha mejorado la sanidad y la productividad mediante la implementación de cocultivos con tilapia, y la utilización de sistemas intensivos de tipo Raceway.

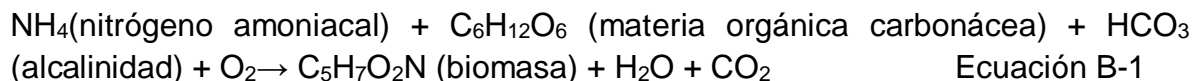
### **B-2.2. Tecnología Actual de Acuicultura con Bioflócs**

Debido a su alto contenido de proteínas saludables, vitaminas, minerales, ácidos grasos omega 3 y 6, los peces y camarones tienen una demanda creciente, debido a que constituyen fuentes de proteínas económicas y saludables. La fuente principal de estos alimentos son los ríos y mares, donde escasean la sobrepesca, y tienen el riesgo de contaminarse con metales pesados y otros elementos xenobióticos, que los hacen perjudiciales para la salud.

Por lo tanto, para abastecer la demanda en los próximos años es necesario acudir a la acuicultura. Para aumentar la capacidad de producción de los estanques se ha recurrido a la tecnología de los bioflócs. La base de esta tecnología es la implementación de sistemas de aireación dentro del estanque, con el fin de transferir oxígeno al agua, y de mantener en suspensión detritos formados por residuos de alimentos, heces y otros sólidos suspendidos, alrededor de los cuales se forman biopelículas, conformando así los llamados bioflócs. Estas biopelículas están formadas por microorganismos aeróbicos que asimilan los nutrientes y la materia orgánica solubilizada, y la convierten en biomasa que constituye un excelente alimento para peces y camarones. Lo referente a las biopelículas se trata en el Capítulo C-1

Los peces y camarones producen heces y desechos que, junto con los alimentos no consumidos, se descomponen formando nitrógeno amoniacal (amoníaco y ion amonio), dióxido de carbono, metano, ácidos orgánicos, y alcoholes. La tecnología de los bioflócs (en inglés BFT) permite aprovechar estos residuos en la producción de nuevo alimento

rico en proteínas. Mediante procesos de nitrificación heterótrofa que ocurren con ayuda del oxígeno disuelto, las bacterias transforman el nitrógeno amoniacal que contamina el agua, en una biomasa con alto contenido proteínas y carbohidratos. Con esos procesos también se remueve del agua contaminantes tóxicos como el anhídrido sulfuroso. El proceso de nitrificación heterótrofa, que es la base de la formación del bioflóc, se expresa en a la siguiente ecuación:



De acuerdo con lo anterior, para producir 8.07 gr de biomasa se requiere 1 gramo de nitrógeno amoniacal, 15.17 gr de carbohidratos, 3.57 gr de alcalinidad, y 4.71 gr de oxígeno (James M. Ebeling et al. <sup>4</sup>). Es importante la adición de álcalis para proporcionar la alcalinidad necesaria, y para mantener el pH requerido de entre 7 y 8.

De acuerdo con la formula anterior, la relación estequiométrica C/N entre la DBO<sub>5</sub> y el nitrógeno total NTK es de 15.17. Cada gramo de nitrógeno amoniacal genera aproximadamente 6 gramos de proteína. Para calcular la proporción de proteínas que debe tener el alimento para cumplir la relación C/N, se considera que éstas tienen alrededor del 16% de nitrógeno total NKT. La biomasa resultante tiene entre 30 y 40% de proteína, mientras que las bacterias tienen un 61% (Yoram Avnimelech Ref. B-11). Esto es similar o superior al contenido de proteína de los concentrados utilizados en acuicultura.

Las bacterias no se desarrollan bien en estado planctónico, o sea suspendidas en el agua. Por lo tanto, segregan sustancias pegajosas EPS por sus siglas en inglés Extracellular Polimeric Substances, que les permite adherirse a superficies sólidas, tales como residuos de alimentos, heces y detritos orgánicos, los cuales actúan como bioportadores. La EPS también facilita que otros microorganismos y sólidos suspendidos se adhieran a la superficie, formando así una biopelícula. La base de la formación de los bioflócs son detritos de escaso tamaño, pero el desarrollo una biopelícula pegajosa sobre ellos les permite aglomerarse, para formar partículas de tamaños más apropiados para ser consumidos por peces y camarones. Estos conglomerados se llaman bioflócs, que constituyen un excelente alimento para los peces y camarones, los cuales no pueden consumir directamente los microorganismos sueltos, que se encuentran en suspensión en el agua<sup>5</sup>.

El bioflóc también está constituido por una comunidad de microorganismos que se alimentan de los nutrientes contenidos en el agua. Entre ellos se encuentran bacterias de

---

<sup>4</sup> James M. Ebeling et al. "Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems". Science Direct. Aquaculture. Elsevier-2.006.

[https://www.researchgate.net/publication/222912406\\_Engineering\\_analysis\\_of\\_the\\_stoichiometry\\_of\\_photoautotrophic\\_autotrophic\\_and\\_heterotrophic\\_removal\\_of\\_ammonia-nitrogen\\_in\\_aquaculture\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/222912406_Engineering_analysis_of_the_stoichiometry_of_photoautotrophic_autotrophic_and_heterotrophic_removal_of_ammonia-nitrogen_in_aquaculture_systems)

<sup>5</sup> Martínez Córdova, Luis R- et.al. "Alimento Natural en Acuicultura. Una Revisión Actualizada". Universidad de Sonora. Hermosillo, México. 2.010. [https://www.uanl.mx/utilerias/nutricion\\_acuicola/X/archivos/26-LuisMartinez.pdf](https://www.uanl.mx/utilerias/nutricion_acuicola/X/archivos/26-LuisMartinez.pdf)

diversas especies, microalgas, hongos, nemátodos y protozoos principalmente. Todos ellos forman un ecosistema complejo, en el cual cada microorganismo tiene un papel en la construcción de la biopelícula, la asimilación de contaminantes, y la producción de una biomasa con alto valor nutritivo, según Mauricio Gustavo Coelho et al.<sup>6</sup>. En la Figura B-1 c) se encuentra una imagen de los bioflócs que se utilizan actualmente.

Los procesos de bioflócs pueden desarrollarse de dos formas. Una de ellas es el proceso de lecho móvil, que es el que se utiliza actualmente en acuicultura, donde se utilizan equipos de aireación colocados en los estanques para transferir oxígeno al agua, y que además producen la turbulencia necesaria para mantener los bioflócs en suspensión, y así facilitar el contacto entre los nutrientes, el oxígeno, y los microorganismos aeróbicos residentes en la biopelícula, lo cual promueve el desarrollo de ésta, en un fenómeno conocido como intercambio de masas. Las características del bioflóc producido por este sistema están descritas en documento de P. De Schryver, et al.<sup>7</sup>. En el sistema de bioflócs actual, éstos alcanzan un tamaño de entre 0.1 y 2 mm, que es bastante pequeño para ser consumido por parte de peces y camarones mayores. Esto se debe principalmente a que los detritos procedentes del alimento o las heces son muy deleznable, y a la utilización de sistemas de aireación mecánico que utilizan palas o rotores a gran velocidad que los desintegran, como se explica en el Numeral A-2.2, ocasionando turbiedad.

Una forma más apropiada de producir los bioflócs es un sistema de lecho fijo, que se describe en el Capítulo B-6. Estos bioflócs se producen en lechos de compostaje hechos con bagazo de caña picado, que funcionaría como filtro percoladores, los cuales serían regados con una solución de nutrientes. Sobre las partículas de bagazo se forman biopelículas compuestas por microorganismos que toman el oxígeno del aire contenido del filtro, y los nutrientes del agua que circula a través de éste, lo cual facilita los procesos de nitrificación heterótrofa y la asimilación de nutrientes. De esta forma se promueve la formación de biomasa y su aglomeración sobre bioportadores, produciendo así bioflócs de tamaños mayores, apropiados para todos los peces y camarones. El bagazo que constituye los núcleos de los bioflócs está hecho con fibras de celulosa, que es un carbohidrato que se degrada lentamente, y por lo tanto se convierte en una fuente de carbono, que contribuye al desarrollo de la biopelícula sobre ellos. La introducción del bagazo picado ofrece una gran área de superficie de apoyo a los microorganismos que conforman la biopelícula, y además tiene una porosidad muy alta, que facilita el acceso de dichos microorganismos al oxígeno. Los bioflócs celulósicos formados en los lechos de compostaje, se llevan luego a los estanques, donde continúan desarrollándose en forma similar a como ocurre en los bioflócs actuales, y asimilan los nutrientes que contaminan los estanques antes de ser consumidos por peces o camarones.

Se considera que los peces o camarones de los estanques de acuicultura solo pueden asimilar un 25% del nitrógeno de los alimentos que se les proporcionan. El resto es

---

<sup>6</sup> Mauricio Gustavo Coelho et al. "Biofloc Technology (BFT): A Tool for Water Quality Management in Aquaculture". INTEC, 2.017.

<https://pdfs.semanticscholar.org/0704/933db5da8efa0306661dbcaebd290ea0a4f9.pdf>

<sup>7</sup> P. De Schryver, R. Crab, T. Defoirdt, N. Boon, W. Verstraete. "The basics of bio-flocs technology: The added value for Aquaculture". Aquaculture. Elsevier.2.008. [www.vliz.be/imisdocs/publications/215559.pdf](http://www.vliz.be/imisdocs/publications/215559.pdf)



excretado como nitrógeno amoniacal. De acuerdo con los estudios realizados por Yoram Avnimelech <sup>8</sup>, la cantidad de nitrógeno requerido para la alimentación de los peces  $\Delta N$  sigue la siguiente relación:

$$\Delta N = \frac{\Delta CH \times \%C \times E}{\left(\frac{C}{N}\right)_{mic}} \quad \text{Ecuación B-2}$$

Donde  $\Delta CH$  es la cantidad de carbohidratos suministrados,  $\%C$  es la proporción de carbono en los carbohidratos utilizados en la alimentación,  $E$  es la eficiencia en la conversión del alimento en biomasa por los microorganismos, y  $(C/N)_{mic}$  es la relación entre carbono y nitrógeno en dichos microorganismos.

La relación C/N en la alimentación de los peces se expresa en la siguiente ecuación.

$$\frac{C}{N} = \frac{\Delta CH}{\Delta N} = \frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{mic}}{\%C \times E} \quad \text{Ecuación B-3}$$

Asumiendo un contenido de carbono en los carbohidratos utilizados en la alimentación  $\%C$  de 50%, una eficiencia de conversión  $E$  del 40% (los valores oscilan entre 40 y 60%), y una relación  $(C/N)_{mic}$  de dichos microorganismos de 4, se encuentra que la relación C/N en la alimentación de los peces debe ser del orden de 20.

El carbono es importante para la obtención de energía y para la formación de nuevo material celular por parte de los peces y camarones. Estos obtienen su energía oxidando el carbono, el cual es excretado como  $CO_2$ , parte del cual sale a la atmósfera, y el resto es reutilizado por los microorganismos para generar los bioflócs.

El agua en los estanques de acuicultura normalmente alcanza relaciones C/N menores a 11, debido a la pérdida de carbono en procesos anaeróbicos, que lo convierten en  $CO_2$  y metano que salen como gases a la atmósfera, mientras que el producto de la degradación del nitrógeno es el nitrógeno amoniacal (ion amonio y amoniaco), que tiende a permanecer en el agua. Por lo tanto, para la producción de bioflócs se requiere la adición de carbono<sup>9</sup>.

El desarrollo de los bioflócs se puede mejorar sustancialmente con la adición de una fuente de carbono de origen vegetal, cuya descomposición proporciona el carbono necesario para la alimentación de los microorganismos. La fuente de carbono más apropiada podría ser la caña de azúcar, la cual produce un jugo rico en sacarosa y otros azúcares, que son una excelente fuente de carbono para toda clase de microorganismos, y además su bagazo picado tiene excelentes condiciones para actuar como bioportadores en la formación de bioflócs. Las hojas de la caña se descomponen fácilmente, y pueden servir de fuente de carbono y producir bioflócs pequeños. Para cubrir las necesidades de

---

<sup>8</sup> Yoram Avnimelech. "Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems". Faculty of Agricultural Engineering, Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, 1.999.

<http://portalcamaronero.com/wp-content/uploads/2016/10/Avnimelech-carbon-nitrogenratio.pdf>

<sup>9</sup> Mauricio Emerenciano, Gabriela Gaxiola and Gerard Cuzon. "Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry". INTECH, M 2.013 <http://dx.doi.org/10.5772/53902>



alimentación de los peces o camarones, se recomienda que estos bioflócs se produzcan inicialmente en un lecho de compostaje, y luego se coloquen en los estanques donde continuarían su desarrollo con los nutrientes que se generan allí. Este proceso se describe en el Capítulo B-6.

Otra fuente de alimento para los peces y camarones es el zooplancton, el cual está formado por organismos acuáticos filtradores, que se alimentan de bioflócs pequeños, bacterias, levaduras, y otros microorganismos, realizando de este modo otro proceso de aglomeración de la biomasa. El zooplancton comprende principalmente rotíferos, copépodos y cladóceros. Los rotíferos tienen hasta 2 mm de grosor, y los copépodos y cladóceros hasta 5 mm. Su contenido de proteína está entre 54 y 68%, y además contienen aminoácidos y ácidos grasos poliinsaturados como omega 3 y 6, que no se encuentran en otras fuentes de alimento. Dicho zooplancton es la base de la alimentación de alevinos y especies pequeñas (Martínez Córdova et al Ref. B-5). En los estanques también se encuentra el fitoplancton, que lo conforma las algas que realizan procesos de fotosíntesis, mediante el cual utilizan la radiación solar para asimilar nutrientes y generar oxígeno. El fitoplancton es muy importante en los estanques de acuicultura extensiva, pero su presencia es reducida en la acuicultura intensiva. El fitoplancton está constituido principalmente por microalgas, que son organismos microscópicos tales como la clorela y la espirulina, los cuales requieren ser consumidas por el zooplancton o adherirse a las biopelículas para incorporarse a la cadena trófica. En la siguiente figura se muestran diagramas donde se compara la alimentación con bioflócs que se hace actualmente, con la que se hace en la acuicultura extensiva. Los bioflócs tienen la capacidad de capturar todos estos microorganismos, como se aprecia en la Figura B-1 c) a continuación.

Figura B-1 a) – Diagrama de la Acuicultura Extensiva

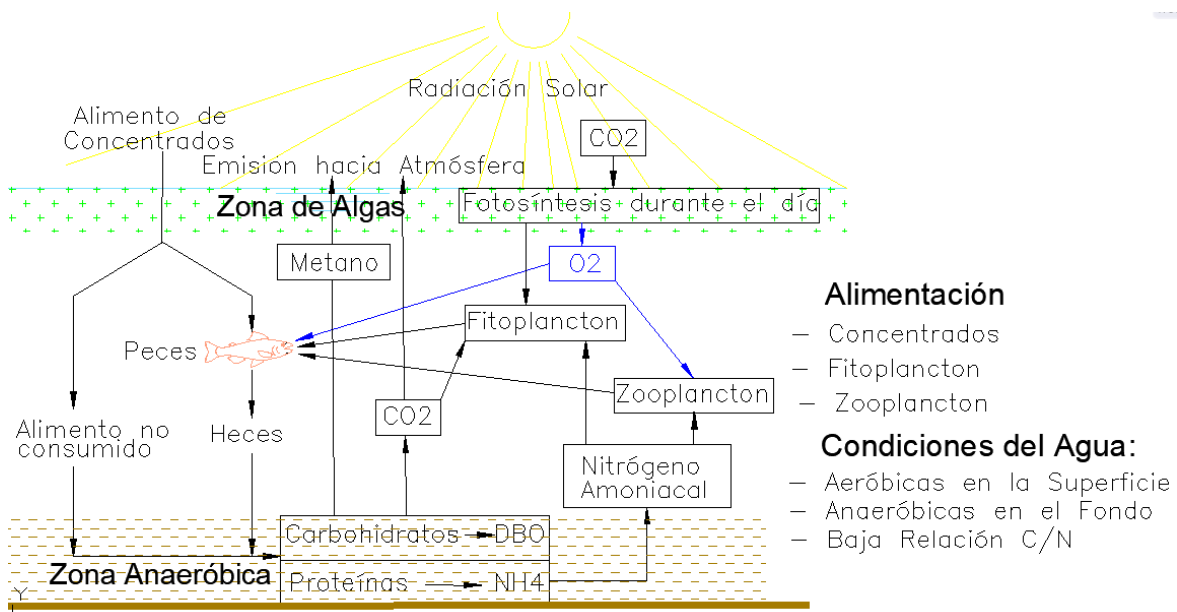
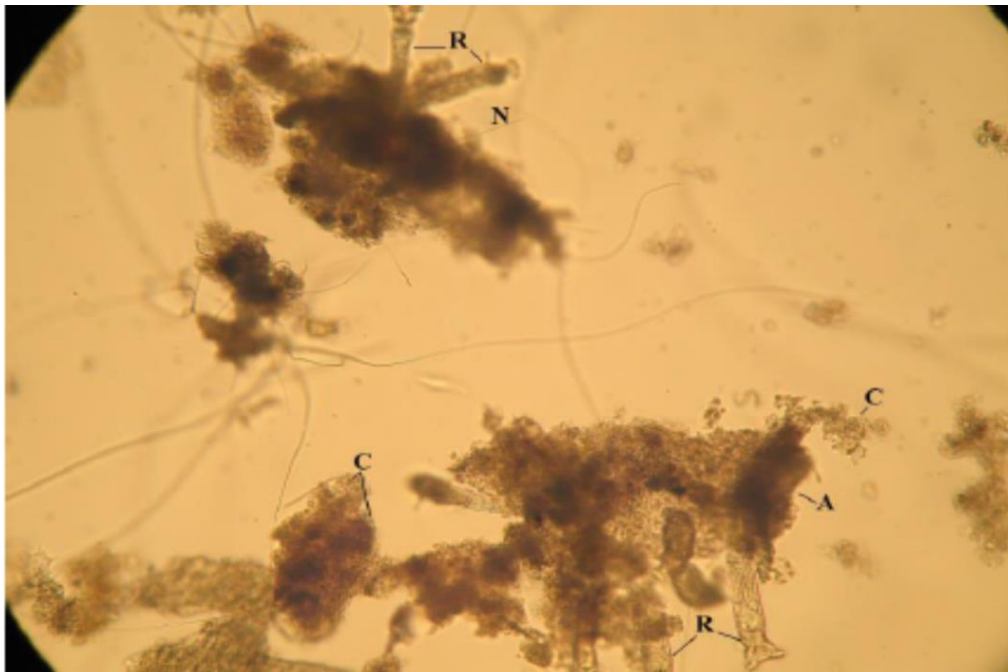
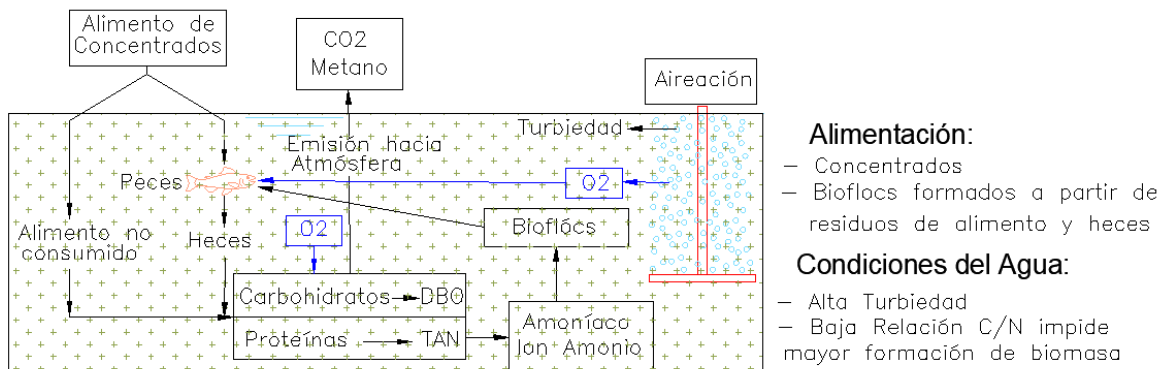


Figura B-1 b) - Diagrama de la Acuicultura con Bioflócs Actual



*Composition of biofloc, A: biofloc particle, C: chlorophytes, N: nematode and R: rotifers.*

Figura B-1 c) – Imagen de un Bioflóc Tradicional

A: Partículas de Biomasa de Nitrificación Heterótrofa, C: algas (chlorophytes), N: nemátodos y R: rotíferos.

Fuente: Aya S. Hussain. "Nutrient Optimization for the Production of Microbial Flocs in Suspended Growth Bioreactors". Journal Of The Arabian Aquaculture. 2.014. [\(PDF\) Nutrient Optimization for the Production of Microbial Flocs in Suspended Growth Bioreactors \(researchgate.net\)](#)

Los parámetros del agua apropiados para la cría de tilapias y camarones se encuentran en la siguiente Tabla.

Tabla B-1 Parámetros del Agua por Controlar en la Cría de Tilapia

<b>Parámetro</b>	<b>Valores Recomendables</b>	<b>Efecto</b>	<b>Control</b>
Oxígeno Disuelto	Mayores a 4 mg/L	Deficiencia en crecimiento de las especies y los bioflócs Proliferación de patógenos	Aireación
Temperatura	28 a 30° C	Deficiencia en crecimiento de las especies y de los bioflócs	Ubicación a altitudes entre 0 y 1.500 msnm
pH	7 - 8	Valores menores de 7 afectan el proceso de nitrificación en los bioflócs	Adición de Cal
Salinidad	5 a 40 mg/L Optima 15 mg/L	Posibilidad de cocultivo con camarones	Adición de NaCl o Mezcla con Agua de Mar
Nitrógeno Amoniacal	Menos de 1 mg/L	Toxicidad	Nitrificación mediante la aireación
Ortofosfato	0.5 - 20 mg/L	Fuera de este rango es tóxico para las especies	Control de adición de fósforo
Alcalinidad	Más de 100 mg/L	Con valores menores se limita la nitrificación por bacterias heterótrofas	Adición de Cal
Sólidos Suspendidos	Menos de 500 mg/L	Oclusión de las branquias	Recirculación a Través del Filtro Percolador Uso de bioflócs celulósicos

De acuerdo con la tabla anterior, es crucial tener un adecuado sistema de aireación. El sistema recomendado es el de boquillas de tubo transversal, que tiene una eficiencia en la transferencia de oxígeno bastante alta, estimada en 2.13 Kg O<sub>2</sub>/kW-h (ver Tabla A-5). Este sistema genera chorros que distribuyen dicho oxígeno adecuadamente en todo el estanque, y que mantienen en suspensión los bioflócs celulósicos

El contenido nutricional del bioflóc es excelente para alimentación de peces, con una proporción de proteínas que oscila entre el 25 y 45%, y de grasas entre 1 y 5%. Además, contienen fósforo, vitaminas y probióticos (John A. Hargreaves, 2.013 <sup>10</sup>).

<sup>10</sup> John A. Hargreaves. "Biofloc Production Systems for Aquaculture". Southern Regional Aquaculture Center SRAC. USDA. Abril de 2013.  
[https://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac\\_4503\\_biofloc\\_production\\_systems\\_for\\_aquaculture.pdf](https://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_4503_biofloc_production_systems_for_aquaculture.pdf)

Los peces excretan el 75% del nitrógeno contenido en los concentrados con que se alimentan. De éste cerca de la mitad puede convertirse en nuevo alimento mediante el sistema de bioflócs, con los cuales se puede suplir entre el 20% y el 30% de la alimentación. Por lo tanto, mediante el sistema de bioflócs se puede elevar desde un 15 a 25%, hasta un 45% el suministro de la proteína aportada por el concentrado (Yoram Avnimelech <sup>11</sup>). En los cultivos de peces sin sistemas de bioflócs, la tasa de conversión alimenticia (kg de pescado por Kg de alimento suministrado) es de entre 1.5 y 2.5. Cuando se implementa el sistema de bioflócs, esta tasa se reduce a valores entre 1.10 y 1.25 Kg de pescado/Kg alimento (Kubitza, 2.011 Ref. B-27 del Capítulo B-5).

Los concentrados tienen contenidos de proteína del 30% a 38%, en gran parte procedentes de insumos importados como soya y harina de pescado de mar, que tienen precios bastante altos, y cuya producción implica grandes costos ambientales. Se estima que más del 50% de los costos de producción de pescado en piscicultura corresponden a los del alimento<sup>12</sup>.

Al reciclar el nitrógeno mediante el sistema de bioflócs, se reduce el vertimiento de nitrógeno amoniacal hacia las corrientes naturales, que en su mayor parte toma forma de amoniaco, el cual es tóxico para los peces en concentraciones a partir de entre 0.74 y 2.88 mg/L (Claude E. Boyd, Ref. B-14). Otra de las ventajas del sistema de bioflócs es que produce alimento continuamente, mientras que la alimentación tradicional solo se realiza unas dos veces al día, lo cual produce estrés sobre los peces y camarones.

Los sistemas de bioflócs actuales tienen las siguientes limitaciones:

a) Relación entre Carbono y Nitrógeno

El alimento para los organismos heterótrofos que conforman el bioflóc debe tener una adecuada relación C/N entre carbono (principal componente de los carbohidratos) y nitrógeno (principal componente de las proteínas). Durante la respiración de los peces y la descomposición anaeróbica de la materia orgánica, el carbono es convertido en CO<sub>2</sub> y metano, que son gases que salen hacia la atmosfera. Mientras tanto, la descomposición anaeróbica de las proteínas produce nitrógeno amoniacal que permanece generalmente en el agua en forma de ion amonio y amoniaco. Por esta razón, en la acuicultura tradicional con bioflócs el contenido de carbono es demasiado bajo, lo cual limita la producción de bioflócs, y además se tienen altas concentraciones de amoniaco, que no puede ser asimilado por los bioflócs por falta de carbono, y es tóxico para los peces.

b) Turbiedad.

---

<sup>11</sup> Yoram Avnimelech. "Tilapia Production Using Biofloc Technology (BFT)". Dept. of Civil & Environmental Eng. Technion, Israel Inst. Of Technology. Israel.  
[https://scholar.google.com.co/scholar?q=Avnimelech.+%E2%80%9CTilapia+Production+Using+BioFloc+Technology+\(BFT&hl=es&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar\)](https://scholar.google.com.co/scholar?q=Avnimelech.+%E2%80%9CTilapia+Production+Using+BioFloc+Technology+(BFT&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar))

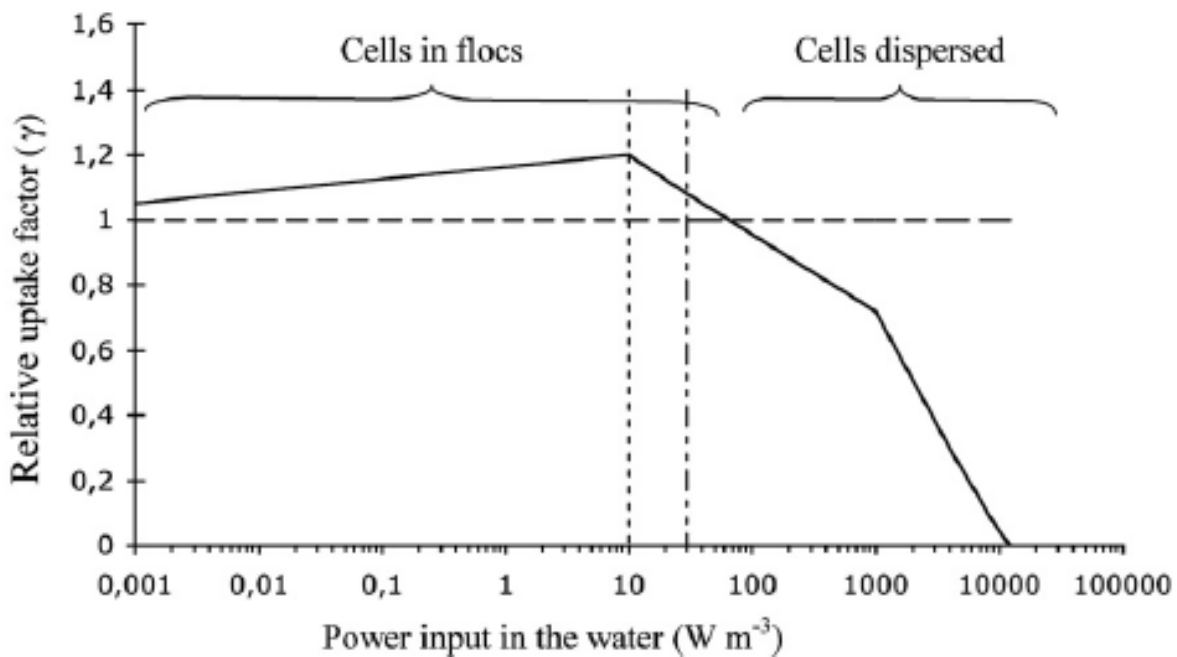
<sup>12</sup> Roselien Crab, Yoram Avnimelech, Tom Defoirdt, Peter Bossier y Willy Verstraete. "Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production". Science Direct. Elsevier. Mayo de 2.007.  
<https://biblio.ugent.be/publication/381943>

En los sistemas de bioflócs actuales, los detritos y otros elementos que actúan como bioportadores no tienen suficiente área superficial para desarrollar biopelículas que adsorban estos sólidos suspendidos, y controlar así la turbiedad. Como se aprecia en la Figura B-1 c) anterior, éstos bioflócs son muy frágiles y tienden a romperse por la acción de las paletas y rotores que se utilizan actualmente en la aireación (ver Numeral A-2.2). Al romperse los bioflócs, se genera turbiedad y se reduce el alimento disponible para peces y camarones adultos, a los cuales se les dificulta consumir bioflócs muy pequeños.

La turbiedad afecta los sistemas respiratorios de peces y camarones. Se considera que valores del orden de 500 mg/L son letales para los peces. En la siguiente figura se relaciona la intensidad de energía aplicada en vatios/m<sup>3</sup>, con el factor de absorción de la contaminación  $\gamma$  (Relative Uptake Factor), definido como la relación entre la absorción por las células ubicadas en bioflócs y la correspondiente a las células dispersas en el agua (P. De Schryver, et. al, Ref. B-7). Allí se observa que utilizando intensidades de energía de aireación de más de 10 vatios/m<sup>3</sup>, los bioflócs tienden a romperse, y la absorción de contaminantes realizada por éstos se reduce drásticamente. En el sistema de aireación de los estanques para tilapias, que se presenta en el Capítulo A-5, la energía específica es de 6.62 vatios/m<sup>3</sup>. En los estanques para camarones este valor es menor, puesto que tiene un tamaño mayor, y una bomba de potencia similar.

Figura B-2

Relación entre la Energía Específica aplicada en la Aireación y la Adsorción de Contaminantes por los Microorganismos



Fuente: P. De Schryver, et al. Ref. B-7

El bagazo de caña sobre el cual se desarrollan los bioflócs, que tiene una estructura de fibras de celulosa aglomeradas por lignina similar a la madera, que es bastante fuerte en

impide que se desintegren por la acción de la turbulencia. Además, el bagazo ofrece una consistencia porosa y flexible, donde la biopelícula no puede ser desplazada por la acción de la turbulencia. Esta biopelícula contiene sustancias pegajosas EPS, que le permite adsorber los sólidos suspendidos reduciendo la turbiedad en forma eficiente. Según Jamal Ali Kawan, en sistemas de biopelícula de lecho móvil con bioportadores similares a los bioflócs celulósicos, más del 90% de la biomasa se encuentra adherida a los bioportadores, y el resto son sólidos suspendidos<sup>13</sup>.

c) Suministro de Oxígeno y Mezcla con los Nutrientes

Los equipos de aireación más usados actualmente son los sistemas de paletas y splash. Como se indican en el Numeral A-2.2, estos equipos producen una mezcla que abarca solo un pequeño espacio del estanque, y no alcanzan hasta el fondo. Por lo tanto, no tienen capacidad de mantener en suspensión los bioflócs de mayor diámetro. En el fondo se crean zonas muertas, donde se acumulan los residuos orgánicos que se descomponen en condiciones anaeróbicas. Allí proliferan los patógeno y se generan amoníaco y anhídrido sulfuroso que son tóxicos. En aguas cálidas, el nitrógeno amoniacal es tóxico para los peces desde concentraciones entre 0.74 y 2.88 mg/L, y el anhídrido sulfuroso desde concentraciones entre 0.02 y 0.05 mg/L. La toxicidad para concentraciones que duran más de 4 días comienzan con valores de 0.05 a 0.15 mg/L para nitrógeno amoniacal, y de 0.002 mg/L para el anhídrido sulfuroso (Claude E. Boyd<sup>14</sup>). En el caso de la planta Parab, el nitrógeno amoniacal se elimina del agua manteniendo concentraciones de oxígeno de más de 4 mg/L (Yoram Avnimelech, Ref. B-11), y condiciones de mezcla y recirculación a través de un lecho de compostaje, que aseguran procesos aeróbicos de nitrificación muy eficientes.

Como se indica en el Numeral A-2.1, los sistemas de aireación con difusores de burbuja fina tienen buena transferencia de oxígeno al agua, pero carecen de las capacidades de distribuirlo en todo el estanque, y de mantener los bioflócs de mayor tamaño en suspensión. Por estas razones, no son los indicados para los sistemas de bioflócs celulósicos, a menos que se complementen con sistemas capaces de generar mezcla, como hélices que generan fujo o las boquillas de tubo transversal.

d) Escasez de Área de Bioportadores para el Desarrollo de la Biopelícula

Las bacterias heterótrofas, que constituyen la base de los bioflócs, requieren adherirse a superficies de bioportadores para poder desarrollarse. En los sistemas de bioflócs actuales, estos bioportadores son detritos tales como heces y residuos de alimentos, que

---

<sup>13</sup> Jamal Ali Kawan, Hassimi Abu Hasan, et al. "A Review on Sewage Treatment and Polishing Using Moving Bed Bioreactor (MBBR)". Taylor's University, School of Engineering. Journal of Engineering Science and Technology Vol. 11, 2.016.

[https://www.researchgate.net/publication/308138755\\_A\\_review\\_on\\_sewage\\_treatment\\_and\\_polishing\\_using\\_moving\\_bed\\_bioreactor\\_Mbbr](https://www.researchgate.net/publication/308138755_A_review_on_sewage_treatment_and_polishing_using_moving_bed_bioreactor_Mbbr)

<sup>14</sup> Claude E. Boyd. "Toxicidad de las sustancias químicas en la acuicultura". 2.019.

<https://www.aquaculturealliance.org/advocate/toxicidad-de-las-sustancias-quimicas-en-la-acuicultura/>



ofrecen escasa área para su desarrollo. Como consecuencia, muchas de las bacterias y del zooplancton se encuentran sueltos y en estado planctónico, y no pueden ser consumidas por los peces. Esta dificultad se subsana con la introducción de los bioflócs celulósicos producidos con bagazo de caña, que ofrece extensas áreas para el desarrollo de biopelículas (ver Capítulo B-6). Según P. K. Pandey et al (Ref. B-35), cada gramo de bagazo tiene 0.63 m<sup>2</sup> de superficies donde puede crecer la biopelícula.

### **B-2.3. Sistemas Intensivos RAS y Raceway**

En los sistemas actuales de acuicultura de peces y camarones mediante bioflócs se presentan los siguientes problemas:

- Mala distribución de oxígeno en el agua, que limita el crecimiento de las especies, y facilita la formación de zonas anaeróbicas donde se generan problemas sanitarios.
- Decantación de los bioflócs en el fondo, donde adquieren condiciones anaeróbicas que eliminan los organismos aeróbicos y se generan patógenos.
- Baja calidad del agua, que puede tener una alta turbiedad, y presencia de nitrógeno amoniacal y anhídrido sulfuroso, lo cual limita la tasa de crecimiento de peces y camarones, y la calidad del producto final.

Para subsanar estas deficiencias, actualmente se están implementando sistemas de acuicultura con recirculación del agua, llamados RAS por sus siglas en inglés Recirculating Aquaculture System. El sistema RAS no incluye procesos de bioflócs, y se utiliza principalmente en el cultivo de peces. En este sistema se utilizan sistemas avanzados de purificación de aguas tales como filtros mecánicos para remover sólidos suspendidos, desgasificadores para remover anhídrido sulfuroso y CO<sub>2</sub>, sistemas de biopelícula para nitrificar el amoníaco, y radiación ultravioleta para remover patógenos. La aireación recomendada es mediante la disolución de oxígeno puro

Otro sistema avanzado es el Raceway o Race Track, que se utiliza generalmente en el cultivo de camarones mediante sistemas de bioflócs. Este sistema consiste en un canal en forma de circuito cerrado, similar a una pista de carreras, que puede ser circular o rectangular, donde el flujo alcanza la velocidad necesaria para mantener los bioflócs en suspensión y distribuir el oxígeno. De esta forma se evitan las zonas muertas, donde los residuos orgánicos puedan acumularse en el fondo y descomponerse. Esto es importante considerando que los camarones viven cerca al fondo, y son muy sensibles a la contaminación y la falta de oxígeno. En ciertos puntos se deriva agua hacia sistemas de tratamiento, donde se remueven los sedimentos y el nitrógeno amoniacal que contiene, y luego se reincorpora al Raceway. De esta forma se mantiene una alta calidad del agua. La aireación generalmente se hace mediante una combinación de difusores de burbuja fina, con venturis, o con otro sistema que facilite la propulsión del agua a lo largo del circuito.

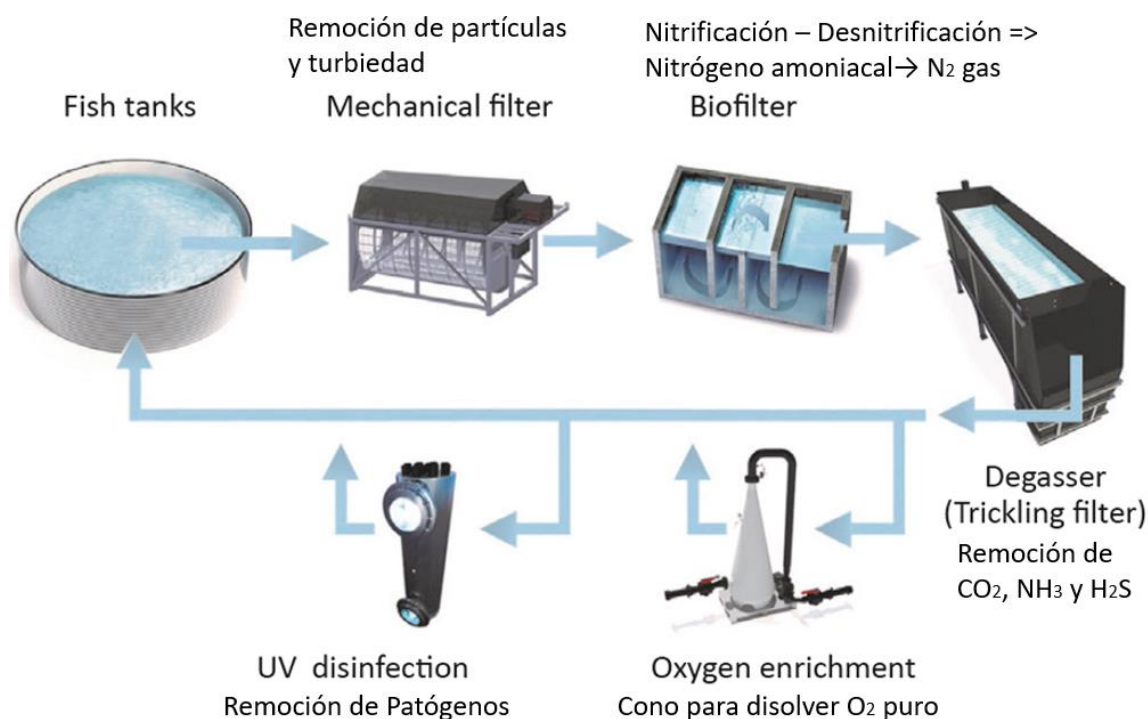
La adecuada oxigenación y la eliminación de toda la contaminación, permite a los sistemas RAS y Raceway tener una acuicultura super intensiva. Se estima que con el sistema de recirculación RAS se puede tener una carga de 50 a 300 Kg de peces por



metro cúbico<sup>15</sup>. Esto significa un incremento importante respecto al sistema de bioflócs tradicional, donde se tiene alrededor de 15 a 30 kg/m<sup>3</sup>, y al de estanques de acuicultura extensiva, donde solo se tiene de 1 a 2 Kg/m<sup>3</sup>.

Una limitante de los sistemas RAS y Raceway es que las altas densidades conllevan condiciones de stress en las especies cultivadas, que se traduce en baja tasa de crecimiento, y en un aumento en el Índice de Conversión Alimenticia (kilogramos de alimento requerido para obtener 1 kg de aumento de peso en los peces o camarones). En el caso de la planta de acuicultura propuesta, los bajos costos de los estanques de concreto proyectados reducen la necesidad de tener densidades muy altas, y éstas están determinadas esencialmente por la tasa de oxígeno que el sistema de aireación por boquillas de tubo transversal puede suministrar al volumen de agua del estanque, que se estima en 0.47 KgO<sub>2</sub>/h (Tabla B-7). La densidad máxima de tilapias en estas condiciones se estima en 25.48 Kg/m<sup>3</sup> (Tabla B-12). El estado de la técnica del sistema RAS se puede consultar en una guía publicada por la FAO<sup>16</sup>. En la siguiente figura se presenta el esquema recomendado en ese documento. En las figuras siguientes B-4 y B-5 se presentan los sistemas RAS y Raceway.

Figura B-3 Esquema del Sistema RAS (Recirculating Aquaculture System)



Fuente: Jacob Bregnballe FAO (2.015) Ref. B-16.

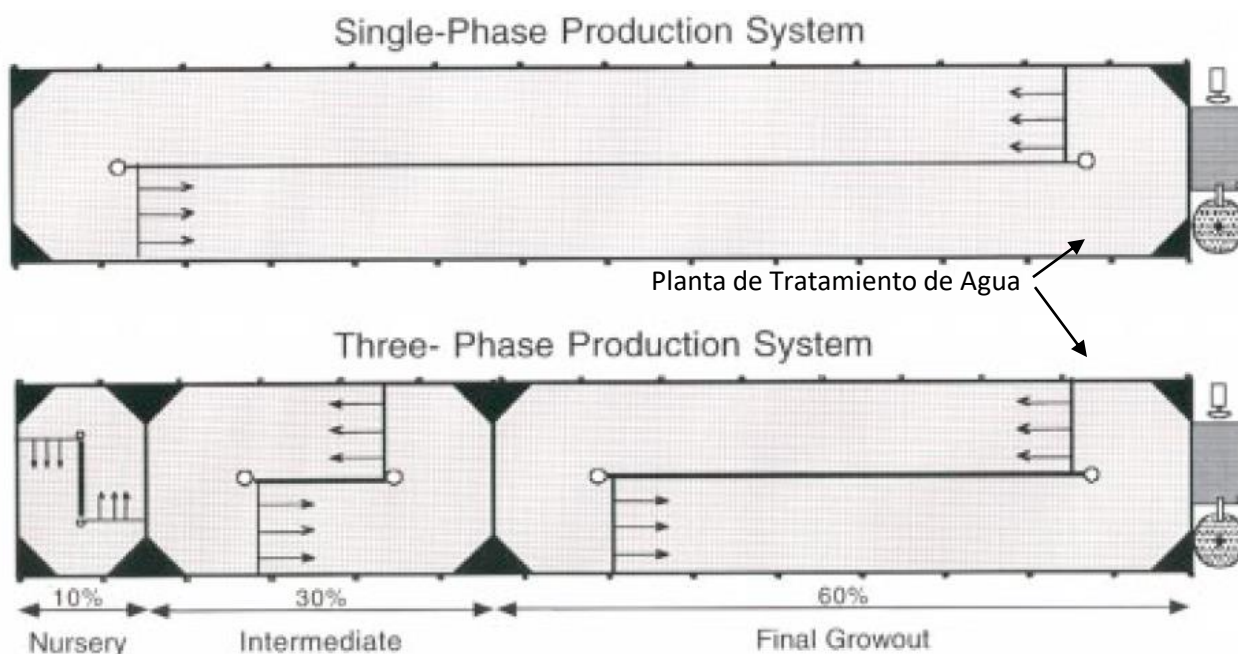
<sup>15</sup> Stirling Aquaculture. "Review of Recirculation Aquaculture System Technologies and their Commercial Application". University of Stirling. Reino Unido. 2.014.

<https://dspace.stir.ac.uk/handle/1893/21109#.YYVE3WDMlCs>

<sup>16</sup> Jacob Bregnballe.. "A Guide to Recirculation Aquaculture". Publicada por la FAO. 2.015.

<http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf>

Figura B-4. Esquema del Sistema de Raceway Propuesto por Peter M. Van Wyk para Cría de Camarones



Fuente: Peter M. Van Wyk. (Ref. B-80 Numeral B-9.6).

en

### **B-3. DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DE LA PLANTA PARAB**

La planta Parab (Planta de Acuicultura con Recirculación y Alimentación mediante Bioflócs), desarrollada por Increagua, es un sistema de producción de peces y camarones a partir de bioflócs, donde éstos son producidos en lechos de compostaje, a través los cuales se recircula el agua de los estanques para purificarla. Con este sistema se tienen las ventajas del RAS (Recirculating Aquaculture System) y del Raceway, los cuales permiten una producción intensiva de peces y camarones. Los lechos de compostaje están formados por bagazo de caña picado, que actúan como soporte de una biomasa que es muy eficiente en asimilar los nutrientes presentes en el agua. Esta biomasa recubre las partículas de bagazo para formar los bioflócs celulósicos, que cubren casi toda alimentación de peces y camarones. Esto reduce sustancialmente los costos de producción. La aireación de los estanques se hace en forma eficiente y económica mediante las boquillas de tubo transversal que se presentan en el Capítulo A-4 del Texto A. Dichas boquillas generan chorros que facilitan la distribución del oxígeno en todo el estanque, y además ponen en suspensión a los bioflócs, lo cual les facilita la asimilación de nutrientes del agua.

Las plantas de acuicultura que se presentan en este capítulo fueron desarrolladas para la cría de tilapias y camarones, que son las especies que tienen más demanda en los mercados nacionales e internacionales, pero se pueden adaptar para otras especies acuícolas. En el caso de las tilapias, la cría se recomienda hacerse en etapas de alevinos,

levante y engorde, de aproximadamente 2 meses de duración cada una, para un periodo total de cría de unos 6 meses.

Los sistemas de acuicultura tradicionales descritos en el Capítulo B-2.2 tienen varias limitaciones importantes. Como se observa en la Figura B-1 c) del Numeral B-2.2, los bioflócs son bastante frágiles, y la aireación que actualmente se hace en los estanques tienden a fragmentarlos en tamaños muy pequeños para ser consumidos por peces y camarones adultos. Esta fragmentación también genera sólidos suspendidos bastante finos que afecta el sistema respiratorio de estas especies. Con la tecnología de bioflócs actual, éstos cubren solo un 30% de las necesidades de los peces y camarones, mientras que con los bioflócs celulósicos que se proponen, se podría cubrir casi el 100% de dichas necesidades.

Para mejorar la acuicultura con bioflócs, Increagua ha desarrollado la planta Parab, en la cual el agua de los estanques se recircula a través de un sistema de lechos de compostaje formados por bagazo de caña picado. En este proceso se desarrolla una biopelícula alrededor del bagazo. Esto se hace a través de un proceso de nitrificación heterótrofa, que produce una biomasa rica en proteínas a partir de los siguientes elementos:

- Oxígeno tomado directamente del aire que se encuentra dentro del compost.
- Nutrientes que contaminan el agua de los estanques, tales como el nitrógeno amoniacal, fósforo y potasio.
- Otros nutrientes que se añaden para obtener una biomasa adecuada para la alimentación de peces y camarones, tales como nitrógeno adicional, fósforo, potasio y calcio.
- Carbono procedente del jugo de caña, que contiene sacarosa y otros azúcares, y de la descomposición del bagazo y las hojas de la caña.

Estos elementos son asimilados por microorganismos que conforman la biopelícula, tales como hongos, zooplancton y levaduras, entre las cuales se encuentra la levadura de cerveza que juega un papel importante en la acuicultura.

Como se indica en el Capítulo B-6, el bagazo de caña tiene alto contenido de celulosa que le da la durabilidad suficiente para actuar como bioportador, y su estructura fibrosa ofrece un área superficial óptima para la formación de bioflócs, debido a que su porosidad y flexibilidad le permite albergar gran cantidad de biomasa, y evitar que esta se erosione por los choques entre partículas. Esto es similar a lo que ocurre con los bioportadores de espuma de poliuretano que se describen en el Numeral C-2.3. Los poros ofrecen refugios para la colonización de las bacterias heterótrofas, y la flexibilidad previene la erosión debida a los choques entre bioflócs, como ocurre en los bioportadores de espuma de poliuretano, que desarrollan biopelículas gruesas como se indica en el Numeral C-2.2. Las tilapias tienen microorganismos celulolíticos en su tracto intestinal, que les permiten digerir la celulosa en forma similar a los rumiantes, y por lo tanto ésta se constituye en otra fuente de carbono. El papel de los organismos celulíticos en convertir el bagazo de

caña en una fuente de carbono muy adecuada para la acuicultura se trata en un artículo de Wei Ren et al. (Ref. B-37).

El lecho de compostaje es un sistema de biopelícula de lecho fijo similar al filtro percolador, donde el oxígeno es tomado directamente del aire que se encuentra dentro del compost, y no del que está disuelto en el agua, como ocurre en los procesos de lecho móvil que se tiene en los sistemas de bioflócs actuales. Por tanto, para transferir oxígeno al agua no se requiere un equipo de aireación, ni la energía que éste consume.

La producción de los bioflócs se hace en 2 etapas. En la primera etapa se recircula una solución de nutrientes a través de un lecho de compostaje formado por bagazo de caña picado. Para ello se emplea una bomba que toma del agua de un pozo de nutrientes, y la distribuye en el lecho mediante un sistema de riego. Este sistema utiliza aspersores de hélice que se describen en el Capítulo F-3. La alta porosidad del bagazo facilita el flujo de agua y aire a través de éste durante el proceso de formación de los bioflócs. En el pozo se adicionan el jugo de caña que proviene del trapiche donde se obtiene, y una solución de nutrientes que contiene abonos químicos de uso agrícola, tales como la urea que aporta nitrógeno, el abono triple 15 que aporta nitrógeno, fósforo, potasio y azufre (ver Ref. B-26 de Capítulo B-5), y la cal agrícola (carbonato de calcio) que aporta calcio y alcalinidad. De esta manera se suplen las necesidades de estos elementos, que son requeridos de acuerdo a la Tabla B-3 del manual de la FAO sobre la alimentación de peces y camarones (Ref. B-25 del Capítulo B-5). Según este manual, los requerimientos de magnesio de los peces es de máximo 0.6% de la alimentación, que pueden ser suplidos por la caña de azúcar (ver Román Jiménez, Ref. B-29).

El pozo de nutrientes se inocula con dos especies importantes para la alimentación de peces y camarones, y que se producen a través de procesos de fermentación alcohólica de la caña de azúcar que ocurre allí. Una de estas especies es la levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*), que contiene bastante proteína, potasio, ácidos grasos omega 6 (ver Tabla B-20 del Numeral B-9.2), y diversos aminoácidos, tales como las vitaminas.

En segundo lugar se encuentra las bacterias *Corynebacterium glutamicum*., que utilizan la vitamina B1 generada por la lavadura de cerveza para producir lisina, que es un nutriente fundamental para la acuicultura, que los bioflócs solo suministran el 62% del requerido de acuerdo a la Tabla B-3 del capítulo B-5. Actualmente, la lisina es provista en los concentrados por la torta de soya. Ambas especies son facultativas, y por lo tanto se desarrollan bien en el proceso de recirculación entre el pozo de nutrientes, que tienen condiciones anaeróbicas, y el lecho de compostaje que tiene condiciones aeróbicas. Para la producir lisina se requiere añadir vitamina B7 y B1, llamadas biotina y tiamina respectivamente. La levadura de cerveza puede proveer la tiamina, pero es necesario añadir la biotina.

La lisina y la levadura se incorporan a la biopelícula que se desarrolla sobre los bioflócs, debido a su consistencia pegajosa, o también pueden ser asimilados por la gran variedad de organismos que crece allí. La levadura puede decantarse en el fondo de los estanques, lo cual facilita su consumo por parte de los peces y camarones.

En la segunda etapa, los bioflócs producidos en el proceso anterior se llevan a un filtro percolador, a través del cual se recircula el agua de los estanques. El agua es tomada del sistema de recirculación de los estanques que los airea, como se aprecia en las figuras B-9 y B-10, por una tubería de que la conduce por gravedad desde el fondo de los estanques hasta el filtro percolador. De esta manera se lleva hasta allí los residuos acumulados en los estanques. El agua se distribuye en el filtro percolador a través de aspersores de hélice. Esta recirculación entre el filtro percolador y los estanques permite que los nutrientes, y los sólidos suspendidos que contiene el agua, sean incorporados a los bioflócs que se desarrollan en el filtro percolador, y que el agua los estanques sea purificada.

El filtro de bagazo de caña es muy eficiente en la purificación de las aguas procedentes de la acuicultura, de acuerdo al estudio de Kishore K. Krishnani et al (Ref. B-34 del Capítulo B-6). El riego del lecho de compostaje con el agua de los estanques facilita su inoculación con bacterias, protozoos, levaduras y otros microorganismos importantes para el desarrollo del compostaje, que esencialmente son los mismos que constituyen la biota de los cuerpos de agua aeróbicos.

La conducción de los estanques hasta el pozo de nutrientes se hace por gravedad, a través de un ramal que sale de la tubería que conecta el fondo de los estanques con la bomba. Al finalizar el periodo de formación de 7 días, estos bioflócs son llevados en canastas hasta los estanques, donde continúan su desarrollo asimilando nutrientes y sólidos suspendidos, hasta que son consumidos por peces y camarones.

El agua de los estanques se distribuye en los bioflócs contenidos en el filtro percolador mediante un sistema de riego que utiliza aspersores de hélice. Este riego facilita el desarrollo de biopelículas sobre los bioflócs, con las cuales se remueve eficientemente el nitrógeno amoniacal, los sólidos suspendidos, y otros contaminantes generados dentro del estanque por las heces y la respiración de los peces y camarones. Todos estos elementos son incorporados en biomasa de alto valor nutritivo para peces y camarones. Con estos procesos se logra una purificación del agua de los estanques similar a la que ocurre en los sistemas RAS, y se mejora la alimentación de peces y camarones, todo ello con una importante reducción de costos.

El pozo de recirculación está provisto de un sistema de bombeo que tiene por objeto evacuar los excesos de agua hacia el cultivo de caña, y evitar que el pozo se desborde. En este cultivo se utilizan tanto el agua como los nutrientes que contiene para el desarrollo de dicha caña. Este sistema de bombeo se puede reemplazar por un vertedero ubicado en la pared del pozo y un canal, cuando sea posible conducir por gravedad el exceso de agua hacia el cultivo.

A continuación, los bioflócs son llevados a los estanques mediante canastas plásticas, donde la biomasa de los bioflócs puede seguir desarrollándose en un sistema de biopelícula de lecho móvil, hasta que dichos bioflócs son consumidos por peces o camarones. Los bioflócs son distribuidos en el estanque mediante un tobogán, para que lleguen hasta la zona de turbulencia ocasionada por las boquillas de tubo transversal, donde se mantienen en suspensión, y en contacto con los nutrientes y el oxígeno. De esta



forma, en el filtro percolador hecho con bagazo de caña se realiza un proceso de biopelícula de lecho fijo, mientras que en los estanques ocurre un proceso de biopelícula de lecho móvil, que facilita el desarrollo de los bioflócs que se encuentran en suspensión, que también contribuye a remover el nitrógeno amoniacal, convirtiéndolo en biomasa

En las siguientes figuras se presentan los diagramas del ecosistema del estanque y de la planta de acuicultura Parab propuesta. En el Capítulo B-6 describen el lecho de compostaje y el filtro percolador, donde se producen los bioflócs celulósicos.

Figura B-5. Esquema del Ecosistema de la Acuicultura Propuesta

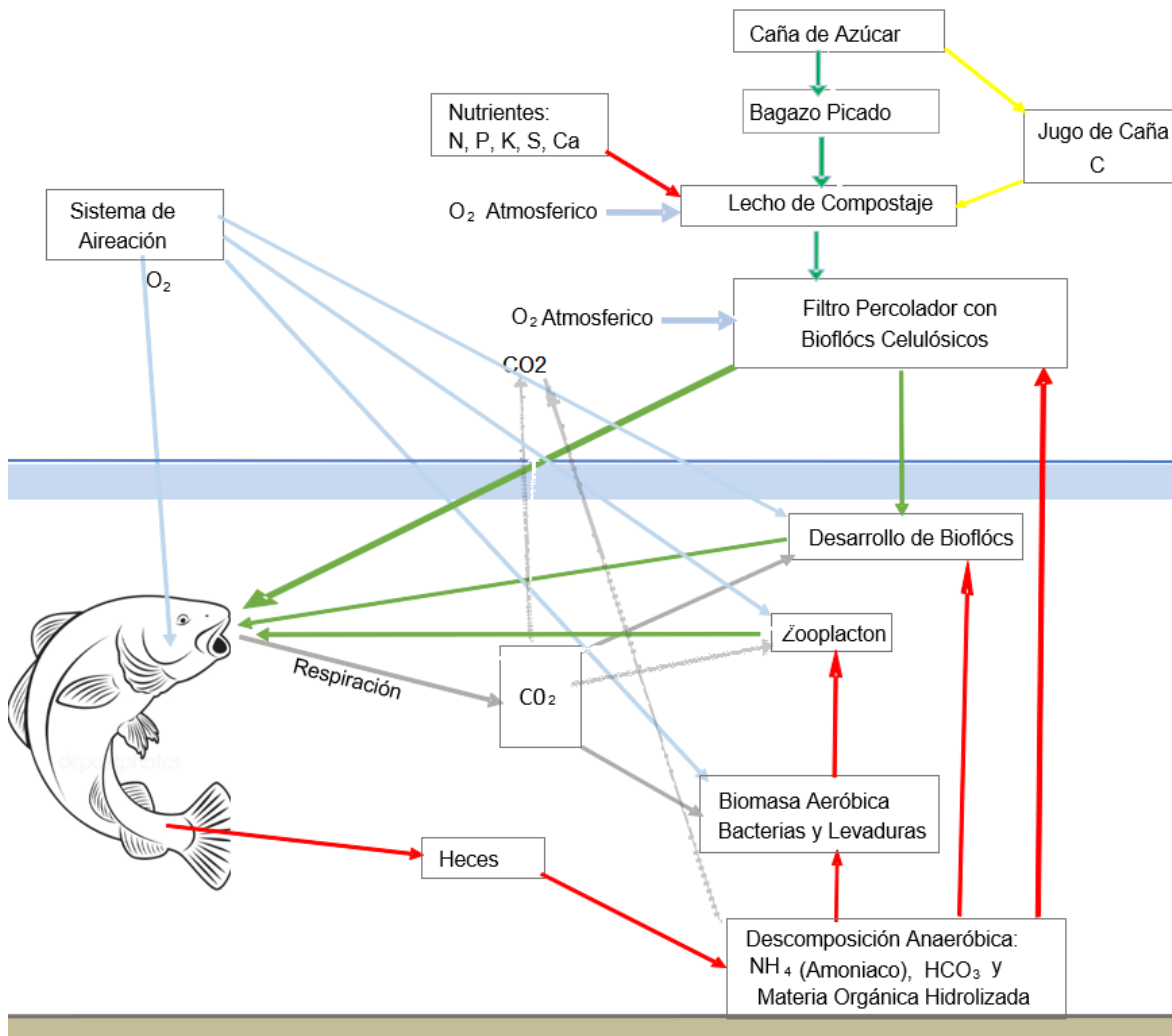
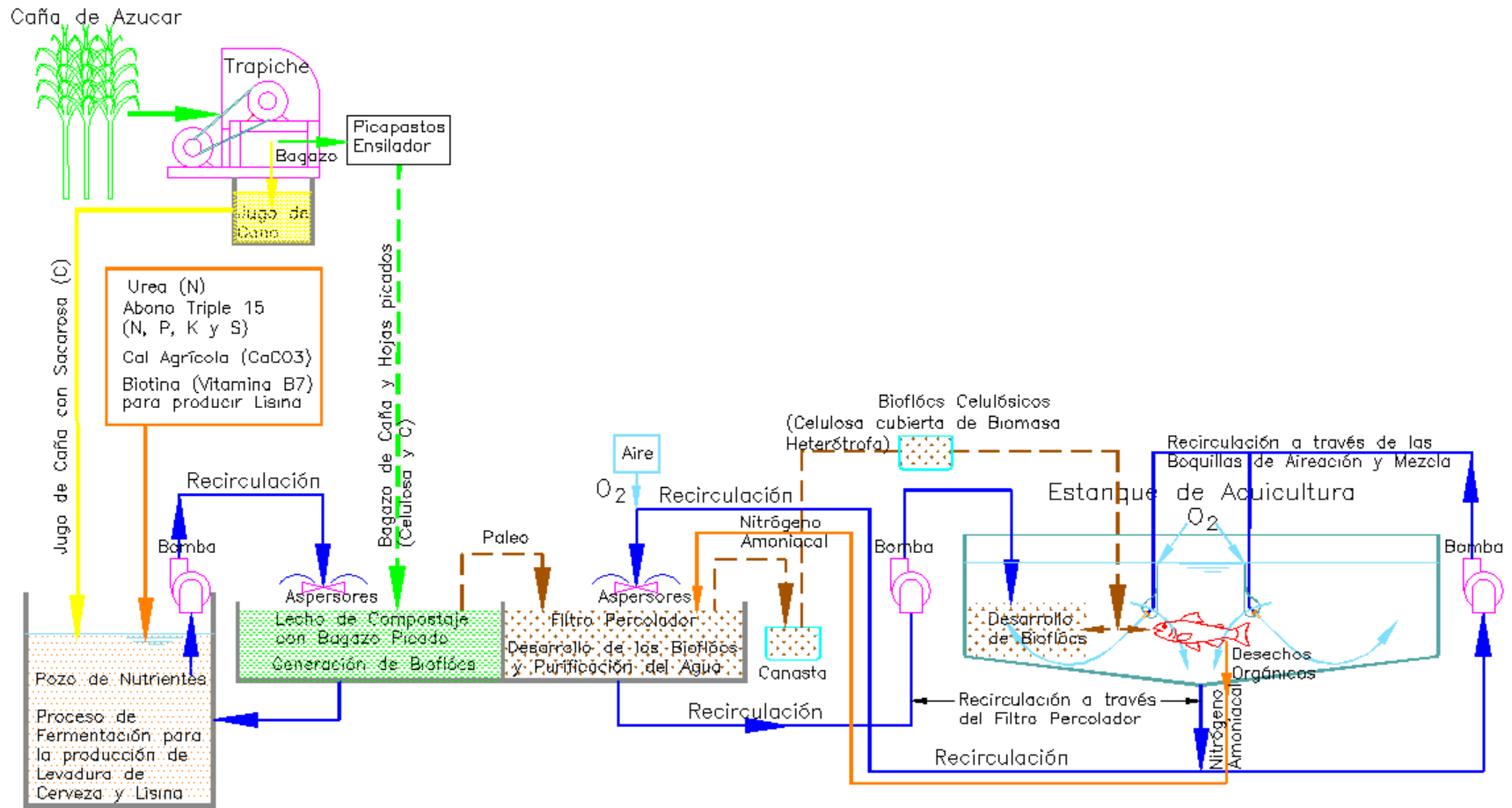


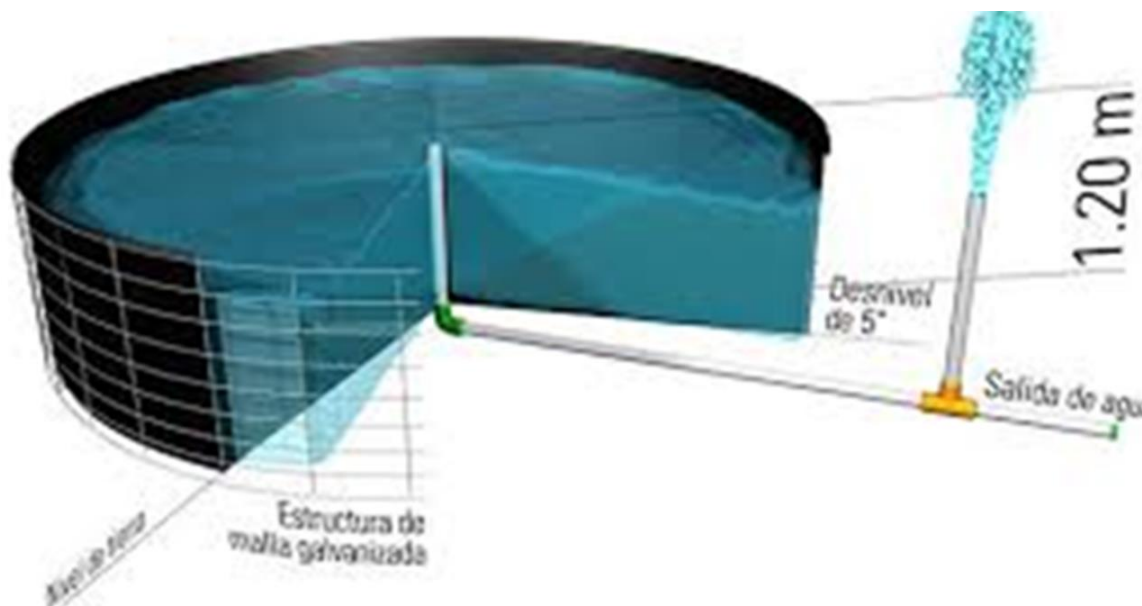
Figura B-6. Esquema de la Producción de Bioflócs y Tratamiento del Agua en la Planta de Acuicultura Parab





Para la cría de tilapias y camarones se recomienda utilizar estanques octogonales de concreto, que pueden ser construidos con las formaletas y los procedimientos descritos en el Capítulo F-4. También existe la posibilidad de utilizar estanques de geomembrana de polietileno de alta densidad HDPE de 9 m de diámetro, que tienen un diseño similar, y son construidos por empresas especializadas a precios económicos. Estos estanques se muestran en la siguiente figura.

Figura B-7 Estanque de Polietileno de Alta Densidad Utilizado Actualmente



Fuente: <https://www.geosai.com/estanques-de-geomembrana/>

El fondo de los estanques de concreto propuestos tiene una pendiente de 5% hacia el centro, donde se encuentra la salida hacia la bomba que recircula el agua a través de boquillas de tubo transversal, las cuales realizan los procesos de aireación y mezcla en el estanque. La pendiente del fondo facilita la salida de los sedimentos hacia dicha salida, lo cual facilita que éstos sean conducidos hacia el filtro percolador, donde son asimilados por los bioflócs. Sobre la salida del estanque se coloca una rejilla triangular doble que impide la entrada de elementos gruesos al sistema de aireación, que pueden obstruir las boquillas. Esta rejilla se describe en el Numeral F-5.3 y se muestra en la Figura F-26.

Las jaulas estarán constituidas por una estructura metálica o de madera forrada en sus costados por una malla plástica, la cual debe tener aberturas que impidan la salida de los alevinos o post larvas, pero que facilite la circulación del agua. El fondo estaría constituido por geomembrana u otro material que recoja el alimento decantado. La jaula deberá estar cubierta por una malla plástica para evitar la depredación por parte de las aves, y la salida de las especies cuando el nivel en el estanque suba sobre ésta. Esta malla puede tener en sus extremos barras de hierro, que modo que el peso de éstas la mantenga en su lugar.

Otro de los equipos que se colocarían dentro de los estanques, es el tobogán que se utilizaría para la alimentación de los peces y camarones. Este consiste en un canal en lámina metálica. Uno de sus extremos se coloca sobre el borde del estanque y el otro sobre del fondo del estanque. Los bioflócs se traen en canastas plásticas desde el lecho de compostaje, y se vierten en el tobogán, por donde se deslizan hasta llegar a una zona del estanque donde los chorros del sistema de aireación los ponen en suspensión. Con esto se evita que el alimento se acumule al pie de las paredes del estanque, donde puede adquirir condiciones anaeróbicas que induzcan la producción de patógenos, debido a las condiciones de reposo anaeróbicas que se presentan allí.

Para realizar la recolección de los peces del estanque, se recomienda retirar los toboganes y la parrilla de aireación. Esta última está conectada a la bomba mediante una manguera, que facilita el traslado sin tener que desconectarla. En la etapa final de cría se pueden cosechar los peces de mayor talla para reducir la densidad y facilitar el crecimiento de los peces más pequeños, de forma que estos alcancen la talla especificada. Esto se reduce el consumo de oxígeno, que en esta etapa es crítico.

Actualmente, para implementar las etapas de desarrollo en los sistemas de acuicultura se trasladan peces o camarones de un estanque al otro mediante labores de pesca, las cuales causan estrés y mortandad en éstos. Dichas labores requieren considerable mano de obra, que realiza una ardua labor. Para resolver esta situación, se recomienda realizar la etapa de alevinos o post larvas en jaulas ubicadas en el estanque de levante, mientras que en otro estanque se llevaría a cabo la etapa de engorde. Las etapas para la cría de las tilapias se resumen a continuación:

Etapa 1. Una vez cosechados los peces en el estanque de engorde, se colocan allí las jaulas, y luego los nuevos alevinos dentro de ellas. En este estanque se vierten los alevinos que se criaron en el otro estanque, que ahora pasan a ser juveniles. Los juveniles que estaban en el segundo estanque pasan a la etapa de engorde.

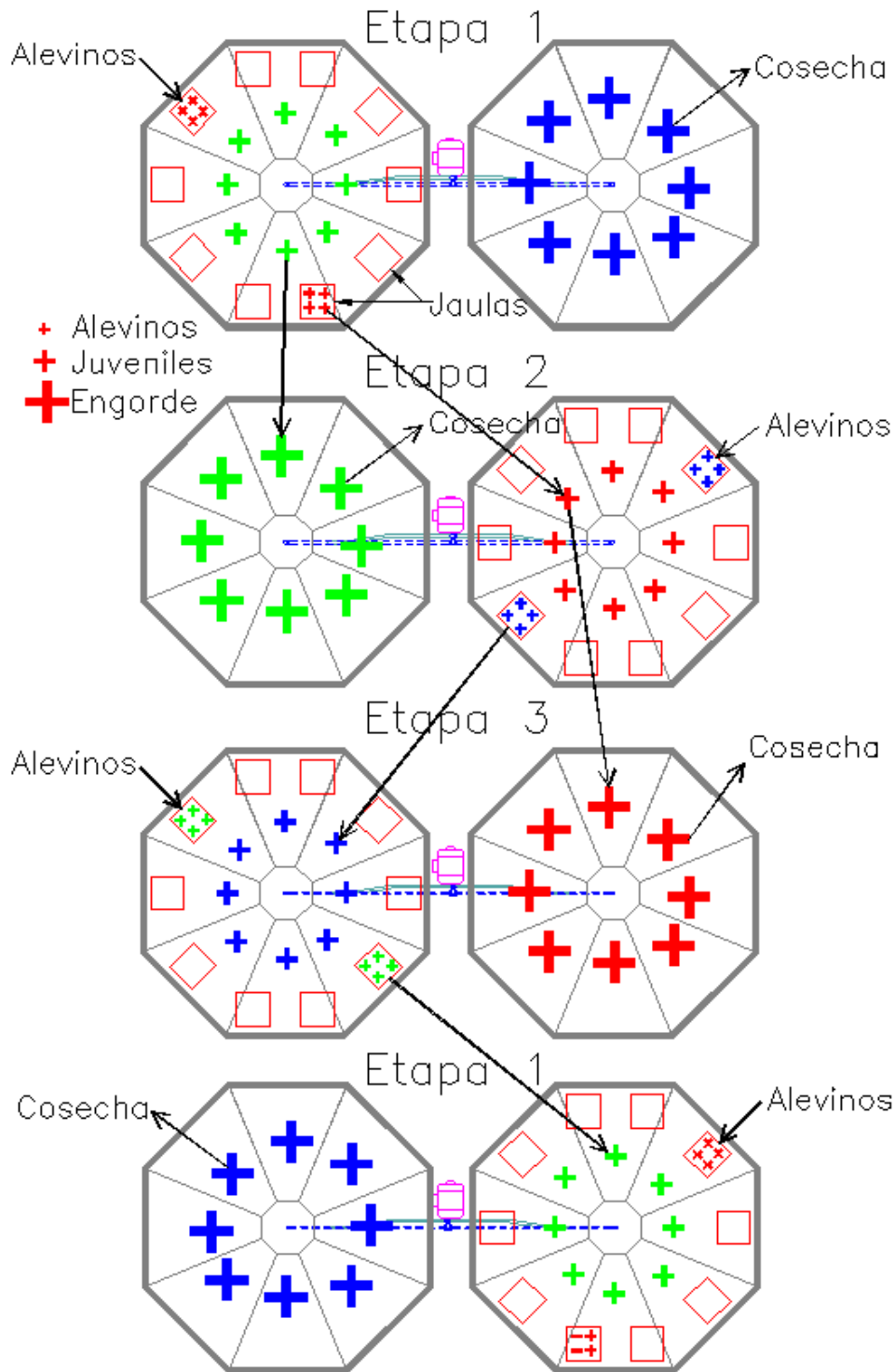
Etapa 2. En el segundo estanque se cosechan los peces, y allí se colocan los alevinos que estaban en jaulas en primer estanque, los cuales pasan a la etapa de juveniles. Esas jaulas se colocan en este mismo estanque para recibir nuevos alevinos.

Etapa 3. Los alevinos de las jaulas anteriores vierten en el primer estanque, y se colocan allí para recibir nuevos alevinos. Mientras tanto, en el segundo estanque los juveniles pasan a la etapa de engorde sin cambiarlos de sitio.

De esta forma, en un estanque se encuentran los alevinos y juveniles, mientras que en el otro están los peces de engorde, y cada dos meses se rotan los papeles. Las operaciones descritas se pueden ser realizada por 4 personas, que realizan labores sencillas en poco tiempo, y no produce mayor estrés en los peces o camarones

Las operaciones anteriores correspondiente a las 3 etapas se muestran en el diagrama de la figura a continuación.

Figura B-8. Etapas en la Cría de Tilapias y Camarones en los Estanques de cada Módulo



Para el policultivo de camarones con tilapias que se trata en el Capítulo B-9 también se tienen las anteriores etapas, pero en este caso su duración es de 1.5 meses.

A continuación se describen las labores que deben realizarse en las diferentes etapas

- Desocupado de los Estanques de Engorde.

Para ello es necesario apagar la bomba del sistema de aireación, y cerrar la válvula que aísla los estanques de engorde de los estanques alevinos y levante, para evitar que salga el agua de éstos, que continúan funcionando normalmente (ver figuras B-8, B-11 y B-12).

A continuación, se abre la válvula que desagüa los estanques de engorde hacia el pozo de recirculación. Allí el nivel de agua sube, hasta alcanzar el nivel que activa una bomba autocebante provista de una tubería que la lleva el exceso de agua hacia el cultivo de caña. Es importante que la válvula de desagüe del estanque se abra paulatinamente para evitar que se sobrepase la capacidad de la bomba. Este sistema de bombeo toma el agua del fondo a través de una rejilla triangular, y arrastra los sólidos suspendidos que se decantan allí, para llevarlos a dicho cultivo. Cuando la topografía del terreno lo permite, existe la alternativa de que estos excesos de agua se evacúen por gravedad, mediante un vertedero hecho en la pared del tanque, que los entregue a un canal que los lleve al cultivo de caña. La rejilla triangular, recomendada para la tubería de succión de la bomba, se presenta en la Figura F-26 del Numeral F-5.3.

Con el objeto de utilizar en el cultivo esta agua y los nutrientes que contiene, se cierran las compuertas ubicadas en los zanjones que lo drenan, de tal manera que dicha agua se represe, y se produzca su infiltración en el terreno, y que los lodos suspendidos se decanten en los zanjones. Luego estos lodos pueden ser paleados hacia el cultivo. De esta forma, se aprovechan los nutrientes en fertilizar el cultivo, y se evita que éstos contaminen las corrientes naturales agua abajo.

- Recolección de Peces

Luego del vaciado de los estanques de engorde, se recogen los peces, utilizando para ello las mismas canastas empleadas para transportar los bioflócs. Para facilitar esta labor, es necesario retirar la parrilla de aireación del estanque, la cual está conectada con una manguera flexible a la bomba del sistema de aireación.

- Llenado Parcial de los Estanques de Engorde

Luego de la recolección de los peces en los estanques de engorde, se cierra la válvula de vaciado de éstos en el pozo de recirculación, y se abre la válvula que los intercomunica con los demás estanques (ver Figura B-12). Esto hace pase agua de los estanques que estaban llenos hacia los que han sido vaciados, y que los niveles de todos los tanques llegan hasta la mitad de la profundidad normal. Esto no constituye ningún problema, puesto que los peces se encuentran al inicio de un nuevo ciclo, y su cantidad de biomasa es reducida. La reducción de nivel del agua facilita la etapa que se describe a continuación.

Durante el llenado parcial se recomienda añadir el cloruro de sodio que hace parte del saneamiento que se requiere, como se indica en el Capítulo B-5 (Fernando Kubitz, Ref. B-26 del Capítulo B-5). Para el diseño se recomiendan concentraciones de 3 gr/L para el estanque lleno, o sea que en la etapa de llenado parcial se tendrían concentraciones de alrededor de 6 mg/L de sal, que son apropiadas para controlar las infecciones en las branquias y la piel de los alevinos y peces de levante que se desarrollaran en este estanque. El trasvase de agua del otro estanque, también permite que el estanque donde se inicia el ciclo sea inoculado con las especies de plancton, levaduras y otros microorganismos importantes para la alimentación.

- Traslado de Alevinos y Colocación de Jaulas con los Nuevos.

Las jaulas con los alevinos que se encuentran dentro del antiguo estanque de levante (ahora de engorde), son llevadas hasta los estanques donde se han cosechado los peces de engorde, donde son vertidos y se convierten en juveniles en levante. A continuación, las jaulas se instalan allí, y en ellas se colocan nuevos alevinos. Para facilitar su distribución en las jaulas, es importante que número de éstos por jaula corresponda a un múltiplo de las unidades contenidas por bolsa, de tal manera que a cada jaula corresponda un número entero de bolsas.

- Llenado Total de los Estanques de Engorde

Esta operación se hace trayendo agua desde las fuentes para alcanzar el nivel mínimo de operación, que es necesario para que se produzca la recirculación a través del filtro percolador. Para prevenir el desbordamiento de los estanques, se colocan tubos de rebose verticales en entrada en el pozo de recirculación de las tuberías que vienen de los estanques, de tal forma que los reboses caigan sobre éste. Este rebose se aprecia en la Figura B-13.

A continuación, se presentan los diseños de las diferentes estructuras de la planta de acuicultura para el cultivo de tilapias.

Figura B-9. Vista General de la Planta Parab para cultivo de Tilapias

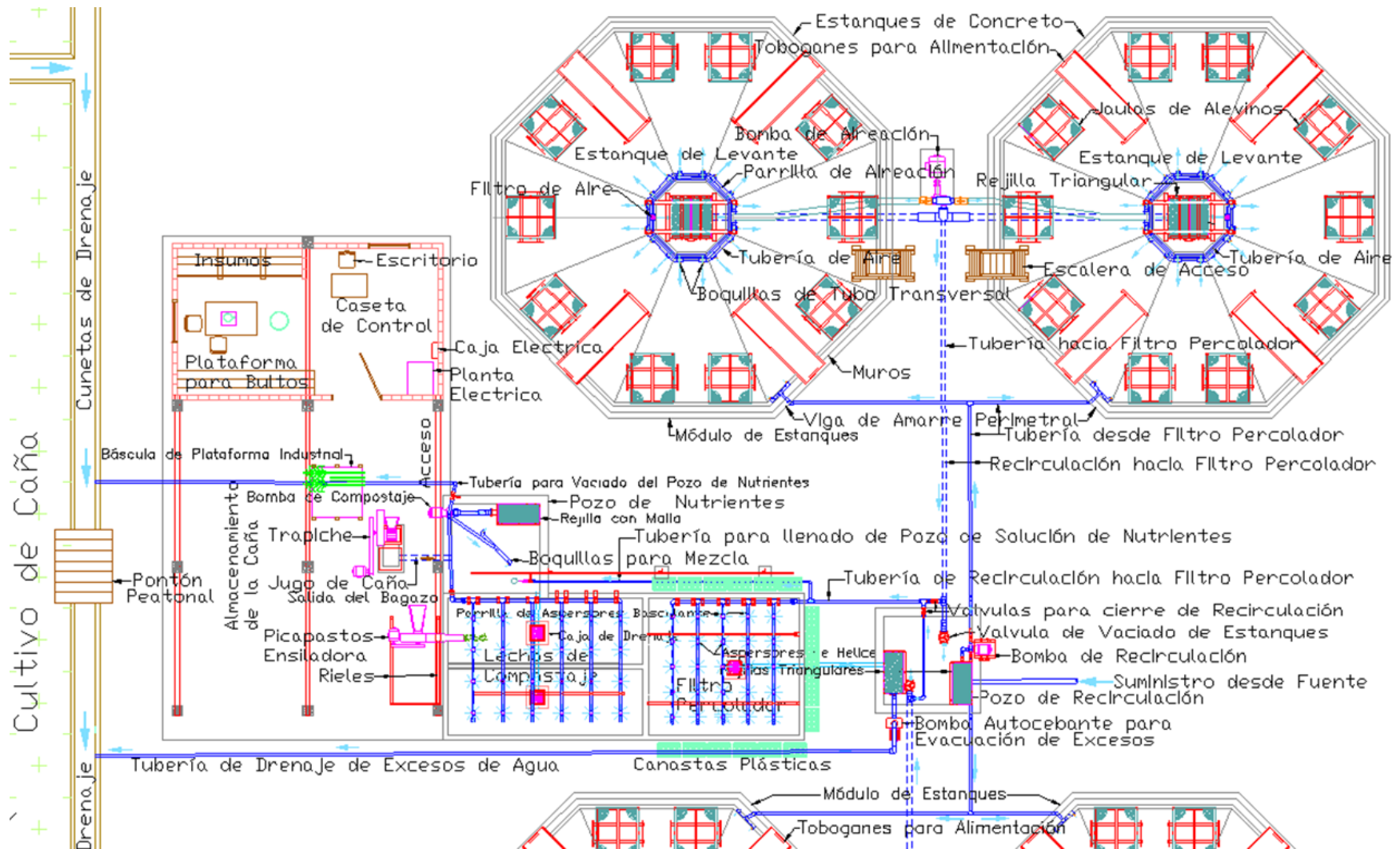




Figura B-10 - Vista en Planta de un Módulo de Estanques para la Cría de Tilapias

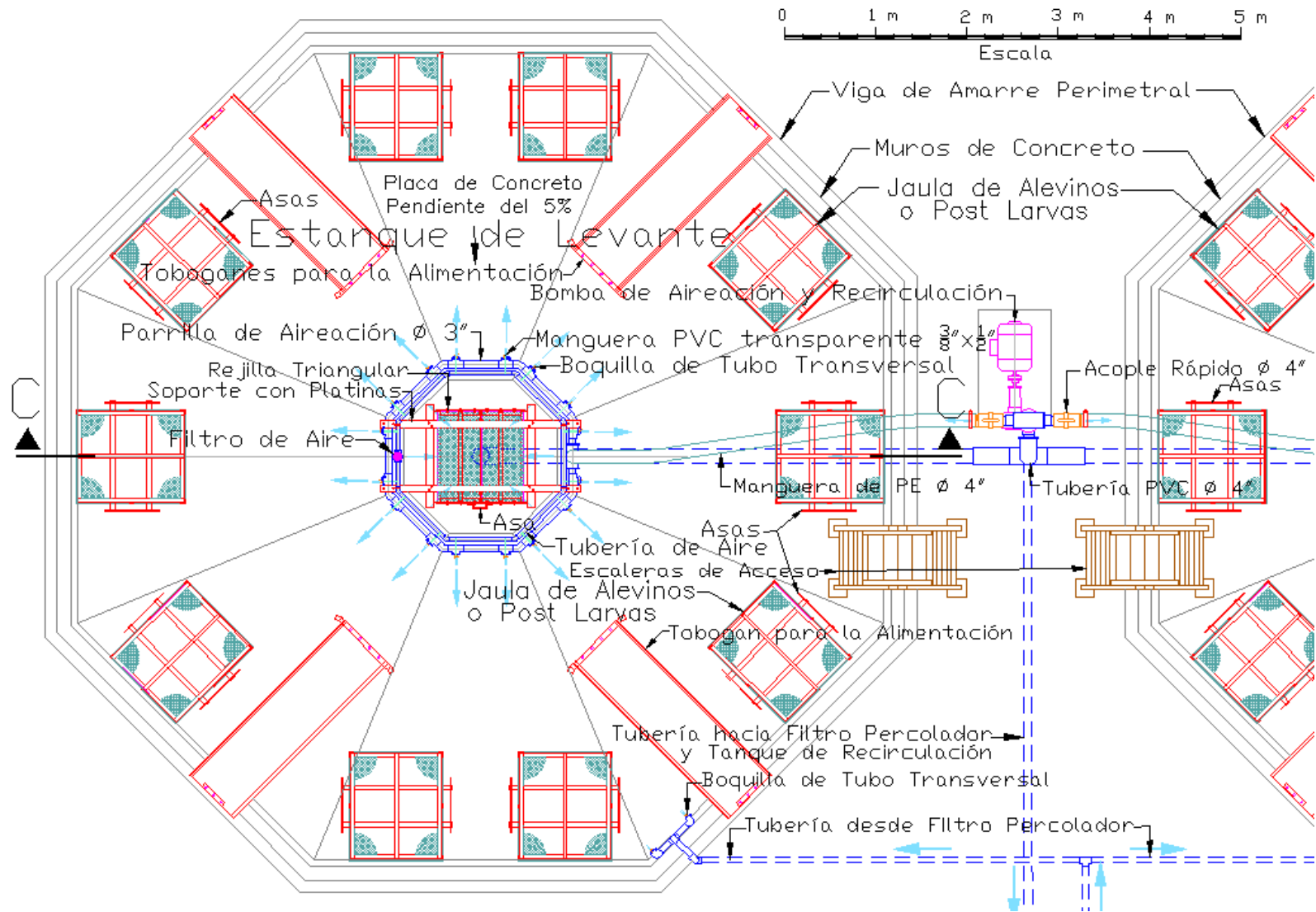




Figura B-11. Vista del Corte C-C del Estanque para la Cría de Tilapias

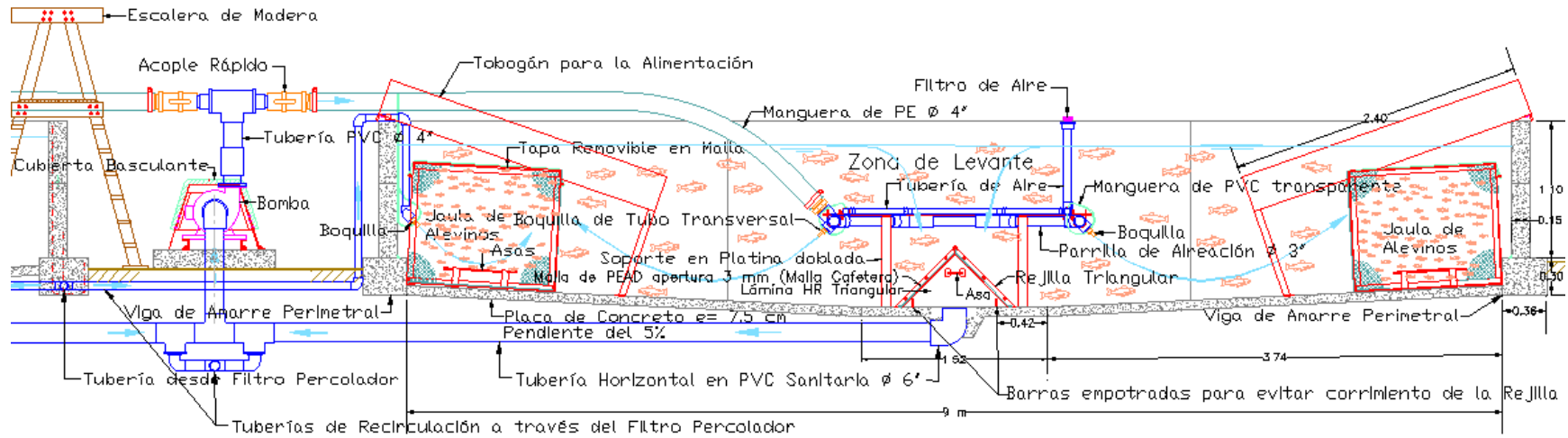


Figura B-12- Lechos de Compostaje y Filtro Percolador, y sus Sistemas de Recirculación - Vista en Planta

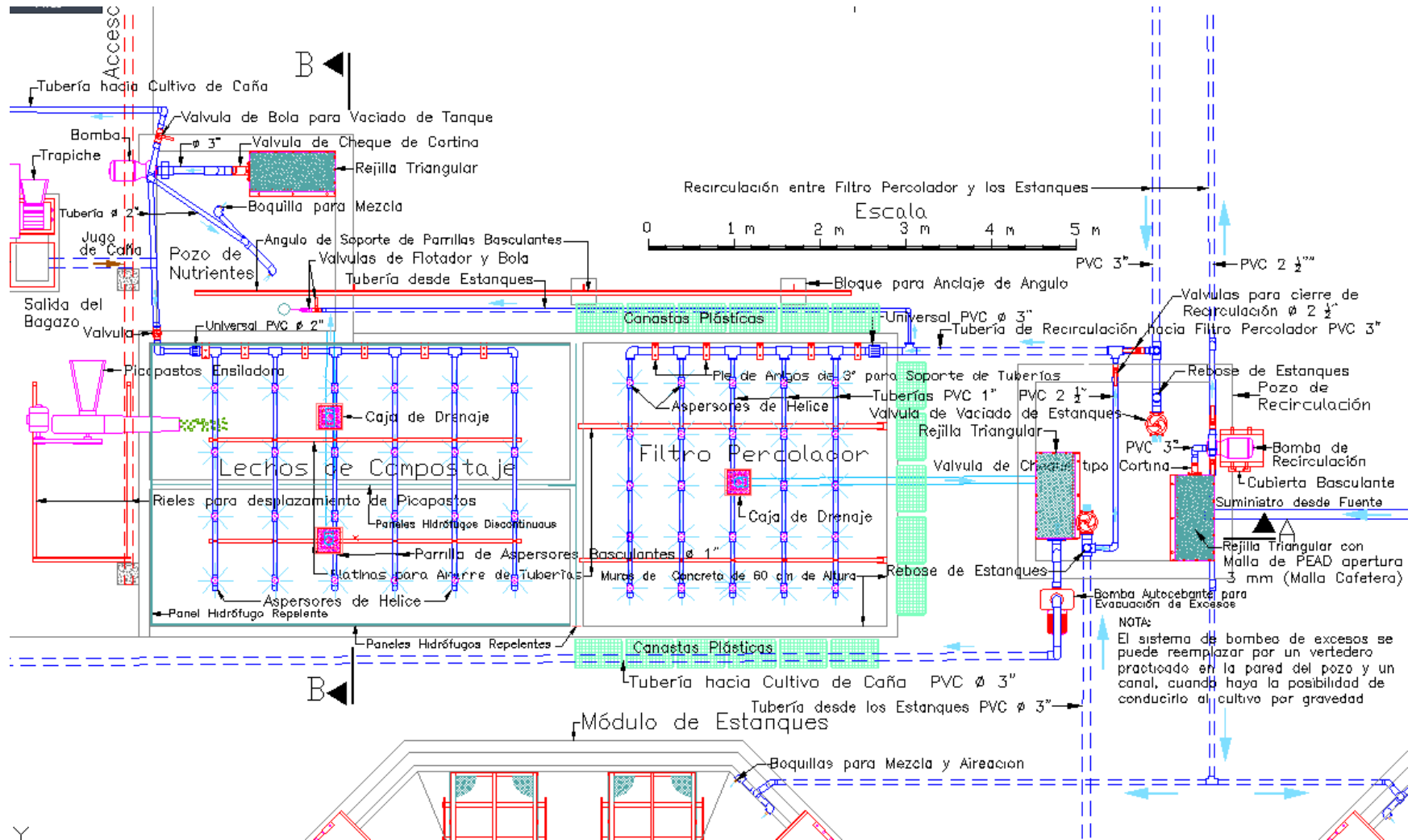


Figura B-13 - Vista del Perfil Longitudinal A-A del Lecho de Compostaje y el Filtro Percolador

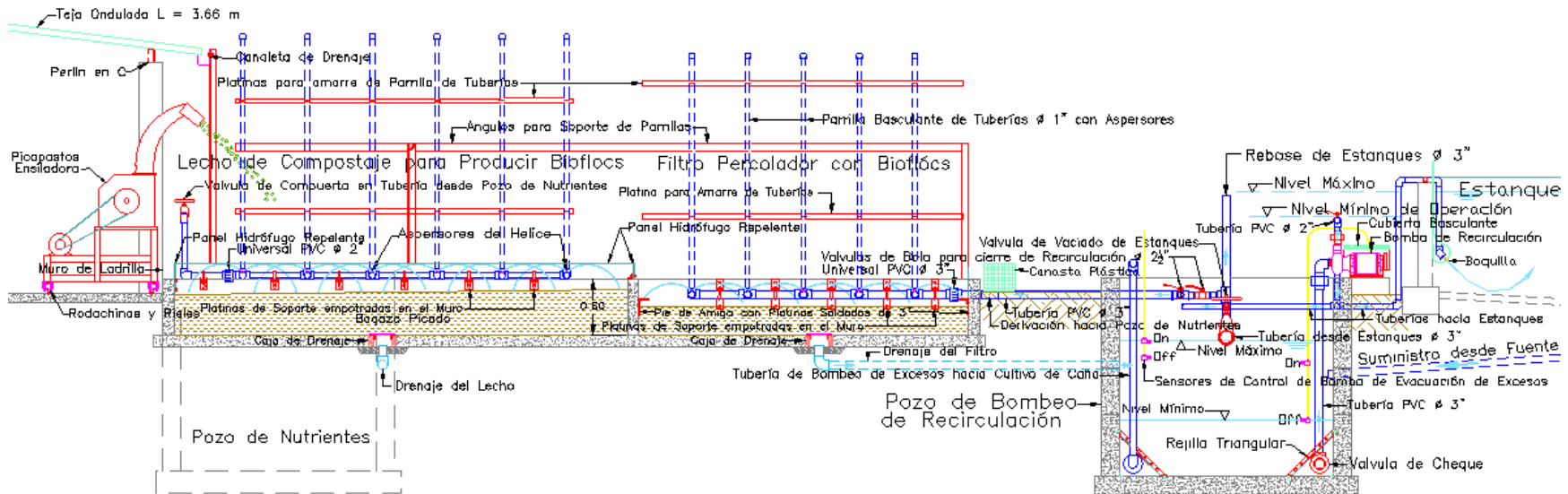


Figura B-14 - Vista del Corte B-B del Pozo de Nutrientes

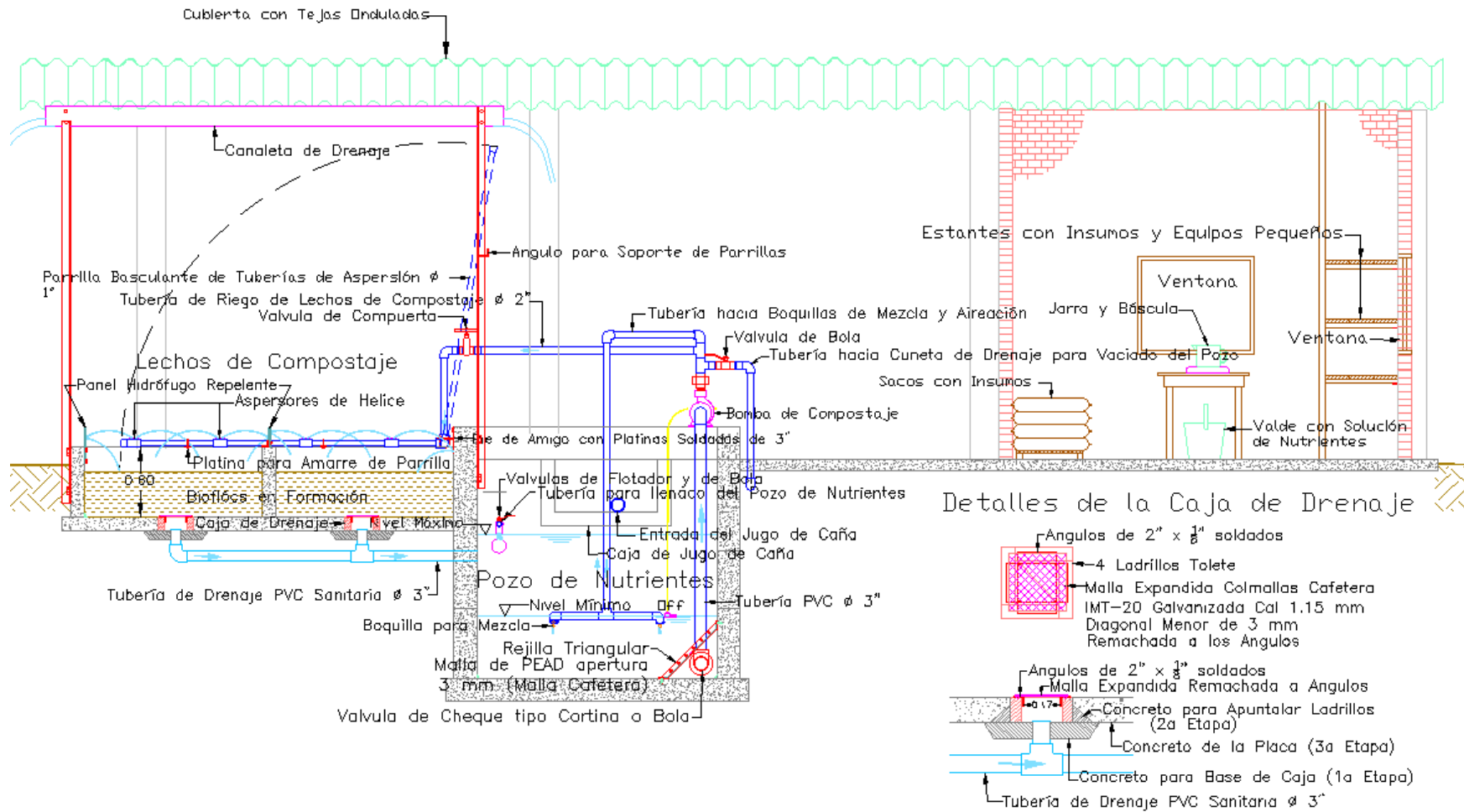
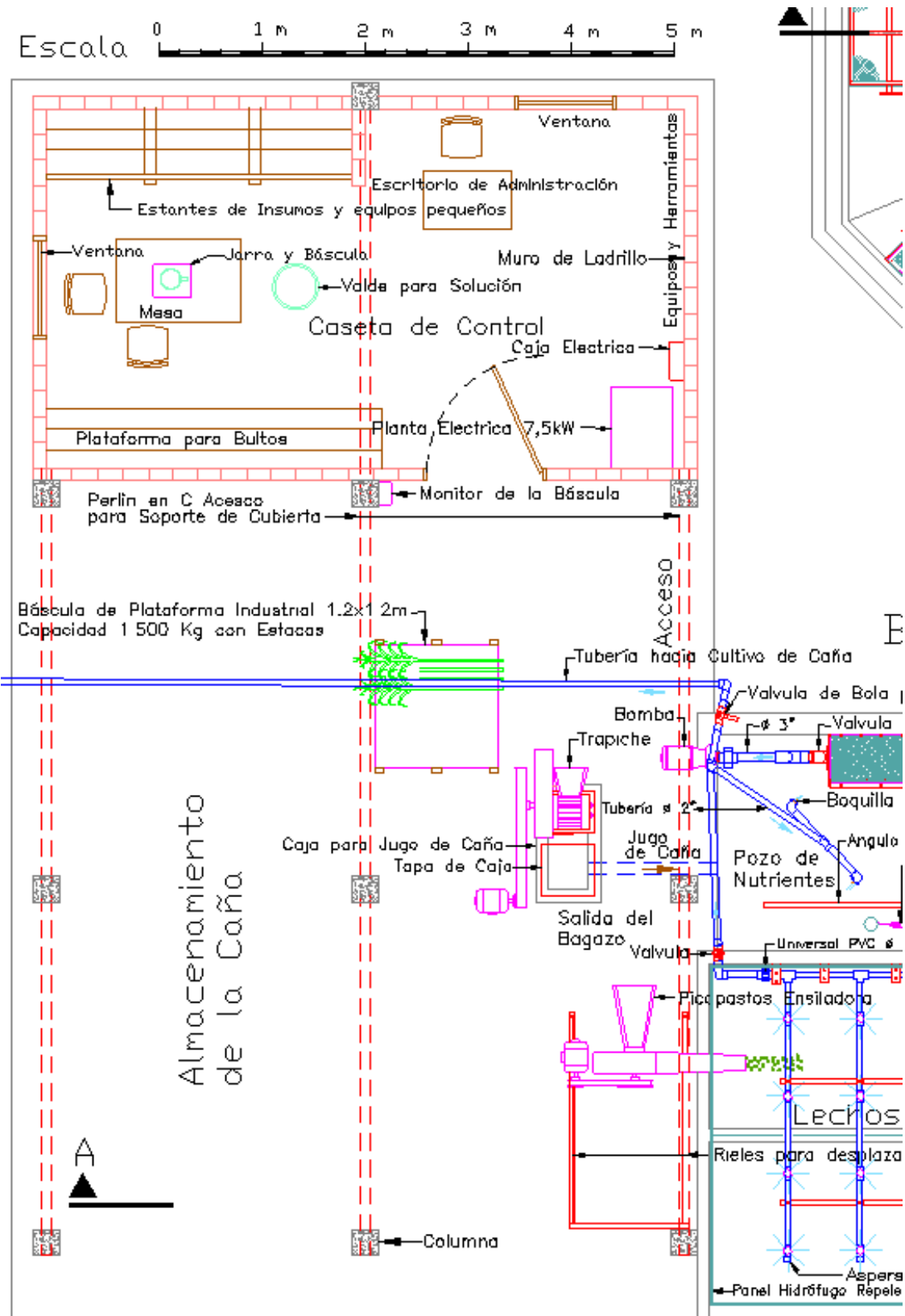


Figura B-15 - Vista en Planta de la Caseta de Control y Almacenamiento de Insumos



La acuicultura mediante el sistema de bioflócs celulósicos descrito tiene las siguientes ventajas:

- Se puede obtener una calidad de agua muy alta en los estanques, similar al de los sistemas RAS, lo cual permite tener altas densidades de peces y camarones. Los sistemas de tratamiento mediante biopelícula son los más utilizados en las plantas RAS, debido a su efectividad en remover nitrógeno amoniacal y turbiedad.
- En el lecho de compostaje se podría producir casi la totalidad de la alimentación de las especies acuáticas, con lo cual se reduce sustancialmente este costo, que normalmente representa más de 50% de los costos de producción totales.
- El consumo de energía se reduce debido a que la producción de bioflócs no requiere sistemas de aireación electromecánicos, puesto que dichos bioflócs toman el oxígeno directamente del aire que se encuentra dentro del lecho de compostaje. Para producir 1 Kg de biomasa heterótrofa de los bioflócs dentro del estanque, se consume 0.52 Kg de oxígeno disuelto en el agua, según la Ecuación C-1. Normalmente, este oxígeno transfiere al agua mediante el sistema de aireación, que tiene importantes costos de equipos y de energía. La alta porosidad del bagazo, que constituye el lecho de compostaje, facilita el acceso del aire y del oxígeno a las bacterias que realizan el proceso de nitrificación heterótrofa para producir la biomasa.
- El filtro percolador también funciona como un sistema de aireación adicional para los estanques, puesto que se produce una transferencia de oxígeno del aire al agua cuando fluye a través de éste. Según el estudio de IMTA (Ref. B-30 del Capítulo B-6), a su paso por el lecho de compostaje, el contenido de oxígeno disuelto en el agua se incrementa en alrededor de 2 mg/L. Mediante estos procesos de compostaje se puede producir la mayor parte del alimento que requieren las especies a cultivar, excepto el de los alevinos y las post larvas de camarón, que pueden requerir suplementación con concentrados, debido a sus requerimientos nutricionales altos en proteína, y a su gran densidad en las jaulas donde se crían. La alimentación de las tilapias y y camarones en sus etapas iniciales de desarrollo también se puede hacer mediante el cultivo de zooplancton en los estanques (ver Capítulo B-5), que puede ser complementado con el suministro de un concentrado elaborado con desechos de fileteado de las tilapias, que se trata en el Capítulo B-8.



#### **B-4. CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA PARAB**

El estanque de acuicultura tendrá una forma octogonal, con lo cual se reduce la longitud de los muros, y se facilita el proceso de aireación mediante la parrilla de boquillas de turbo transversal, que genera chorros dispuestos en forma radial desde el centro hacia afuera. El drenaje se realiza a través de una tubería, cuya entrada está ubicada en la parte central del fondo del estanque. Este fondo tiene una pendiente de 5% hacia la entrada de la tubería de desagüe, lo cual facilita la salida de los sólidos suspendidos que se decantan allí.

Como se indica en el Capítulo B-7, el movimiento del agua producido por las boquillas de tubo transversal, que producen chorros hacia afuera, y por la salida del estanque, ubicada en el fondo, genera un movimiento circular que abarca todo el estanque, como se aprecia en la Figura B-11 del capítulo anterior, con lo cual distribuye el oxígeno en todo el volumen de agua.

Para la construcción de los estanques en concreto se seguirán las guías que se encuentran en el Capítulo F-4. Las siguientes son las etapas de dicha construcción:

##### 1- Instalación de la tubería de desagüe

Esta es una tubería de PVC sanitaria de 6" de diámetro que conduce el agua desde el fondo del estanque hasta la succión de la bomba, que luego la recircula hacia éste a través de las boquillas de tubo transversal. Es necesario que los dos tubos que componen esta tubería tengan una pendiente de cero para que los codos de salida desde los dos estanques estén a la misma altura. Para la construcción de los estanques se toma como referencia dichos codos de salida. De esta forma se garantiza que los dos estanques tengan la misma altura, y por lo tanto el mismo nivel de agua, puesto que se encuentran intercomunicados. Durante la construcción es importante tapar los codos de salida de los estanques, para evitar la entrada a la tubería de objetos que posteriormente puedan afectar la bomba. Esto se puede hacer colocando el soporte de la tabla giratoria, que se describe posteriormente, que funciona como tapón, como se aprecia en la Figura B-16.

##### 2- Hincado de las estacas de referencia de la estructura del estanque utilizando una tabla giratoria, y colocación de las formaletas de la viga de amarre

La tabla giratoria se encuentra ubicada sobre un soporte colocado en el codo de salida del estanque. Este soporte está formado por accesorios de PVC, y se encuentra adosado sin pegante a dicho codo (ver las figuras B-16 y B-17). La tabla tiene una perforación de 2 ½" en su extremo, a través del cual pasa un tubo de PVC de 2", lo cual le permite girar alrededor de éste con bastante holgura, sin que su inclinación quede restringida. El tubo de PVC se encuentra atravesado por una barra de hierro, que actúa como asa para facilitar la colocación del soporte en el codo y su retiro.

El extremo externo de la tabla llega hasta los puntos donde se encuentran los vértices de la viga de amarre, los cuales se señalizan mediante estacas de madera. Estas estacas se colocan a 10 cm de los vértices, para evitar que interfieran con las formaletas que se requieren para fundir el bloque de anclaje. En la Figuras B-17 se muestra la distancia L

entre el eje de giro de la tabla y su extremo, donde se coloca la estaca. El valor de L está determinado por la siguiente ecuación:

$$L = B / (2 \times \text{coseno}(22.5^\circ)) \quad \text{Ecuación B-4}$$

Si el ancho B del estanque es de 9 m, el valor de L es de 4.87 m. Las estacas se colocan a una distancia **d** entre ellas, que sería de 3.73 m, según la siguiente ecuación que la determina:

$$d = 2 \times L \times \text{seno}(22.5^\circ) \quad \text{Ecuación B-5}$$

Las estacas en el extremo de la tabla indican los vértices de la viga de amarre, y a partir de ellas se colocan las formaletas exteriores del bloque. Las primeras estacas por ubicar son las que están cerca a la bomba. Estas estacas deben estar a una distancia de  $d/2$  de la tubería que conecta el centro del tanque con la bomba, y la línea que las une debe ser perpendicular a dicha tubería, como se observa en la Figura B-17. A continuación, se colocan las demás estacas. Las estacas deben formar un octágono de lados iguales con ángulos de  $45^\circ$ . Inicialmente éstas se hincan a escasa profundidad, y luego se hacen los ajustes de sus posiciones hasta obtener dicho octágono. A continuación se hincan las estacas a mayor profundidad.

Simultáneamente con esta operación, se excava todo el terreno comprendido entre las estacas hasta el nivel de la cimentación del bloque perimetral, que es el mismo nivel del apoyo de las formaletas que lo conforman. El nivel del borde superior de las formaletas interiores debe ser igual al del apoyo de la tabla en su eje, y por lo tanto, dicha tabla debe estar horizontal cuando se apoya sobre el borde superior de la formaleta. Esto se verifica con un nivel de burbuja colocado sobre la tabla. Las operaciones anteriores se repitan hasta que quedan colocadas correctamente las formaletas interiores. Las formaletas están formadas por láminas metálicas dobladas en L, que se traslapan para obtener la longitud requerida. Cada una de las formaletas interiores debe tener un extremo sobre la formaleta ya colocada. El extremo de la primera formaleta se ubica a 10 cm de la estaca que delimita la esquina, en sentido hacia el centro del tanque. Estas formaletas se hacen con láminas HR dobladas, y protegidas contra la corrosión.

Durante la colocación de las estacas exteriores que delimitan la viga de amarre, también se colocan las estacas interiores que delimitan el extremo inferior de las placas inclinadas que conforman el fondo del estanque. En el sitio donde se ubica la estaca, la tabla tiene una perforación de 1" de diámetro, a través de la cual pasa una barra de hierro lisa, la cual se utiliza para hincar estaca de madera, que se coloca debajo de la tabla, lo cual se hace golpeando la barra con un mazo. Esta barra tiene una ranura, y la estaca se hincan hasta cuando dicha ranura haya llegado hasta el nivel de la cara superior de la tabla, lo cual indica que el extremo superior de la estaca está al nivel de la base de la placa horizontal ubicada en el centro del fondo del estanque. La altura entre el nivel de la cimentación de la placa central y la cara inferior de la tabla es de 49 cm, que sumada al espesor de ésta corresponde a la altura de la marca en la barra. Simultáneamente con el hincado de las estacas, se realiza la excavación del área entre ellas hasta el nivel superior de dichas estacas, y de esta forma se deja conformada la superficie donde se funde la

placa central de estanque. Las estacas interiores servirán de guía para la colocación de las formaletas que se utilizan para fundir las placas inclinadas ubicadas entre los muros y la placa central del fondo.

### 3- Construcción de la viga de amarre perimetral y de los muros

Una vez colocadas las formaletas interiores, se coloca un relleno sobre las alas horizontales para estabilizarlas. A continuación, se colocan las formaletas exteriores a la distancia determinada por el ancho de la viga de amarre perimetral, y se estabilizan de la misma forma.

Luego se coloca una capa de 6 cm de concreto con agregado grueso, y una vez comienza a fraguar, se coloca el refuerzo de la viga de amarre perimetral, consistente en 4 barras de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro amarradas por estribos de  $\frac{3}{8}$ " cada 20 cm. A esta armadura se amarran las mallas electrosoldadas que constituyen el refuerzo de los muros. Estas mallas se unen entre sí en las esquinas mediante alambres que amarran los hierros verticales de los extremos de las mallas. Las mallas se traslapan en la parte central de los muros, y allí también se amarran mediante alambres. Este refuerzo se indica en las figuras B-16 y B-18, y consiste en mallas de acero electrosoldadas, y barras horizontales de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro dobladas a  $45^\circ$  que las sujetan en las esquinas. Las mallas y las barras se encuentran amarrados entre sí con alambre negro, y las mallas descansan sobre ladrillos tolete. Posteriormente se funde la viga de amarre perimetral, y luego se retiran las formaletas y los rellenos que las fijan.

A continuación, se colocan las formaletas para el fraguado de los muros, cuya construcción se realiza de acuerdo con lo indicado en el Capítulo F-4. Para construir la primera capa del muro, se fijan las formaletas a la viga de amarre mediante ángulos de hierro de 3", los cuales se fijan a dicho bloque mediante chazos empotrados en éste, y a la formaleta mediante tornillos de  $\frac{1}{4}$ ", que se fijan a los agujeros donde se colocan las barras roscadas. El borde de los ángulos coincide con la cara interior de la viga de amarre. En las esquinas del muro se colocan formaletas diseñadas especialmente, las cuales tienen dobleces a  $45^\circ$ , y longitudes adecuadas para empatar las demás formaletas (ver figuras B-16 y B-18). Para acceder al interior del estanque es necesario utilizar una escalera en A, debido a que las mallas de acero de refuerzo generan una barrera para la movilidad.

El refuerzo recomendado fue definido mediante cálculos estructurales, en los cuales se hicieron dos comprobaciones. En la primera se asume que el muro actúa como un ducto vertical sometido a fuerzas de presión hidrostáticas. En este caso el tanque se considera dividido por un plano vertical que pasa por su centro, y la presión hidrostática total sobre este plano debe ser soportada por los hierros horizontales de los muros de la viga de amarre perimetral. En la segunda comprobación se analizaron los hierros verticales, los cuales están sujetos tensiones debidas al momento sobre la base de los muros debidas a la presión hidrostática del agua sobre ellos, considerando el muro actúa como una placa en voladizo. Estos cálculos se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla B-2. Cálculo Estructural de Pared del Estanque en Concreto

<b>Parámetros del Hierro de Refuerzo</b>		
Resistencia a la tensión del acero	$f_y$	4.200 Kg/cm <sup>2</sup>
		420 Mpa
Resistencia a la compresión	$f'_c$	210 Kg/cm <sup>2</sup>
		1.485 Psi
<b>Parámetros de la Malla Electrosoldada</b>		
Referencia de malla electrosoldada		Ferrasa D-221
Diámetro del hierro	$\emptyset$	0,65 cm
Separación en ambos sentidos		0,15 m

**Comprobación de los hierros horizontales, que resisten la presión del agua hacia afuera, considerando el tanque como un ducto vertical**

Ancho del tanque		9,00 m
Profundidad del tanque		1,12 m
Presión total sobre sección del muro		5,64 ton
Ancho de la Malla		1,30
No hierros por malla		9 u
Area hierros		2,87 cm <sup>2</sup>
Area de sección vertical de concreto		0,17 m <sup>2</sup>
Cuántía	$>0,0014 \text{ cm}^2/\text{cm}^2$	0,0017 cm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>
Resistencia a de tensión	$T = A_s \cdot f_y$	12,07 Ton
No de barras $\emptyset 1/2"$ de refuerzo de la viga de amarre perimetral		4 u
Area hierros		5,06 cm <sup>2</sup>
Area seccional de la viga de amarre perimetral		0,11 m <sup>2</sup>
Cuántía requerida para control de retracción y temperatura		0,0014 cm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>
Cuántía	$>0,0014 \text{ cm}^2/\text{cm}^2$	0,0047 cm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>
Resistencia a de tensión	$T = A_s \cdot f_y$	21,27 Ton
Resistencia a de tensión total		33,34 Ton
Factor de Seguridad		5,91

**Comprobación de los hierros verticales, que resisten el momento generado por la presión hidrostática sobre los muros**

<b>Análisis del Momento del Agua sobre el Muro</b>	
Altura de Tanque	1,12 m
Ancho del muro	0,15 m
Profundidad máxima del flujo en la base del muro	1,12 m
Largo de sección <span style="float: right;">b</span>	1 m
Fuerza sobre muro por carga hidráulica	0,63 Ton
Momento en base del muro por carga hidráulica	0,23 Ton*m
	234 Kg-m
Recubrimiento	0,05 m
Distancia hierro- cara de pared <span style="float: right;">d</span>	10,00 cm
Area sección	1.500 cm <sup>2</sup>
Traslapo entre Mallas <span style="float: right;">d</span>	0,90 cm
Longitud de Malla Traslapada	3,76 m
No de hierros por metro	8,26 u
Area seccional de la barra	0,33 cm <sup>2</sup>
Area hierros	2,74 cm <sup>2</sup> /m
Cuantía <span style="float: right;"><math>&gt;0,0014 \text{ cm}^2/\text{cm}^2</math></span>	0,0018 cm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>
Fuerza de tensión <span style="float: right;"><math>T = A_s \cdot f_y</math></span>	11.509 Kg
	112,84 kN
Altura zona de compresion <span style="float: right;">a</span>	0,64 cm
Momento resistente nominal <span style="float: right;"><math>\phi M_n</math></span>	1.002 Kg-m
Factor de Seguridad	4,28

**4- Construcción de las placas del fondo**

En fondo está conformado por placas inclinadas comprendidas entre los lados interiores de la viga de amarre octagonal, y una placa horizontal octagonal ubicada en el centro del estanque. Esta última está delimitada por las estacas interiores colocadas durante la etapa 2, las cuales también delimitan las placas inclinadas, como se aprecia en la Figura B-17. La construcción de las placas sigue la secuencia que se observa en dicha figura.

La construcción de estas placas se realiza en dos fases. La primera operación consiste en realizar la excavación del terreno de las 4 placas inclinadas de la fase 1, que se indican en la Figura B-17. Esta excavación se hace considerando que la cara inferior de dichas placas llega hasta la base de la viga de amarre. Luego se colocan ángulos de 3" que sirven de formaleta a las 4 placas, los cuales se ubican entre los vértices de la viga de amarre, y las estacas interiores que delimitan la placa central. Para darle estabilidad a los ángulos se colocan ladrillos tipo tolete sobre las alas. Luego se coloca de la misma forma el ángulo entre las dos estacas. A continuación, se procede a verter el concreto hasta el borde de los ángulos.

Una vez fraguadas las 4 placas de la fase 1, se realiza la excavación del terreno para conformar la base donde se funden las 4 placas inclinadas restantes, y la placa central del fondo. Alrededor del codo ubicado en el centro de esta placa, se excava una zanja de unos 15 cm de ancho y 25 cm de profundidad, medida desde el borde superior del codo, con el fin fundir allí un bloque de concreto que evite el agrietamiento de la placa debido a la rigidez del codo, y reducir las filtraciones en el contacto entre el codo y la placa. El agua ubicada bajo el nivel del borde del codo deberá ser retirada mediante sifonaje, utilizando una manguera de pequeño diámetro cuyo extremo se sumerge en la zanja que rodea el codo. Para ello es necesario retirar temporalmente el soporte de la tabla giratoria formado por accesorios de PVC, que se describe en la etapa 2, el cual deberá ser colocado nuevamente. A continuación se vierte el concreto para fundir el resto de las placas, para lo cual no es necesario colocar ninguna formaleta. En la placa central se dejan empotradas barras de hierro que evitan el corrimiento de la rejilla.

En la construcción de las placas del fondo es muy importante realizar un adecuado curado del concreto, debido a que corren el riesgo de agrietarse, debido a la ausencia de refuerzo y su escaso espesor (3"). Este riesgo se aumenta con la radiación solar en las zonas ecuatoriales, que no solo aumenta la evaporación sino la temperatura. Para obtener resistencias óptimas en el concreto, sus temperaturas durante el curado deben ser menores a 30°C, que pueden ser sobrepasadas al mediodía. La temperatura se puede controlar mediante la hidratación, la cual también se utiliza en el curado. Las indicaciones para el adecuado curado pueden consultarse en un manual de Toxement<sup>17</sup>. Este proceso tarda unos 7 días, y su objetivo es mantener la adecuada hidratación, con el objeto de permitir al concreto maximizar su resistencia, y para evitar la retracción del concreto por secado, el cual produce grietas.

---

<sup>17</sup> Toxement. Euclid Group. "Guía Básica para el Curado del Concreto. Versión 2019".  
[https://www.toxement.com.co/media/3899/curado\\_concreto-comprimido.pdf](https://www.toxement.com.co/media/3899/curado_concreto-comprimido.pdf)

Figura B-16. Construcción del Estanque en Concreto -Vista de Corte Transversal A-A

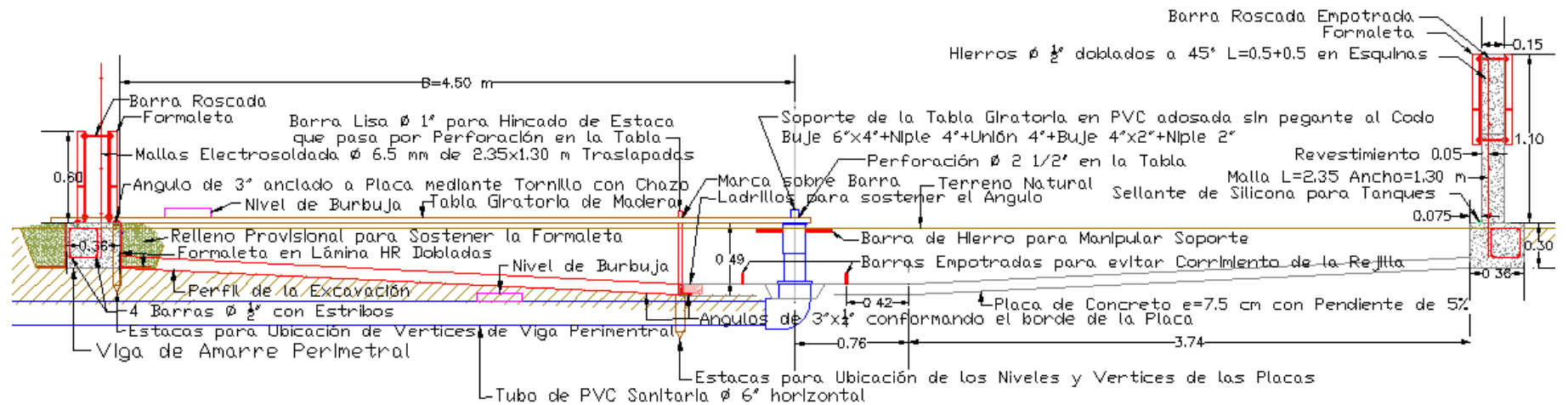




Figura B-17. Construcción del Estanque en Concreto -Vista en Planta

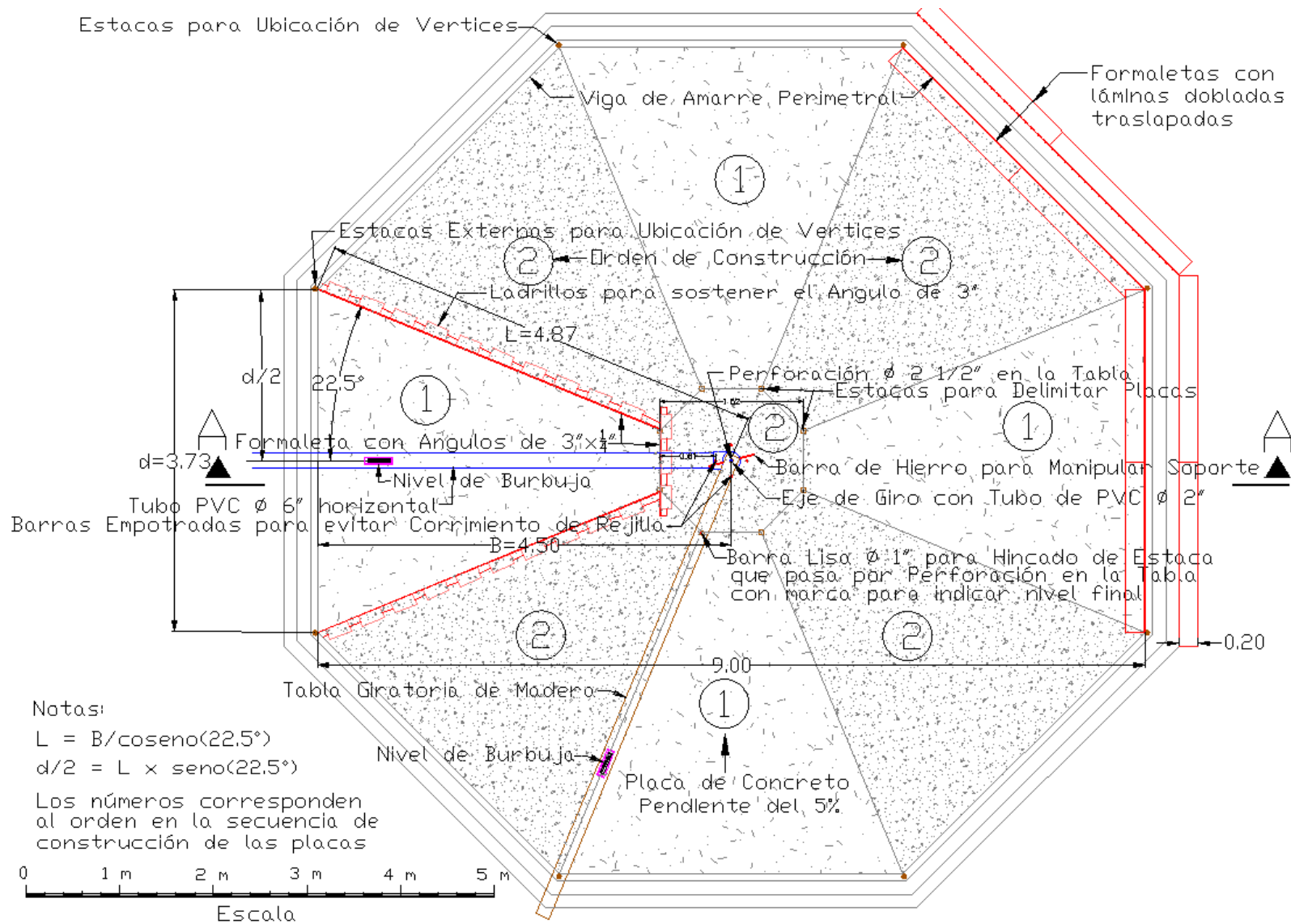
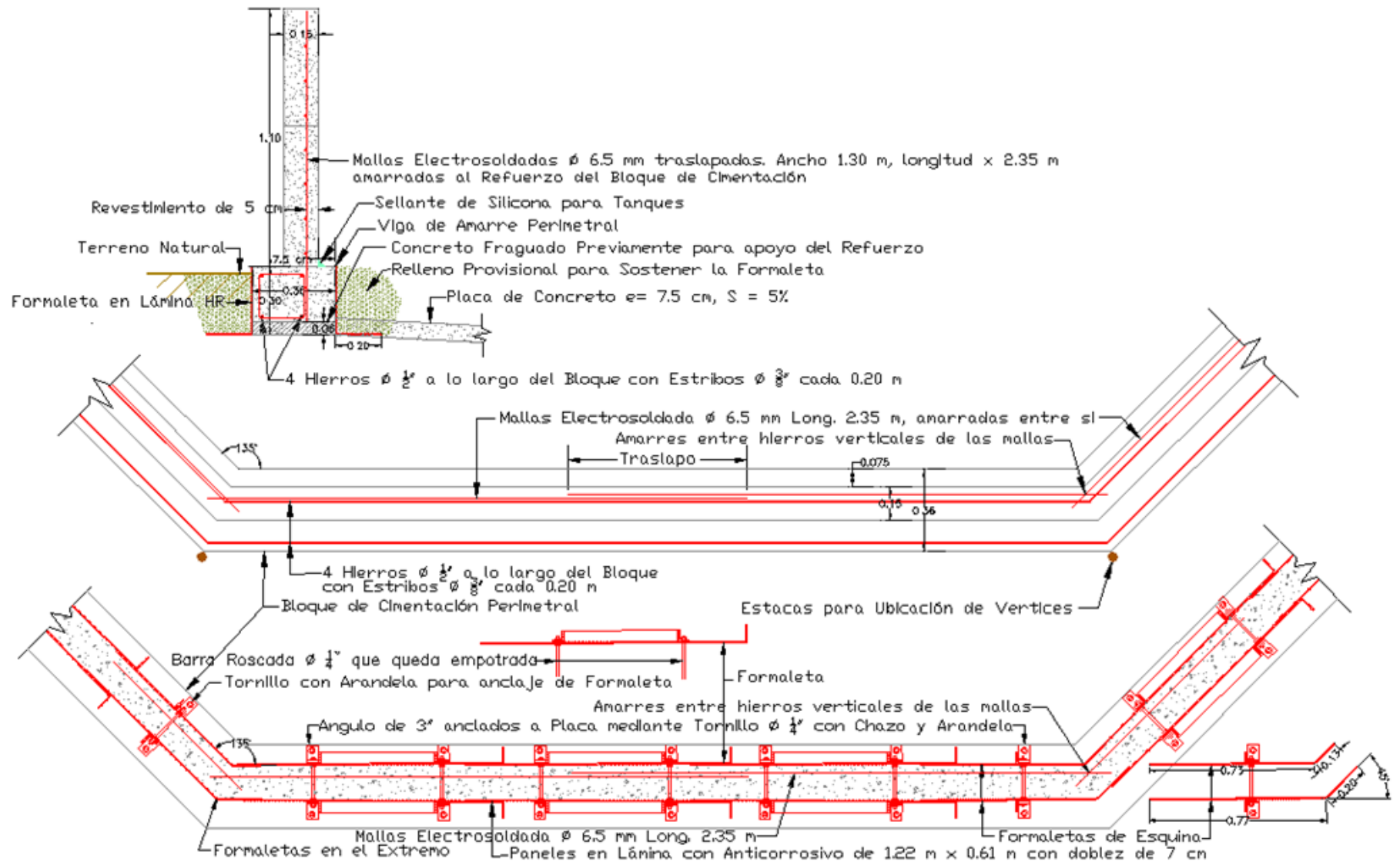


Figura B-18. Construcción del Estanque en Concreto -Vista del Formateado y del Refuerzo en Acero



### ***B-5. ALIMENTACIÓN DE LAS ESPECIES ACUÍCOLAS***

De acuerdo estudios realizados por Yoram Avnimelech (Ref. B-11), los peces son incapaces de alimentarse de las bacterias, levaduras y otros organismos microscópicos que se encuentran libres en el agua, debido a su escaso tamaño. Existen dos formas para para que la masa de bacterias producidas mediante la nitrificación pueda alimentar a los peces. La más importante es el proceso de biopelícula, que permite a las bacterias y a otros microorganismos adherirse a un sustrato formado por la descomposición del material vegetal, constituido principalmente por celulosa. los aglomerados formados se llaman bioflócs, los cuales tienen tamaños adecuados para la alimentación de peces y camarones. Los peces y camarones también pueden consumir los organismos planctónicos de mayor tamaño, tales como la dafnia, la moina o la artemia, que son crustáceos de gran valor nutricional, que tienen suficiente tamaño para que puedan ser consumidos por camarones y peces pequeños y medianos.

En varios estudios realizados se ha demostrado que los bioportadores vegetales son más eficientes que los de plástico en la formación de biopelículas y en la asimilación del nitrógeno amoniacal, puesto que su descomposición proporciona el carbono que requieren los microorganismos para asimilarlo. Sin embargo, estos bioportadores no se utilizan en los MBBR debido a su escasa duración ocasionada por la degradación biológica. Materiales vegetales tales como el salvado de trigo o paja de cereales han sido utilizados exitosamente para reducir el nitrógeno amoniacal y promover la formación de bioflócs en estanques provistos de un sistema de aireación (Ogello et al Ref. B-18). El efecto de la celulosa como bioportador que promueve el crecimiento de las tilapias también fue demostrado en un estudio experimental realizado por Avnimelech (Ref. B-11).

El desarrollo de esta biopelícula se realiza a través de procesos de nitrificación realizado por bacterias heterótrofas, que producen una biomasa rica en proteínas a partir de nitrógeno y carbono. Una de las fuentes de carbono más adecuadas es la glucosa, debido a que es fácilmente asimilable por toda clase de organismos. La principal fuente de glucosa es el jugo de caña. Además de los azúcares, la caña produce bagazo, hojas y cogollos, que se suministran picados a los lechos, donde se constituyen en núcleos para la producción de bioflócs, y al descomponerse suministran carbono adicional a los microorganismos. Las hojas y cogollos tienen menores contenidos de celulosa, y por lo tanto se descomponen más rápidamente, y generan bioflócs más pequeños. Como se indica en el Capítulo B-6, la caña de azúcar tiene una gran productividad, y por lo tanto es la mejor alternativa para el suministro los insumos fundamentales para el desarrollo de bioflócs celulósicos.

Los azúcares que contiene la caña de azúcar ha demostrado ser la mejor fuente de carbono frente a alternativas como almidón y acetato. Los bioflócs producidos con sacarosa tienen 40% de proteína cruda y 41% de lípidos crudos, comparados con 21% y 17% respectivamente para los producidos con almidón, y el 19% y 21% para los producidos con acetato. La mayor producción de lípidos es importante porque normalmente los bioflócs no cubren las necesidades de éstos (ver Tabla B-3 a continuación). En estudios realizados por Avnimelech (Ref. B-11) y Erick Ochieng

Ogello<sup>18</sup>, se analiza los factores que intervienen en la calidad alimenticia del bioflóc, y se concluye que con sacarosa y fructosa se incrementa sustancialmente el contenido de proteínas y grasas en los bioflócs, respecto a otras fuentes de carbono. Esto se demuestra en las tablas B-4 y B-5 a continuación.

Los microorganismos contenidos en las biopelículas contribuyen al saneamiento de los estanques de acuicultura de dos formas. En primer lugar, la competencia por nutrientes realizada por las bacterias heterótrofas y levaduras entre otros, controla la proliferación de patógenos que se alimentan de dichos nutrientes. El otro mecanismo de saneamiento es descrito por Mauricio Emerenciano<sup>19</sup>, y consiste en que, cuando el azúcar abunda, las bacterias contenidas en los bioflócs lo fermentan, produciendo Polihidroxialcanoatos o PHA, que son poliésteres en forma de gránulos, donde dichas bacterias almacenan carbono. Cuando estos gránulos se degradan en el tracto intestinal de las especies acuáticas, producen efectos anti patogénicos.

En un estudio de Roselien Crab<sup>20</sup>, se encontró que los bioflóc contienen probióticos que permiten controlar los patógenos y promover el crecimiento de los peces. Según un documento de Julie Eksari<sup>21</sup>, los efectos probióticos de las bacterias contenidas en los bioflócs facilitan la digestión, y defienden las especies cultivadas de las enfermedades. En este mismo estudio se encuentra la Tabla 2.4, que compara los contenidos nutricionales de los bioflócs producidos con las tecnologías existentes, con los requerimientos de alimentación de camarones y peces. En la Tabla B-3 a continuación se encuentra dicha información.

En la siguiente tabla se observa que los bioflócs tienen altos contenidos de aminoácidos. En el estudio de Mauricio Emerenciano et al (Ref. B-19) también se concluye que los bioflócs contienen bastantes vitaminas. Por lo tanto dichos bioflócs son alimento de excelente calidad para los peces y camarones, que pueden reemplazar los concentrados que se utilizan actualmente. Normalmente las deficiencias que tienen los bioflócs se encuentran en calcio, lípidos, carbohidratos, ácidos grasos esenciales, y lisina. El calcio se suple mediante la cal agrícola que se añade para proporcionar la alcalinidad que requiere la nitrificación heterótrofa. En la siguiente tabla también se observa una

---

<sup>18</sup> Erick Ochieng Ogello, Safina M. Musa, Christopher Mulanda Aura, et al. "An Appraisal of the Feasibility of Tilapia Production in Ponds Using Biofloc. Technology: A review". International Journal of Aquatic Science. [https://www.researchgate.net/publication/259617878\\_An\\_Appraisal\\_of\\_the\\_Feasibility\\_of\\_Tilapia\\_Production\\_in\\_Ponds\\_Using\\_Biofloc\\_Technology\\_A\\_review/link/02e7e52ce7def6e963000000/download](https://www.researchgate.net/publication/259617878_An_Appraisal_of_the_Feasibility_of_Tilapia_Production_in_Ponds_Using_Biofloc_Technology_A_review/link/02e7e52ce7def6e963000000/download)

<sup>19</sup> Mauricio Emerenciano, Gabriela Gaxiola y Gerard Cuzon. "Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry". INTECH Open Science 2.013 <http://dx.doi.org/10.5772/53902>

<sup>20</sup> Roselien Crab. "Biofloc Technology: an integrated system for the removal of nutrients and simultaneous production of feed in aquaculture". Ghent University, Belgium., 2.010. <https://biblio.ugent.be/publication/1043318/file/1043319.pdf>

<sup>21</sup> Eksari, Julie. "Biofloc Technology as an Integral Approach to Enhance Production and Ecological Performance of Aquaculture, Tabla 2.3 ". Tesis Doctoral, 2.014. <https://biblio.ugent.be/publication/5721724/file/5721739.pdf>

deficiencia de los bioflócs celulósicos en el suministro de carbohidratos, los cuales se suplen con la degradación de la celulosa contenida en ellos. El carbono contenido en dicha celulosa puede ser asimilado gracias su descomposición en el agua, y a los organismos celulolíticos que tienen los peces en su tracto intestinal.

Tabla B-3. Comparación de la Composición Nutricional de Bioflócs No Celulósicos con los Requerimientos de Peces y Camarones.

Valores en Porcentajes

Elemento		Contenido en los Bioflócs	Requerimientos Alimenticios	
			Peces	Camarones
Valores en Porcentaje del Peso Seco				
Proteína Cruda		38-41	35-37	35-40
Lípidos Crudos		0,1 - 3,2	6-7	10 11
Carbohidratos		31	< 40	30-35
Ácidos Grasos Esenciales	Ácido Linoleico	0,54	1	1
	Ácido Linolenico	0,02	1	1
	Ácido Arachidonico	0,02	-	1
	Ácido Eicosapentaenoico	0,01	1	1
	Ácido Docosahexaenoico	0,02	1	1
Aminoácidos Esenciales	Arginina	2	1,5	1,9-2,7
	Histidina	0,8	0,7	0,5-0,6
	Isoleucina	11	1	0,8-1
	Leucina	1,9	1,9	1,7-2
	Lisina	1,3	2,1	1,8-2,1
	Metionina	0,8	0,7	0,7-0,8
	Fenilalanina	1,7	1	0,9-1,1
	Treonina	1,7	1,2	1,2-1,3
	Triptofan	0,4	0,2	0,3-0,4
Valina	1,3	1,2	1,0-1,2	
Minerales	Calcio	1,5	2	2,0-2,5
	Fósforo	1,2	0,7	1,2
	Potasio	0,7	-	0,7-0,8
	Magnesio	0,4	0,07	0,08-0,1

Fuente: Eksari, Julie. (2.014). Tabla 2.4, (Ref. B-21).

Los bioflócs producidos con la glucosa procedente del jugo de la caña de azúcar, tienen grandes ventajas sobre los que utilizan otras fuentes de carbono. En la siguiente tabla de Erick Ochieng Ogello et al (Ref. B-18), se encuentra que las cualidades nutricionales de los bioflócs producidos con glucosa son muy superiores a las que se tienen cuando se utiliza harina o acetato como fuente de carbono. Allí se observa que con la glucosa el contenido de proteína se incrementa hasta 40%, y el de los lípidos hasta el 41%, lo cual suple las necesidades de los peces y camarones.

Tabla B-4. Composición de los Bioflócs en Función de sus Fuentes de Carbono

<b>Cualidades Nutricionales de los Bioflócs</b>			
<b>Fuente de Carbono</b>	<b>Glucosa</b>	<b>Harina</b>	<b>Acetato</b>
Proteína Cruda	40%	21%	19%
Lípidos Crudos	41%	17%	21%
Cenizas	5%	3%	20%
Carbohidratos	14%	59%	40%

Fuente: Erick Ochieng Ogello et al (Ref. B-18)

En la siguiente Tabla del estudio de Mauricio Emerenciano et al. (Ref. B-19), se observan los contenidos de ácidos grasos de bioflócs producidos con diversas fuentes de carbono, incluyendo la glucosa de la caña de azúcar .

Tabla B-5. Composición de los Ácidos Grasos en Bioflócs con Diversas Fuentes de Carbono, en Porcentajes

Ácidos Grasos	Glucosa	Glucosa en agua marina	Acetato	Glicerol	Glicerol +Bacillus	Glicerol en agua marina
Omega 3	0.65 -1.04	0.60	0.4	14.85-22.99	35.35	16.99
Omega 6	4.3-12	12.27	7	14.21-26.22	35.45	17.08
Saturados	10.76-22.45	11.53	22.08	0.6-2.02	0.7	0.43
Monoinsaturados	16.51-27.15	12.5	8.16	19.03-20	27	21.97

Fuente: Mauricio Emerenciano et al. (Ref. B-19).

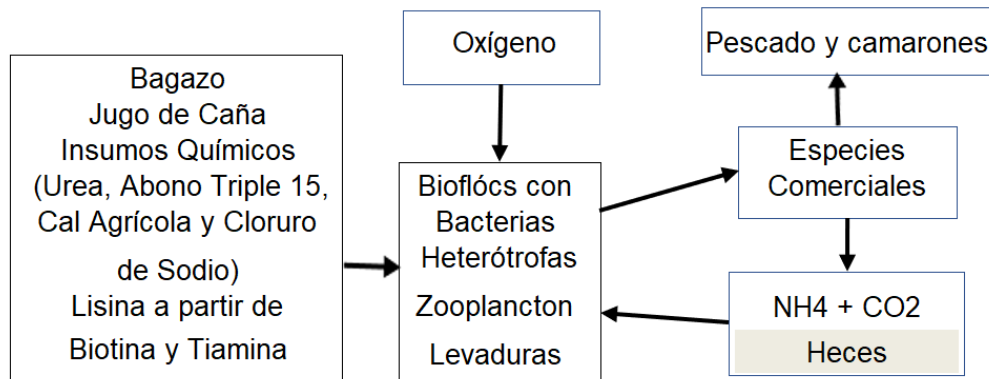
El lípido requerido para la cría de tilapias es el ácido graso poliinsaturado omega 6. En el estudio de CTQA<sup>22</sup> se indica que para la cría de tilapias no se necesita suministrar ácidos grasos omega 3, pero sí los omega 6, en una proporción de 0.5 a 1% de la alimentación. De acuerdo a la tabla anterior, el omega 6 constituye por lo menos el 4.3% de los lípidos crudos, y estos constituyen el 41% de los bioflócs. Por lo tanto, se tiene que dichos lípidos contienen más del 1.7% de omega 6, lo cual supera el requerido para la alimentación de las tilapias. Por consiguiente, los bioflócs pueden suplir sus necesidades de omega 6.

A continuación, se presenta el diagrama de la alimentación de los peces.

<sup>22</sup> Centro Tecnológico de la Acuicultura CTQA. "ALIMENTACIÓN OPTIMIZADA PARA TILAPIA NILÓTICA (OREOCHROMIS NILOTICUS) DE SENEGAL" [Informe-Alimentacion-Tilapia-v2.pdf \(ong-aida.org\)](http://ong-aida.org)



Figura B-19. DIAGRAMA DE LA ALIMENTACIÓN DE PECES Y CAMARONES



El grosor del alimento es importante para que sea consumido por los peces. De acuerdo al manual de la FAO para acuicultura en pequeña escala (Ref. B-2), este grosor es de 1 a 2 mm para alevinos, de 2 a 4 mm para juveniles de 20 a 150 gramos de peso, y de 4 a 6 mm para peces de 150 a 400 gramos. En los sistemas de acuicultura actuales, el grosor de los bioflócs está entre 0.1 y 2 mm, lo cual dificulta su consumo por parte de los peces de engorde. Los bioflócs celulósicos tienen un tamaño mayor, puesto que se forma a partir de bagazo picado, que originalmente tiene de 1 a 2 cm de longitud, pero luego se degrada y se fragmenta en el lecho de compostaje y en los estanques, lo cual reduce su tamaño, pero éste siempre es superior a 2 mm.

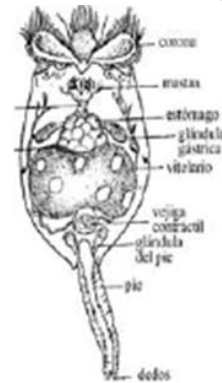
Los alevinos y las post larvas de camarones tienen dificultades para el consumo de bioflócs celulósicos debido a su tamaño. En un documento de la FAO se indica la bondad de utilizar alimentos vivos tales como el zooplancton para el desarrollo de los peces y camarones, especialmente en las primeras etapas de desarrollo. El zooplancton está constituido principalmente por cladóceros tales como la dafnia y la moina, rotíferos y copépodos, que se muestran en la figura a continuación. Estos son especies filtradoras que se alimentan de microorganismos planctónicos en suspensión en el agua, y tienen tamaños que oscilen entre 30 micras y 5 mm, lo cual dificulta su consumo por parte de tilapias en sus etapas juveniles y de engorde, pero que facilita su consumo por parte de tilapias y camarones en sus etapas iniciales de desarrollo.



Figura B-20 - Principales Organismos que Componen el Zooplancton.

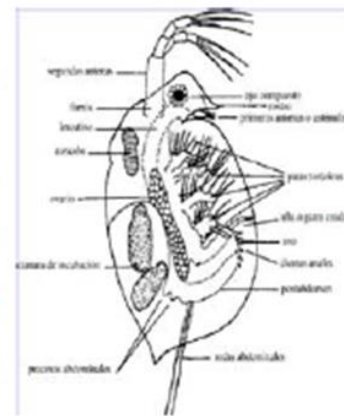
**ROTÍFEROS**

**Cuerpo:** generalmente elongado cubierto por una cutícula dividido en cabeza, tronco y pie.  
**Tamaño:** entre 30 y 2000  $\mu\text{m}$ .  
**Alimentación:** Herbívoro, carnívoro.  
**Hábito:** Sésiles y planctónicos.  
**Reproducción:** Partenogénesis alternada con reproducción sexual, dimorfismo sexual.  
 Ciclomorfosis.



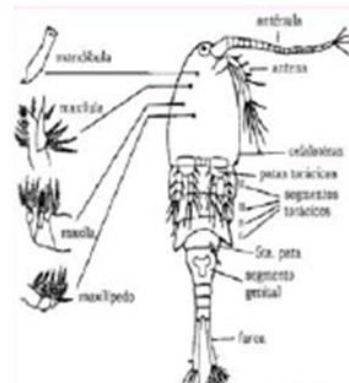
**CLADÓCEROS**

**Sistemática:** Crustáceos de la subclase Branchiopoda  
**Cuerpo:** Sin segmentación evidente cubierto por un caparazón quitinoso  
**Tamaño:** entre 200 y 3000  $\mu\text{m}$ .  
**Alimentación:** Herbívoro, filtradores (fitoplancton, detritus), carnívoros  
**Hábito:** Planctónicos, bentónicos, litorales (asociados a la vegetación)  
**Reproducción:** Partenogénesis alternada con reproducción sexual, dimorfismo sexual  
 Ojo compuesto y Ocelo, Antenas segmentadas, Patas torácicas, postabdomen con 2 garras terminales  
 Ciclomorfosis



**COPÉPODOS**

**Sistemática:** Crustáceos de la clase Copépoda, tres ordenes dulceacuícolas, Calanoida, Cyclopoida y Harpacticoida  
**Cuerpo:** alargado, segmentado, cefalotórax, abdomen, furcas  
**Tamaño:** hasta 5 mm.  
**Alimentación:** Herbívoro, filtradores (fitoplancton, detritus), omnívoros, carnívoros  
**Hábito:** Planctónicos, bentónicos, litorales (asociados a la vegetación)  
**Reproducción:** Reproducción sexual, dimorfismo sexual  
**Ontogénesis:** huevo, 4 estadios larvarios (Nauplios), 5 juveniles (Copepoditos)



Fuente. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos RED MAPSA . 2007 <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/>

Como se aprecia en la siguiente tabla, el zooplancton tiene un nivel de proteína muy alto, que es requerido la etapas iniciales de desarrollo de tilapias y camarones. Sin embargo, con excepción de los rotíferos, su contenidos de lípidos no alcanza para cubrir las necesidades, que es de 6 a 7% en el caso de los peces, y del 10 a 11% en los camarones de acuerdo a la Tabla B-3 anterior. Por lo tanto, es necesario incrementar la producción de dichos rotíferos, en especial en el cultivo de camarones, puesto que contienen un 13.2% de lípidos, según la tabla a continuación.

Tabla B-6 Contenido de Proteínas y Lípidos del Zooplancton

Especie		Proteína	Lípidos
Rotíferos	Brachtonus Plicantilis	60,30%	3,90%
	Rotíferos cultivados	54,60%	13,20%
Copépodos	Tigriopus Japonicus	71,10%	2,60%
	Acartia Clausi	70,90%	1,30%
Cladoceros	Moina	68,80%	2,90%
	Daphnia Pulex	0,5	0,0
Requerimiento de los Peces (*)		35-37%	6-7%

\* Eksari, Julie. (Ref. B-21)

Fuente. Martínez Córdova et al (Ref. B-5).

De acuerdo al manual de la FAO para la cría de rotíferos (Ref. B-64 del Numeral B-9.2), el alimento más apropiado para éstos es la levadura de cerveza. Dicha levadura también es fundamental para la producción de vitamina B1 y de Lisina, que se describe a continuación. Para la producción de levadura de cerveza se requiere de una fuente de azufre, el cual puede ser proporcionado por el abono Triple 15 que se recomienda suministrar. Para la cría de dichos rotíferos, Luis Martínez Córdova et al (Ref. B-5) recomienda utilizar refugios para fomentar la crianza de zooplancton en estanques de acuicultura, puesto que éste entra en ellos para escapar de la depredación de peces mayores. Las jaulas de los alevinos y las post larvas pueden actuar como refugios para facilitar el consumo de zooplancton por parte de éstos. Las jaulas además promueven la decantación de levaduras y bioflócs dentro de ellas, facilitando la alimentación de dichos alevinos y post larvas.

También, se recomienda sembrar rotíferos en los estanques de tilapias y camarones. El manejo recomendado de los estanques facilita la permanencia de estas especies planctónicas, puesto que luego de desocupar los estanques de engorde, se vuelve a llenar parcialmente con el agua procedente de los estanques de alevinos y levante.

De acuerdo a la Tabla B-3 anterior, el porcentaje de lisina en los bioflócs es de 1.3%, y para la alimentación de peces y camarones se requiere que sea del 2.1%, o sea que hay un déficit de 38% que debe ser suplido. La lisina es un nutriente muy importante para el desarrollo de toda clase de animales, y en la acuicultura se suministra en forma de torta de soya. La forma más eficiente y económica de producir lisina es mediante procesos de fermentación alcohólica de una solución de azúcares, en la cual se tenga la presencia de nitrógeno amoniacal, fósforo, potasio, carbonato de calcio, cloruros, magnesio y manganeso. Todos estos elementos se encuentran presentes en el pozo de nutrientes, donde se tienen las condiciones anóxicas para dicha fermentación. Para la producción de lisina también se necesitan las vitaminas biotina y tiamina, que también se conocen como vitaminas B7 o B8 y B1 respectivamente. La vitamina B1 es producida por la levadura de cerveza, en cantidades que se indican en la Tabla B-7 a continuación, y por lo tanto solo se necesita añadir biotina. Esta solución se prepara en el pozo de nutrientes, donde se inocula con las bacterias *Corynebacterium glutamicum*, con lo cual se origina un proceso

de fermentación alcohólica que produce lisina. Estas bacterias se encuentran frecuentemente en los suelos y es facultativa, puesto que requiere la alternación de condiciones aeróbicas y anaeróbicas para su desarrollo. Estas condiciones se presentan en el sistema de compostaje, puesto que allí el agua se recircula entre el pozo de nutrientes, que tiene condiciones anaeróbicas, y el sistema de riego del lecho de compostaje que tiene condiciones aeróbicas.

Este proceso de producción de lisina se analiza en los documentos de Amjed Hussain et al, y de Omar Anaya-Reza y Teresa Lopez-Arenas<sup>23</sup>. En el documento de Amjed Hussain et al se estudiaron 15 alternativas de dosificación de la solución, de las cuales se consideró la alternativa FM14 como la más adecuada, puesto que no incluye compuestos de manganeso, y tiene la tercera producción más alta de lisina. Con dicha dosificación se añade 4 mg de biotina, y 3 mg de tiamina por kg de azúcares. Esta última es aportada por la levadura de cerveza, como se indica posteriormente. Los compuestos de manganeso son bastante tóxicos. Este elemento está presente en la caña de azúcar, y para aumentar su contenido se puede abonar el cultivo con manganeso, que se considera un micronutriente esencial para éste (ver Ref. D-71 del Numeral D-7.7). La lisina producida queda incorporada a los bioflócs que se desarrollan en los lechos de compostaje, donde es asimilada por gran variedad de microorganismos que se desarrollan en ellos. Esos bioflócs luego sirven de alimento a peces y camarones. En el documento de Omar Anaya-Reza y Teresa Lopez-Arenas se indica que con el sistema de fermentación secuencial, la producción es de 0.31 gr de lisina por gramo de glucosa. Considerando que se requiere añadir una cantidad de lisina equivalente a 0.80% del alimento, entonces la cantidad de glucosa a procesar corresponde al 2.58% de éste. En la Tabla B-16 del Capítulo B-8 se encuentra las dosis de biotina a suministrar por jornada. Esta dosis puede suministrarse en forma de tabletas solubles de 5 mg de biotina, que se consiguen comercialmente. El pH adecuado para el proceso de producción de lisina es ligeramente superior a 7, y la temperatura óptima es de 30°. A temperaturas menores se reduce la tasa producción, lo cual no es muy inconveniente, dado que la cantidad de lisina a producir es de solo el 38% de las necesidades.

La levadura cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) también constituye una fuente de alimentación importante para peces, camarones y el plancton, puesto que contiene carbohidratos, proteínas y probióticos. La levadura de cerveza está compuesta por

---

<sup>23</sup> Amjed Hussain et al, "OPTIMIZATION OF FERMENTATION MEDIUM FOR L-LYSINE PRODUCTION BY CORYNEBACTERIUM GLUTAMICUM". Institute of Industrial Biotechnology, GC University Lahore-54000, Pakistan. Research Gate. 2.015.

[\(PDF\) Optimization of fermentation medium for L-lysine production by Corynebacterium glutamicum \(researchgate.net\)](#)

Omar Anaya-Reza y Teresa Lopez-Arenas. "Comprehensive assessment of the L-lysine production process from fermentation of sugarcane molasses". Publmed. 2.013.

[Comprehensive assessment of the L-lysine production process from fermentation of sugarcane molasses - PubMed \(nih.gov\)](#)

organismos facultativos, similares a las bacterias *Corynebacterium glutamicum* que producen la lisina. Ambos tipos de organismos se recirculan entre el pozo de nutrientes, donde ocurre la fermentación alcohólica en condiciones anaeróbicas, y el lecho de compostaje de bioflócs, donde la lisina y las levaduras se incorporan a las biopelículas que se desarrollan en los bioflócs. En la siguiente tabla se encuentra la composición nutricional de la levadura de cerveza.

Tabla B-7 Composición Nutricional de la Levadura de Cerveza

Carbohidratos	36.2%
Proteínas	27.8%
Fibra	18.0%
Potasio	2.6%
Fósforo	1.040 mg/Kg
Vitamina B-1 (Tiamina)	97 mg/Kg
Vitamina B-2	143 mg/Kg
Vitamina B-3	970 mg/Kg

Fuente: Vegaffinity. [Información Nutricional de Levadura de cerveza | Cereales \(vegaffinity.com\)](https://vegaffinity.com/informacion-nutricional-de-levadura-de-cerveza/)

Las levaduras de cerveza también contienen un 2% de ácidos grasos poliinsaturados tales como omega 3 y 6, y diversos aminoácidos. Por lo tanto, son muy importantes para la alimentación de post larvas de camarón y de alevinos de tilapia, que requieren contenidos altos de proteínas y lípidos.

Para su alimentación, las levaduras requieren de fuentes de nitrógeno como la urea, de carbono como el jugo de caña, y fuentes adicionales de azufre como el abono triple 15 o el yeso agrícola, que contiene 13% de este elemento (Ref. B-81). A diferencia de las bacterias heterótrofas, las levaduras se desarrollan bien en suspensión, y pueden cultivarse tanto en el lecho de compostaje como en los estanques (ver Erika E. Fajardo y Sandra Sarmiento <sup>24</sup>). Las levaduras tienen un tamaño muy pequeño, de entre 4 y 8 micras de grosor, y no pueden ser consumidas directamente por los peces cuando están en suspensión, pero pueden ser adsorbidas por la biopelícula, o también pueden decantarse en fondo, lo cual facilitaría su consumo por el zooplancton. Las mallas en las jaulas de alevinos y post larvas tienen aperturas de menos de 4 mm, lo cual reduce la turbulencia al interior de éstas, y por lo tanto las levaduras y los bioflócs se decantan, y se facilita su consumo por parte de alevinos y post larvas.

Las post larvas de camarones y los alevinos de peces se colocan dentro de jaulas, lo cual les facilita el consumo de estos alimentos, puesto que dichas jaulas actuarían como refugios donde el zooplancton entra en ellos para escapar de la depredación de peces mayores, según el documento de Luis Martínez Córdova et al (Ref. B-5). Estas jaulas

---

<sup>24</sup> Fajardo, Erika E. y Sarmiento Sandra. "Evaluación de Melaza de Caña como Sustrato para la Producción de *Saccharomyces cerevisiae*". Pontificia Universidad Javeriana. 2.007.  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8279/tesis26.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

también promueven la decantación de levaduras y bioflócs en de ellas, lo cual también facilitaría dicho consumo. En las etapas de engorde, el consumo de zooplancton y de algas directamente del agua se dificulta, de modo que este alimento queda disponible para peces y camarones en sus primeras etapas de desarrollo.

Como se explica en el Numeral B-9.2, el sistema PNCM descrito por Cláudio Kinach Loureiro et al (Ref. B-65) es muy apropiado para la cría de camarones en las etapas de post larvas y levante. En este sistema se tiene estanques donde se combina el sistema de bioflócs, con el cultivo de rotíferos y de otros organismos planctónicos. Estos son alimentados con alfalfa y melaza de caña, que son las fuentes de fibra, nitrógeno y carbono. En la planta Parab estos insumos son reemplazadas por el bagazo y el jugo de la caña azúcar, y por urea.

Para la alimentación de los peces y camarones, también se debe tener en cuenta los productos químicos, que son necesarios para suministrar elementos tales como nitrógeno, fósforo, calcio y potasio. La fuente más adecuada para suministrar el nitrógeno es la urea, puesto que está compuesta en un 46% por  $\text{NH}_4$ . Buena parte del nitrógeno que requieren los peces y camarones para su alimentación proviene de la recirculación de las excretas y desechos que producen, a través del filtro percolador, donde el nitrógeno que contienen tiene un proceso de nitrificación heterótrofa muy eficiente, que lo convierte en biomasa alimenticia. De acuerdo al Tabla B-14, a todo lo largo del periodo de cría de las tilapias, la producción de nitrógeno en las excreciones de las tilapias es en promedio de 0.87 Kg diarios, lo cual corresponde a un 22% del total del nitrógeno que se requiere para su alimentación, que es de 3.98 Kg diarios. En un manual de la FAO sobre la alimentación de peces y camarones<sup>25</sup>, se analizan los requerimientos de elementos químicos para la alimentación de peces y camarones, y se describen las consecuencias que tiene las deficiencias en estos elementos para éstos. Allí se indica que los principales elementos que se deben suministrar a peces y camarones son fósforo, calcio, potasio, y cloruro de sodio. El fósforo es importante en la formación de la estructura ósea de los peces. La concentración de fósforo de más de 20 mg/L es tóxica para los peces (Mauricio Gustavo Coelho. Ref. B-6).

En la Tabla B-10 del Capítulo B-8 se calculó una proporción de fósforo de 6.67% del alimento, considerando el documento de la FAO sobre el suministro de minerales en acuicultura (Ref. B-25). El suministro de fósforo se hace esencialmente añadiendo abono triple 15, que contiene un 15% de fósforo y de potasio<sup>26</sup>, que también cubre gran parte de las necesidades de este último. Los requerimiento de potasio son algo mayores que las de fósforo de acuerdo al manual de la FAO (Ref. B-24), y el jugo de caña contribuye a cumplirlos, puesto que contiene alrededor de 780 mg de potasio por kilogramo de

---

<sup>25</sup> FAO. "NUTRICION Y ALIMENTACION DE PECES Y CAMARONES CULTIVADOS MANUAL DE CAPACITACION. 6. NUTRIENTES ESENCIALES-MINERALES".

[NUTRICION Y ALIMENTACION DE PECES Y CAMARONES CULTIVADOS MANUAL DE CAPACITACION \(fao.org\)](http://www.fao.org)

<sup>26</sup> Disproagro. "Fertilizante Granulado Triple 15". [Fertilizante NPK - 15-15-15-\(10\)S - Diproagro](http://www.disproagro.com)



sacarosa (Román Jiménez, Ref. B-29). El abono triple 15 también contiene un 10% de azufre, con lo cual se cubren las necesidades de este elemento en la acuicultura, que son bastante reducidas.

Teniendo en cuenta que la nitrificación de 1 gramo de  $\text{NH}_4$  consume 3.57 gramos de alcalinidad como  $\text{CaCO}_3$ , se debe añadir cal para suplir dicho consumo. Esta cal también permite controlar el pH, el cual debe estar entre 7 y 8, y además sirve para cubrir las deficiencias que tienen los bioflócs para suplir las necesidades de calcio de los peces y camarones, las cuales se indican en la Tabla B-3. El calcio y la alcalinidad se puede suministrar en forma de cal agrícola, considerando que cada gramo de cal pura añadido al agua aporta 1.35 gramos de alcalinidad como  $\text{CaCO}_3$ . Esta cal también sirve para suplir las importantes deficiencias en la provisión de calcio que presentan los bioflócs de acuerdo a la Tabla B-3. Las deficiencias de magnesio que se indican en dicha Tabla pueden ser suplidas por la caña de azúcar, que contiene bastante de este elemento, de acuerdo al estudio de Román Jiménez (Ref. B- 29).

Según el documento de la FAO (Ref. B-24), otros elementos químicos importantes son el sodio y el cloro, y la fuente más adecuada para suministrarlos es el cloruro de sodio, conocido como sal de cocina. Este mineral también es importante para controlar enfermedades de las tilapias. Como lo indica Alfredo Mena-Herrera et al (Ref. B-70 del Numeral B-9.3), las tilapias se crían en forma adecuada con salinidades de 15 ppt (partes por mil de sales, que equivale a mg/L). La sal de sodio también es importante para el control de las enfermedades en las tilapias. Según Fernando Kubitza<sup>27</sup>, la adición al agua de cloruro de sodio en proporciones de 3 a 6 gr/L es necesaria para proteger a los peces de la infestación de hongos llamados Saprolegnia, y de bacterias del género Flavobacterium. En cultivos con bioflócs y de tipo RAS Fernando Kubitza (Ref. B-27) recomienda añadir 3 gr/L de cloruro de sodio para prevenir las enfermedades bacterianas de las branquias y las aletas, y el envenenamiento por nitritos. Para el diseño se recomiendan concentraciones de 3 gr/L. Esta sal se añadiría durante la primera etapa de llenado de cada estanque, lo cual se hace inicialmente hasta la mitad, como se explica en el Numeral B-3, y allí de colocan los alevinos en las jaulas, y se añade sal hasta alcanzar concentraciones de 6 mg/L, que son apropiadas para la desinfección de dichos alevinos. Al completar el llenado se alcanza la concentración de 3 mg/L especificada. Esta concentración no afecta la fauna acuática cuando se vierten los efluentes de las plantas en las corrientes naturales. En el documento de Fernando Kubitza (Ref. B-27) se considera que las concentraciones de 8 mg/L por largo tiempo son las indicadas para controlar las infecciones en las branquias y la piel de los peces, y podría ser necesario implementarlas en caso de que se presenten estas enfermedades.

---

<sup>27</sup> Fernando Kubitza. "Common salt a useful tool in aquaculture, part 1". Global Seafood Alliance's (GSA) 2016. [Common salt a useful tool in aquaculture, part 1 - Responsible Seafood Advocate \(globalseafood.org\)](https://www.globalseafood.org/)

Para la nutrición de peces y camarones se recomienda la adición de una dosis de 79 mg de ácido ascórbico (vitamina C) por kg de peces por día<sup>28</sup>. El contenido de este ácido en el jugo de caña es de alrededor de 4.7 mg/L<sup>29</sup>, con lo cual se cubren las necesidades de los peces y camarones de acuerdo con los cálculos realizados en las Tablas B-9 y B-23. En conclusión, los insumos recomendados para la alimentación de peces y camarones son bastante económicos. La caña de azúcar se puede producir en un área relativamente pequeña, estimada en 0.76 hectáreas en el caso de la planta Parab para tilapias (ver Tabla B-17). Para reducir los costos de transporte, este cultivo puede estar ubicado en una zona aledaña a donde se ubica la planta. De acuerdo a lo anterior, los costos de la alimentación de tilapias y camarones son bastante reducidos, lo cual es muy importante considerando que la alimentación representa más de la mitad de los costos de producción de estas especies. En la Tabla B-15 del Capítulo B-8 se presenta la programación de la alimentación de las tilapias. El cálculo de las cantidades de proteína y de nitrógeno se tomando como referencia las cantidades de concentrado recomendadas por la literatura técnica, y la proporción de proteína para cada una de las etapas de desarrollo. Las cantidades de carbohidratos se calculan a partir de la relación C/N necesaria para la nitrificación heterótrofa de acuerdo a la Ecuación B-1, que es de 20 para tilapias y 25 para camarones. Esto implica una gran cantidad de carbohidratos, con lo cual se excede la cantidad de concentrados tomados como referencia. Lo anterior se aplica también para la Tabla B-28 de la alimentación de los camarones.

---

<sup>28</sup>Shi-Yen Shiau, Yu- Hung Lin. "Vitamin Requirements of Tilapia – A Review". Department of Food and Nutrition. Providence University. Taiwan.

[http://www.uanl.mx/utilerias/nutricion\\_acuicola/VIII/archivos/9Shiau.pdf](http://www.uanl.mx/utilerias/nutricion_acuicola/VIII/archivos/9Shiau.pdf)

<sup>29</sup> Román Jiménez et. al. "La caña de azúcar como alimento funcional". Revista Iberoamericana de Ciencias. 2.014. <http://reibci.org/publicados/2014/agosto/3300112.pdf>



### ***B-6. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOFLOCS CELULOSICOS***

Como se indicó en el Capítulo B-3, el desarrollo de los bioflócs para la alimentación de peces y camarones se realiza en 3 etapas, que se realizan simultáneamente en forma cíclica:

- a) Formación inicial de los bioflócs en lechos de compostaje conformados por bagazo y hojas de caña picados, que son regados con una solución de nutrientes. En este proceso se degrada el material vegetal, y se desarrollan biopelículas de biomasa de alto valor nutritivo sobre los residuos celulósicos, formando así los bioflócs. El oxígeno requerido para este proceso es tomado del aire que se encuentra dentro del lecho. Al final, estos bioflócs son paleados hacia el filtro percolador. Se proyectan dos lechos en paralelo, que se desocupan alternadamente cada 3.5 días, de modo que este proceso dura 7 días. Al final de este periodo se palean los bioflócs formados hacia el filtro percolador, y el lecho se rellena con bagazo picado, para repetir el proceso de formación de nuevos bioflócs. El riego del lecho con una solución que contiene urea y sacarosa, que agiliza la descomposición de la materia vegetal y la producción de biopelículas, y por lo tanto la producción de bioflócs. Las bacterias, protozoos, levaduras y otros microorganismos presentes en los estanques aeróbicos son esencialmente los mismos que realizan el compostaje. Por lo tanto, mediante el riego del lecho con el agua de los estanques, se realiza una inoculación que también contribuye a agilizar dicho compostaje.
- b) Procesos de filtración y de desarrollo de los bioflócs en el filtro percolador conformado por los bioflócs. A través de dicho filtro se recircula el agua de los estanques. De esta manera, los nutrientes y sólidos suspendidos que contaminan el agua de los estanques son asimilados por los bioflócs contenidos en el filtro percolador, aumentando así su biomasa. Al final, estos bioflócs son llevados en canastas a los estanques. Este proceso toma 3.5 días, que se suma a los 7 días del proceso anterior, para completar 10.5 días de formación antes de que los bioflócs sean llevados a los estanques. Este periodo puede ser más largo, puesto que la cantidad de bioflócs extraídos corresponde a las necesidades de la alimentación, y parte de éstos permanece en el lecho.
- c) Desarrollo de los bioflócs en los estanques, donde el sistema de aireación les proporciona el oxígeno y los mantiene en suspensión. Allí asimilan nitrógeno amoniacal, sólidos suspendidos y otros contaminantes del estanque, y al final son consumidos por peces y camarones

Al lado del lecho de compostaje se encuentra un trapiche, que separa el jugo de caña del bagazo, y una picapastos ensiladora que corta el bagazo y las hojas en tamaños de 1 a 2 cm de longitud, y los deposita en el lecho de compostaje. El jugo de caña fluye directamente hacia el pozo de nutrientes, donde se prepara la solución que riega en los lechos.

El bagazo está compuesto la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, llamado el carbono estructural porque sirven se soporte a las plantas. El bagazo puede funcionar

adecuadamente como bioportador en los procesos de biopelícula por las siguientes razones:

- El bagazo está constituido por aglomerados de fibras, que le dan una consistencia porosa y flexible, mientras que el parénquima es una forma esponjosa de la celulosa del bagazo. Tanto el parénquima como el bagazo tienen alta porosidad y flexibilidad, igual que los bioportadores de espuma de poliuretano que se tratan en el Numeral C-2.3, lo cual les permite desarrollar biopelículas muy gruesas. Esto se debe a que los choques entre los bioflócs no afectan las biopelículas que desarrollan en ellos, como sí ocurre en el caso de los bioportadores rígidos, pesados, y con superficies lisas que se utilizan actualmente. Según P. K. Pandey et al (Ref. B-35), el bagazo tiene una superficie específica muy alta, estimada en  $0.63 \text{ m}^2$  por gramo, lo que quiere decir que en cada gramo se puede desarrollar  $0.63 \text{ m}^2$  de biopelícula.
- Las fibras de celulosa del bagazo tienen un importante contenido de lignina (de entre 18 y 24%), que es un aglomerante que, además de darle fortaleza, le permite retardar la degradación biológica. Por lo tanto, los bioflócs hechos con bagazo duran lo suficiente para que las biopelículas se desarrollen plenamente.
- La degradación lenta de la celulosa la convierte en una fuente de carbono a lo largo de todo el tiempo que dure el bioflóc, lo cual facilita la asimilación del nitrógeno amoniacal del agua durante este periodo.
- La fuerte estructura de la celulosa impide que el bioflóc celulósico sea desintegrado por la turbulencia debida a la aireación, lo cual ocasionaría turbiedad, como ocurre en los sistemas de bioflócs actuales.

Además del bagazo, la caña de azúcar también produce hojas y cogollos que se degradan más fácilmente, y aportan el carbono requerido por los microorganismos. Estos materiales pueden cortarse antes de pasar la caña por el trapiche, y se llevarían directamente al picapastos.

Según P. K. Pandey et al (Ref. B-35), el bagazo tiene una porosidad muy alta, del orden de 0.89%, lo cual facilita la entrada de aire a través de éste durante el compostaje. Esto facilita el acceso de los microorganismos que componen las biopelículas al oxígeno, a la vez que se promueve una evaporación que reduce las altas temperaturas generadas en el proceso de compostaje. Según el estudio del IMTA<sup>30</sup>, el efluente de los lechos de vermicompostaje tiene un contenido de oxígeno disuelto que es superior en alrededor de 2 mg/L al del afluente, lo cual los convierte en otro sistema de aireación, que es eficiente energéticamente.

---

<sup>30</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA. "Vermifiltración para Tratamiento de Aguas Residuales Industriales y Municipales. Proyecto TC-1107". 2.011.  
<http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1448/TC-1107.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

El contenido de azúcares en el bagazo es de alrededor del 4% de su peso. Esto promueve el desarrollo de las biopelículas sobre éste. Los análisis de Glauber Cruz et al<sup>31</sup> indican que el bagazo tiene una gran superficie de soporte, estimada en 0.63 m<sup>2</sup> de biopelícula por gramo. Todo lo anterior le da al bagazo la capacidad de asimilar rápidamente el nitrógeno disponible y convertirlo en biopelícula.

Según estudios de K. M. Shankar<sup>32</sup>, con la adición de bagazo y urea a los estanques se incrementa sustancialmente la producción de tilapias, debido a la biopelícula que se produce alrededor del bagazo. Según un estudio de P. Edwards et. al<sup>33</sup>, el material vegetal compostado ha demostrado ser buen alimento para las tilapias. En otro estudio realizado por Kishore K. Krishnani et al<sup>34</sup>, se encontró que el filtro hecho con bagazo de caña para tratar efluente de un estanque de camarones muestra una capacidad de asimilar nitrógeno amoniacal a tasas de hasta 6 g/L en 24 horas, que equivalen a 4.17 mg/L por minuto de contacto, lo que quiere decir que es bastante eficiente para remover el nitrógeno.

En un estudio de P. K. Pandey<sup>35</sup> se analiza el complejo ecosistema de las biopelículas. Allí se indica que éstas tienen una alta diversidad biológica, además de un gran valor nutritivo para los peces y camarones. También se encontró que dichas biopelículas tienen la capacidad de purificar el agua muy eficientemente.

En un estudio de Shilta, M.T et al<sup>36</sup>, se indica que el bagazo de caña ofrece mayor área superficial para el desarrollo la biopelícula que la que se tiene en bioportadores plásticos y en la paja de arroz, y que es más densa. También se comprobó que las especies predominantes en la biopelícula del bagazo son de los géneros Bacillus, Pseudomonas y Micrococcus, que también son comunes en sistemas de compostaje, y por lo tanto pueden desarrollarse bien en ambos medios

En estudios de Barnali Sarkar y Koushik Ghosh (Ref. B-41) se reporta que varias especies del género Bacillus además son celulolíticas, o sea que tienen la capacidad de degradar la celulosa para facilitar en uso del carbono por parte de los microorganismos. En un

---

<sup>31</sup> Glauber Cruz et. al. "Investigation of Porosity, Wettability and Morphology of the Chemically Pretreated Sugarcane Bagasse". 22nd International Congress of Mechanical Engineering. Ribeirão Preto, Brazil. 2013. <https://www.researchgate.net/publication/261872294>

<sup>32</sup> K. M. Shankar. "Promotion of Substrate Based Microbial Biofilm in Ponds – A Low Cost Technology to Boost Fish Production" Naga, The Iclarm Quaterly. 1.998. [http://pubs.iclarm.net/Naga/na\\_2288.pdf](http://pubs.iclarm.net/Naga/na_2288.pdf)

<sup>33</sup> P. Edwards et. al. "Compost as fish feed, a practical application of detritivory for the cultivation of tilapia". Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848683902399>

<sup>34</sup> Kishore K. Krishnani, et. al. "Bagasse-Assisted Bioremediation of Ammonia from Shrimp Farm Wastewater". Water Environment Research Vol. 78, No. 9, 2006. [https://www.jstor.org/stable/25053606?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/25053606?seq=1#page_scan_tab_contents)

<sup>35</sup> P. K. Pandey, Bharti K. Kumar. "Biofilm in aquaculture production" Academic Journals. African Journal of Microbiology Research. 2.014. [http://www.academicjournals.org/article/article1396286434\\_Pandey%20et%20al.pdf](http://www.academicjournals.org/article/article1396286434_Pandey%20et%20al.pdf)

<sup>36</sup> Shilta, M.T., Chadha, N.K., Pandey, P.K. et al. "Effect of biofilm on water quality and growth of *Etroplus suratensis*", Aquacult Int (2016). <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9956-x>

artículo de Wei Ren et al<sup>37</sup> se trata el papel de los organismos celulíticos en convertir el bagazo de caña en una fuente de carbono muy adecuada para la acuicultura.

El tallo de la caña contiene aproximadamente 16% de bagazo y el resto es jugo. Este jugo contiene alrededor de 14% de azúcares, de modo que el contenido de éstos en dicho tallo es de alrededor de 11.8% (Román Jiménez, Ref. B-29). Las hojas y cogollos corresponden a un 17% del bagazo. Se recomienda cosechar la caña por el método de entresaca para obtener un mejor contenido de azúcares en ésta.

Figura B-21 - Caña de Azúcar y el Bagazo



Las hojas, los cogollos y el bagazo de caña son materiales lignocelulósicos. La celulosa puede formar las 3 clases de estructuras siguientes<sup>38</sup>: Las fibras del haz vascular, que son finas y cortas, las fibras de corteza, que son más gruesas y largas, y el parénquima que tiene consistencia esponjosa. Estas estructuras están aglomeradas por la lignina. Según Sachin Yadav et al<sup>39</sup>, el contenido de lignina es bastante alto, entre 18 y 24%, lo cual le confiere una importante resistencia mecánica y a la degradación. Según el manual de compostaje de la FAO (Ref. B-48), la densidad del material a compostar está entre 150

---

<sup>37</sup> Wei Ren et al. "Tropical Cellulolytic Bacteria: Potential Utilization of Sugarcane Bagasse as Low-Cost Carbon Source in Aquaculture". PMC PubliMed Central. National Library Medicine NHI. 2.021.

[Tropical Cellulolytic Bacteria: Potential Utilization of Sugarcane Bagasse as Low-Cost Carbon Source in Aquaculture - PubMed \(nih.gov\)](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20210201/)

<sup>38</sup> Oscar Almazán del Olmo et.al. "El bagazo de la caña de azúcar. Propiedades, constitución y potencial". ICIDCA. Cuba. 2.016. <https://www.coursehero.com/file/46191990/El-bagazo-de-la-ca%C3%B1a-de-az%C3%BAcar-Propiedades-constitucion-y-potencialpdf/>

<sup>39</sup> Sachin Yadav, Gourav Gupta, Ravi Bhatnagar. "A Review on Composition and Properties of Bagasse Fibers". International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 5, May-2015. <https://www.ijser.org/researchpaper/A-Review-on-Composition-and-Properties-of-Bagasse-Fibers.pdf>



y 250 Kg/m<sup>2</sup>, y la del compost producido oscila entre 600 y 700 Kg/m<sup>2</sup>. Esto quiere decir que el volumen del compost corresponde al 33.3% al del material a compostar. Para el caso de las plantas Parab, la materia seca de la caña está conformada en un 49% de bagazo que se mantiene en el compost, y un 15% de hojas y cogollos que reducen su volumen en 33.3%.

Las hojas y cogollos de la caña tienen una composición similar a la de los forrajes, con contenidos de lignina menores del 7%, que le da una resistencia reducida a la descomposición. Por lo tanto, sirven de núcleo para bioflócs pequeños, y a la vez de fuentes de carbono. Se ha encontrado que la paja y el heno presentan una degradación de 6.5% de la hemicelulosa, y 9.1% de la celulosa, durante un periodo de compostaje de entre 4 y 8 días. Según José Monar<sup>40</sup>, estos tiempos de degradación se reducen cuando se añade una fuente de nitrógeno como la urea. Este tiempo de degradación podría esperarse para las hojas y cogollos de la caña que tienen una composición similar. Por lo tanto, estos materiales no son apropiados para constituirse en núcleos de bioflócs, cuya formación en el lecho de compostaje tarda 7 días, y se necesita que mantengan su integridad en el filtro percolador en el estanque durante más de 10.5 días. En un ensayo realizado sobre la degradación del forraje picado en el agua, se obtuvieron flóculos de celulosa de alrededor de 1 mm de grosor (ver figura siguiente), apropiados para alimentar alevinos, pero no para los peces mayores. Para ello se requiere que sean adsorbidos por los bioflócs.

Figura B-22 - Descomposición del Forraje Picado en el Agua



Según Barnali Sarkar y Koushik Ghosh<sup>41</sup>, se han encontrado bacterias celulolíticas en el tracto intestinal de la tilapia, lo cual indica que estos peces pueden digerir la celulosa,

---

<sup>40</sup> Jose Monar . "Biodegradabilidad de los elementos vegetales de sostén".

[https://www.academia.edu/20797956/Biodegradabilidad\\_de\\_los\\_elementos\\_vegetales\\_de\\_sosten\\_1](https://www.academia.edu/20797956/Biodegradabilidad_de_los_elementos_vegetales_de_sosten_1)

<sup>41</sup> Barnali Sarkar y Koushik Ghosh." Gastrointestinal microbiota in Oreochromis mossambicus (Peters) and Oreochromis niloticus Linnaeus)". International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 2014.

<http://www.fisheriesjournal.com/archives/?year=2014&vol=2&issue=2&part=B&ArticleId=221>

---

convirtiéndose en otra fuente de carbono para ellas, como se explica en el artículo de un artículo de Wei Ren et al. (Ref. B-3). Las fibras de celulosa que no son digeridas son excretadas, y sirven de aglomerante para las heces, en forma similar a los excrementos de rumiantes. Dichas heces pueden constituirse en núcleos de nuevos bioflócs.

En ocasiones se recomienda inocular el material a compostar con microorganismos para mejorar la calidad del compost producido, o reducir el tiempo de compostaje. Para el riego del compostaje se utilizan corrientes naturales, las cuales contienen toda clase de organismos que realizan este proceso. Por lo tanto, se considera que no se requiere la inoculación de los lechos con microorganismos compostadores. Estos se encuentran en la hojarasca en proceso de descomposición, y son arrastrados por la escorrentía hacia dichas corrientes.

El cultivo de la caña se puede consultar en un manual editado por la FAO y Corpoica<sup>42</sup>. Según este manual, se estima que una hectárea de caña produce 100 toneladas de tallos, sin incluir las hojas y cogollos, que corresponden a aproximadamente a 17 toneladas adicionales. Esta es quizá la mayor productividad que se tiene en el sector agrícola. La caña se cultiva en climas cálidos y templados, que son los mismos donde se cría la tilapia y el camarón. Por lo tanto, se puede tener el cultivo al lado de la planta Parab para minimizar los costos del transporte, o también colocar la planta de acuicultura en una zona panelera. Otro material vegetal que puede considerarse como fuente de carbono en el lecho de compostaje es la pulpa de café, que rica en azúcares, y que además se emplea para producir levadura de cerveza según un estudio realizado<sup>43</sup>.

Para la generación de biomasa por nitrificación heterótrofa, además del carbono se requiere principalmente el nitrógeno amoniacal. Como se indicó en el Capítulo B-5, una de las fuentes de nitrógeno más apropiadas y económicas es la urea. Esta sustancia acelera el proceso descomposición de la materia orgánica, y la formación de biopelícula. En un estudio de Kátia Fernanda Gobbil et. al<sup>44</sup> se ha demostrado que al regar el heno con una solución de urea, en una proporción de 80 gramos por kg de materia seca, en tiempo de degradación del material celulósico se redujo desde 24 a 72 horas a solo 12 horas. En este tiempo dicho material se transformó en compost. Para el proceso de biopelícula que se realiza en el lecho de compostaje, se recomienda regar el lecho con una solución de nutrientes formada por el jugo de caña, que suministra el carbono, y abono triple 15 que suministran nitrógeno, fósforo, potasio, y cal agrícola que suministra el calcio.

El tiempo estimado para la transformación de los nutrientes en biopelícula en un lecho de compostaje es de menos de una semana, que corresponde a la fase mesófila, mientras

---

<sup>42</sup> Guillermo Osorio Cadavid. "Manual Técnico en la Producción de Caña Panelera" FAO -Corpoica.  
<http://www.fao.org/3/a-a1525s.pdf>

<sup>43</sup> María J Gualtieri, Carolina Villalta, et. Al. "Producción de biomasa de *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida utilis* usando residuos de pulpa de *Coffea arabica* L.". Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel. 2.007. [http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-04772007000200004](http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04772007000200004)

<sup>44</sup> Kátia Fernanda Gobbil et. al. "Leaf tissues degradation of signalgrass hay pretreated with urea and submitted to in vitro digestion". Revista Brasileira de Zootecnia. Mayo de 2008.  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-35982008000500004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982008000500004)

que la formación de biopelículas en superficies sumergidas es de unos 14 días (F. Kubitza<sup>45</sup>). En el diseño de la planta Parab se contempló un tiempo de compostaje de 7 días para la formación de bioflócs sobre el bagazo de caña, considerado que se riega con una solución que contiene urea y jugo de caña con sacarosa, que agilizan la descomposición de la materia vegetal y la producción de biopelículas. Esta descomposición también se agiliza debido a que el sistema de recirculación realiza la inoculación en los lechos de microorganismos provenientes de los estanques, que son similares como se indica anteriormente.

Como se indica en la Tabla B-3 del Capítulo B-5, los bioflócs no producen suficiente lisina y lípidos, que son nutrientes esenciales en la acuicultura, Para producir la lisina, en la solución de nutrientes se adiciona biotina y luego se inocula con bacterias *Corynebacterium glutamicum*, lo cual genera una fermentación anaeróbica que produce dicha lisina. El proceso óptimo de producción de la lisina se describe en el documento de Amjed Hussain et al (Ref. B-22 del Capítulo B-5).

Esta solución se prepara en el pozo de nutrientes, y se recircula a través del lecho de compostaje mediante una bomba conectada a un sistema de riego por aspersión, que la distribuye en dicho lecho utilizando aspersores de hélice que se describen en el Capítulo F-3, y se muestran en la Figura F-16. De la descarga de esta bomba sale un ramal que recircula el agua dentro del pozo a través de boquillas de tubo transversal, con el fin de mezclar y homogenizar la solución de nutrientes. Dicha solución debe mantenerse en condiciones anaeróbicas para generar la fermentación que produce la lisina, y por lo tanto en las entradas del tubo transversal no se colocan mangueras para la entrada de aire, de tal forma que por allí entre agua que facilite la mezcla (ver Figura B-23 del Numeral B-7 a continuación).

También puede ser importante inocular el pozo de nutrientes con levadura de cerveza para facilitar el desarrollo de rotíferos, que tienen alto contenido de lípidos, como se indica en el Numeral B-5. Estos rotíferos deberán ser introducidos en los estanques. Las inoculaciones del pozo de nutrientes con levadura de cerveza y con las bacterias *Corynebacterium glutamicum* se hacen al inicio de la operación de la planta, y se repiten cuando se presenten factores que afecten la supervivencia de dichas especies en dicho pozo de nutrientes.

El drenaje de los lechos se realiza mediante tuberías, que captan el agua del lecho a través de cajas provistas de rejillas. Se recomienda que estas rejillas estén hechas con malla expandida tipo Colmallas IMT-20 con diagonales menores de 3 mm, fabricada con lámina galvanizada de 1.15 mm de espesor. Esta malla se coloca sobre un marco hecho con ángulos con las alas hacia afuera, que se apoyan sobre los bordes de la caja. Con estas especificaciones se controla la entrada de partículas que puedan obstruir los

---

<sup>45</sup> F. Kubitza. "Cultivo de Tilapias en Sistema de "Bioflocos", sin Renovación de Agua". Panorama de Acuicultura, mayo-junio, 2011.

[https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/archivos/000000\\_Desarrollos%20Acu%C3%ADcolas/130808\\_Cultivo%20de%20tilapias%20en%20sistemas%20con%20bioflocos.pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/archivos/000000_Desarrollos%20Acu%C3%ADcolas/130808_Cultivo%20de%20tilapias%20en%20sistemas%20con%20bioflocos.pdf)



aspersores. En caso de que se presente alguna obstrucción, es necesario desatornillar la hélice, y activar el flujo de agua por un lapso de tiempo para que remueva la obstrucción.

La etapa de recirculación entre el pozo de nutrientes y el lecho de compostaje dura 3.5 días. Existen 2 lechos de compostaje que se alternan, de modo que la duración de este proceso es de 7 días, luego del cual se palean los bioflócs formados allí hacia el filtro percolador.

También se establece otro proceso de recirculación entre dicho filtro y los los estanques de acuicultura, cuyo objeto es purificar el agua de los estanques, y facilitar el desarrollo de los bioflócs que se encuentran en el filtro percolador. Durante este segundo proceso de recirculación, los nutrientes que contiene el agua de los estanques son asimilados por los bioflócs contenidos en el filtro percolador, y convertidos en más biomasa. Esta etapa dura 3.5 días, y al final los bioflócs son llevados a los estanques, donde sirven de alimentación a peces y camarones. En dichos estanques, los bioflócs adsorben los nutrientes y sólidos suspendidos presentes allí, y de esta forma continúan su desarrollo. Esto se facilita debido a que muchos de los microorganismos que realizan el compostaje también se encuentran en estanques aireados.

En el proceso de recirculación entre los estanques y el filtro percolador, el agua es tomada del fondo de los estanques, donde se acumulan los sólidos decantados, y fluye hacia el filtro percolador por gravedad, siendo distribuida en su superficie mediante paneles con aspersores de hélice distribuidos en una parrilla. Esta parrilla es basculante, de modo que pueda moverse hacia arriba para facilitar las operaciones en los lechos de compostaje.

Luego de atravesar el filtro, el flujo es recolectado por una tubería de drenaje que la conduce al pozo de bombeo de recirculación. Allí se acumula hasta alcanza el nivel máximo, donde se encuentra un sensor que prende la bomba que impulsa el agua tratada de nuevo hasta los estanques, donde entra a través de boquillas de tubo transversal, que contribuyen a transferir oxígeno al estanque. Cuando el nivel del agua en el pozo alcanza el mínimo, un sensor apaga la bomba.

La tubería de drenaje que sale del fondo del estanque tiene un diámetro de 6", y las velocidades allí son en orden de 0,34 m/s, que facilita la decantación de los lodos. Antes de llegar a la tubería de succión de la bomba de aireación, se encuentra una te de 6" con salda hacia abajo, que conecta con la tubería de salida hacia el filtro percolador (ver Figura B-11 del Capítulo B-3). Esta te actúa como separador de los lodos orgánicos, los cuales se conducen hacia dicho filtro, donde son incorporados a los bioflócs que se desarrollan allí. La recirculación del agua de los estanques a través del filtro percolador compuesto por bioflócs es bastante efectiva para purificarla. Su gran biomasa de bacterias heterótrofas garantiza que casi todos los nutrientes que contiene el agua sean removidos. Además, la consistencia pegajosa de las biopelículas les permite adsorber eficientemente los sólidos suspendidos.

Una vez producidos los bioflócs en el filtro percolador, se vierten en los estanques, utilizando para ello las canastas que se vacían en los toboganes. Los bioflócs se deslizan

por dichos toboganes, y llegan a la zona donde la turbulencia generada por los chorros que salen de las boquillas, los mantienen en suspensión, y además facilita el contacto de los bioflócs con el oxígeno y los nutrientes contenidos en el estanque. Parte de los bioflócs puede quedar almacenado en las canastas para un posterior suministro. En los estanques, los bioflócs asimilan los nutrientes y crecen, debido al proceso de biopelícula de lecho móvil, para posteriormente ser consumidos por los peces y camarones.

El suministro de bioflócs debe estar de acuerdo con los requerimientos de los estanques. Por lo tanto, cuando llegue el momento de suministrar nuevo alimento, es importante medir la cantidad de bioflócs presente en los estanques mediante un cono Imhoff, que registra la concentración de sólidos sedimentables en el agua. El exceso en la alimentación también se puede detectar cuando se observan acumulaciones de bioflócs en el fondo. Si existe dicho exceso, es necesario reducir la cantidad de compost a procesar y suministrar en el siguiente periodo, puesto que, de lo contrario, se aumenta el consumo de oxígeno, y se pueden generar descomposición anaeróbica. Para sistemas de bioflócs tradicionales, Avnimelech recomienda una concentración óptima de bioflócs de 400 mg/L para la tilapia, y 200 mg/L para el camarón (Ref. B-11). Esta última equivale a un volumen de aproximadamente 15 ml/L en el cono de Imhoff, y a partir de dicho valor se recomienda restringir el suministro de bioflócs.

En el lecho de compostaje y el filtro percolador, el riego se realiza a través de paneles de tuberías provistas de aspersores de hélice, que se describen en el Capítulo F-3. Estos aspersores han sido desarrollados para este propósito, y están diseñados para trabajar con la diferencia en nivel de agua entre el estanque y el lecho de compostaje, que es muy baja. Los aspersores de hélice se muestran en las figuras F-16 y F-17, y tienen la capacidad de fraccionar el agua y distribuirla adecuadamente sobre el lecho. Los aspersores se ubican en paneles de tuberías, los cuales están sujetos mediante abrazaderas a uno de los bordes del lecho, de tal forma que, cuando se requiera suministrar o extraer material de éste, se puedan girar para colocarlos en posición vertical. La conexión de estos paneles se hace mediante uniones universales, que permiten esta rotación.

El flujo de agua a través del lecho de compostaje ayuda a controlar su temperatura. En los sistemas de compostaje actuales, las temperaturas normalmente tienden a aumentar hasta valores superiores a 50° C, lo cual inhibe a los microorganismos de los estanques, que son mesófilos, y promueve el crecimiento de otros microorganismos, llamados termófilos. El enfriamiento se debe a la aireación y la evaporación que realizan en las boquillas de los sistema de aspersión de los lechos de compostaje, y en el bagazo poroso que los conforman. Estos tres mecanismos también contribuyen a llevar oxígeno a los bioflócs de los lechos.

La fuente de carbono el filtro percolador procede de la descomposición del bagazo, que es la misma fuente que se utiliza para el desarrollo de los bioflócs dentro del estanque. En ambos casos, el carbono se utiliza esencialmente para remover el nitrógeno procedente de las excretas y otros desechos que producen los peces y camarones, y convertirlos en biomasa. Como se observa en la Tabla B-10, de las 3 fuentes de carbono que

proporciona la caña, el bagazo constituye el 49% de éste. El bagazo se degrada lentamente. Los otros dos componentes de la caña son el jugo, que constituye el 36% del carbono, y las hojas y cogollos, que constituyen el 15% restante. Todos estos son fuentes de carbono de rápida asimilación por los microorganismos. En los cálculos, los análisis de los consumos de carbono se hacen para los estanques de engorde, puesto que éstos consumen alrededor del 64.7% del total de dicho elemento, y también del alimento. El suministro de ambos elementos es crítico en la etapa de engorde.

Luego de terminado el ciclo de producción de los bioflócs en un lecho de compostaje, y de que éstos hayan sido transportados al filtro percolador, se inicia la producción de nuevos bioflócs en dicho lecho. Antes de iniciar este proceso puede ser necesario desocupar el pozo de compostaje, si la calidad del agua se ha deteriorado. Esto se hace poniendo a funcionar la bomba y abriendo la válvula de la tubería que conduce el agua hacia el cultivo de caña. Un sensor de nivel apaga la bomba cuando éste haya llegado a su mínimo

El primer paso para producir los bioflócs es pesar la caña a procesar en una báscula de plataforma industrial con capacidad de alrededor de 1.500 kg. Luego se cortan con un machete los cogollos que sobresalen a un costado de la báscula, y se pican en la picapastos. A continuación se exprimen los tallos en el trapiche, y el jugo sale por una tubería hacia el pozo de nutrientes. El bagazo de la caña que sale del trapiche se pica en la picapastos ensiladora, que se va desplazando para repartirlo en el lecho. La picapastos tiene un ducto de salida que envía el bagazo picado directamente al lecho de compostaje, aprovechando de corriente de aire que produce.

Posteriormente se prepara la solución de nutrientes como se indica a continuación. En primer lugar, se llena el pozo de nutrientes de agua. Para ello se abre la válvula de paso ubicada en la derivación de la tubería que va de los estanques al filtro percolador, la cual tiene una válvula de flotador en la entrada al pozo de nutrientes, que evita que el nivel suba sobre el requerido. Cuando el agua haya alcanzado dicho nivel, se cierra la válvula de paso. A continuación, se preparan en valdes las dosis de los nutrientes químicos requeridas en el ciclo, las cuales se vierten en el pozo de nutrientes. La primera solución que se prepara en el pozo de nutrientes debe ser inoculada con levadura de cerveza y bacterias *Corynebacterium glutamicum*.

Esta solución se distribuye en el lecho de compostaje a través de un sistema de riego provisto de aspersores de hélice, que está accionado por una bomba. En la descarga de ésta se encuentra una derivación que recircula parte del caudal hacia el pozo a través de dos boquillas de tubo transversal, que facilitan la mezcla de los nutrientes y la oxigenación de la solución. Al inicio del bombeo hacia el lecho de compostaje, se cierra la válvula de la tubería que lleva hacia dicho lecho, con el fin de que se produzca solo una recirculación que homogenice y oxigene de la solución de nutrientes. Luego se abre dicha válvula en cierto grado, de tal manera que los chorros de los aspersores no salgan por fuera del lecho.

Los microorganismos que realizan los procesos de descomposición de la celulosa para producir carbono asimilable por la cadena trófica acuática son principalmente

actinomicetos, hongos del género *Streptomyces*, y bacterias celulolíticas del género *Cellulomonas*<sup>46</sup>. Estos organismos son compostadores de primer nivel que consumen materiales vegetales directamente, y facilitan el desarrollo de otros compostadores de segundo nivel, entre los cuales se encuentran algunos que hacen parte del zooplancton, como los rotíferos, protozoos y nemátodos. Los hongos, tales como la levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*), también contribuyen a degradar los materiales celulósicos en el compostaje<sup>47</sup>.

En la formación de la biopelícula intervienen las bacterias, principalmente de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas*, y los hongos, entre los cuales está la levadura de cerveza que tiene un importante papel en la alimentación del zooplancton, alevinos y camarones. En el filtro percolador pueden existir especies compostadoras no acuáticas, como es el caso de cochinillas de humedad y de los colémbolos, que se alimentan de materia vegetal en descomposición y pueden servir de alimento a peces y camarones. La cochinilla de humedad (*Armadillidum vulgare*) es un crustáceo terrestre de hasta 3 cm de longitud con alto valor nutritivo. Para el desarrollo de las cochinillas se requiere condiciones de humedad y sombra. La pintura hidrofóbica que se colocaría en las paredes de los lechos es lisa, lo cual evita que las cochinillas escapen. Las cochinillas se alimentan de sus propias heces y de la piel que mudan.

En un manual de la FAO se describen los procesos de compostaje y las estructuras para realizarlos<sup>48</sup>. El control de la temperatura es importante para la obtención de bioflócs en el lecho de compostaje. De acuerdo con este documento, las tasas óptimas para la fase mesófila del compostaje se encuentran a temperaturas entre 25 y 40°C. Luego se produce la fase termófila, donde la temperatura sube hasta 45°C, y los microorganismos propios del bioflóc desaparecen. El bagazo es un material fibroso que tiene una alta porosidad, como se aprecia en la Figura B-21), lo cual facilita el flujo de aire y la evaporación, y por lo tanto la reducción de la temperatura. Esta reducción también se produce a través del sistema de riego por aspersión del lecho de compostaje, que induce la evaporación del agua y la pérdida de calor.

---

<sup>46</sup> "Microorganismos Implicados en el Proceso de Elaboración de Compost". [www.ugr.es/~cjl/compost.pdf](http://www.ugr.es/~cjl/compost.pdf)

<sup>47</sup> Roa Vega Maria Ligia .FAO. "Effect of *Saccharomyces cerevisiae* and three fiber types in the ruminal degradability of nutrients for bovines". 1.992.

<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=MX19950101711>

<sup>48</sup> FAO. "Manual de Compostaje del Agricultor - Experiencias en América Latina". Chile, 2.013.

<http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

---

### ***B-7. AIREACIÓN DE ESTANQUES DE ACUICULTURA CON BOQUILLAS DE TUBO TRANSVERSAL***

La aireación tiene como función suministrar el oxígeno disuelto que necesitan las especies acuáticas a cultivar en los estanques, y los microorganismos que les sirven de alimento. De acuerdo con Yoram Avnimelech (Ref. B-11), la concentración de oxígeno por debajo de 2 mg/l son perjudiciales para los peces. En el caso de la tilapia y el camarón, Yoram Avnimelech recomienda que las concentraciones de oxígeno estén sobre los 4 mg/l. Sin embargo, estas especies pueden tolerar concentraciones tan bajas como 1 mg/L. En la Tabla B-8 a continuación se encuentran los cálculos de la aireación de la planta Parab para el cultivo de tilapias, donde se asumió una concentración de oxígeno disuelto de 4 mg/L.

Los peces y camarones requieren el oxígeno para la respiración y el crecimiento. En la respiración se utiliza el oxígeno para oxidar el carbono como una forma de generar energía. En los peces y camarones, el consumo de oxígeno es función de la etapa de desarrollo. En sus primeras etapas de crecimiento, el consumo de oxígeno y de alimento con relación a su peso es bastante alta, y disminuye en las etapas finales.

El máximo consumo de oxígeno ocurre al final del ciclo de engorde, cuando se tiene la mayor cantidad de biomasa. El sistema de aireación se diseña para dicho consumo, pero existe la necesidad ajustar el suministro de oxígeno a las necesidades, debido a que la aireación consume gran cantidad de energía. Se recomienda que la operación de la bomba de aireación esté controlada por un sensor en línea de oxígeno disuelto, para que se mantenga la concentración de oxígeno disuelto alrededor de los 4 mg/L.

Según la Ecuación A-7, el consumo de oxígeno en un estanque de acuicultura  $CO$  se puede calcular como la la tasa de consumo de oxígeno por parte de de la biomasa OUR (en inglés Oxygen Uptake Rate) en mg/L de  $O_2$  por hora y por  $m^3$  de estanque, multiplicada por el volumen del estanque. El sistema de aireación se diseña para suministrar una transferencia de oxígeno, llamada OTR por sus siglas en inglés Oxygen Transfer Rate, que cubra dicho consumo de oxígeno.

En el Capítulo A-1 se plantea una forma de establecer experimentalmente el valor de la OUR, la cual tiene un valor relativamente constante en todo el estanque, debido a que la biomasa, que está representada esencialmente por bioflócs, peces y camarones, se distribuye de forma relativamente uniforme en el estanque. Para ello se suspende la aireación, y entonces la concentración de oxígeno comienza a reducirse. El valor de la OUR es igual a la pendiente de la curva de la concentración de oxígeno disuelto contra el tiempo, como se observa en Figura A-1, puesto que la pérdida de oxígeno en cada  $m^3$  de agua se debe al consumo de éste por parte de la biomasa que hay en ese volumen. De este modo que de esta curva se puede deducir la relación entre la concentración de  $O_2$  y la OUR. Dicho consumo OUR disminuye a medida de la concentración de  $O_2$  se reduce. La tasa de suministro de oxígeno del sistema de aireación se puede establecer experimentalmente midiendo la pendiente de la curva  $dC/dT$  cuando se suspende la aireación. Este suministro es válido para la concentración de oxígeno alcanzada antes de

la suspensión. Estos ensayos se pueden repetir para varias cargas de peces para encontrar la carga máxima que se puede tener con la concentración recomendada de 4 mg O<sub>2</sub>/L con el sistema de aireación.

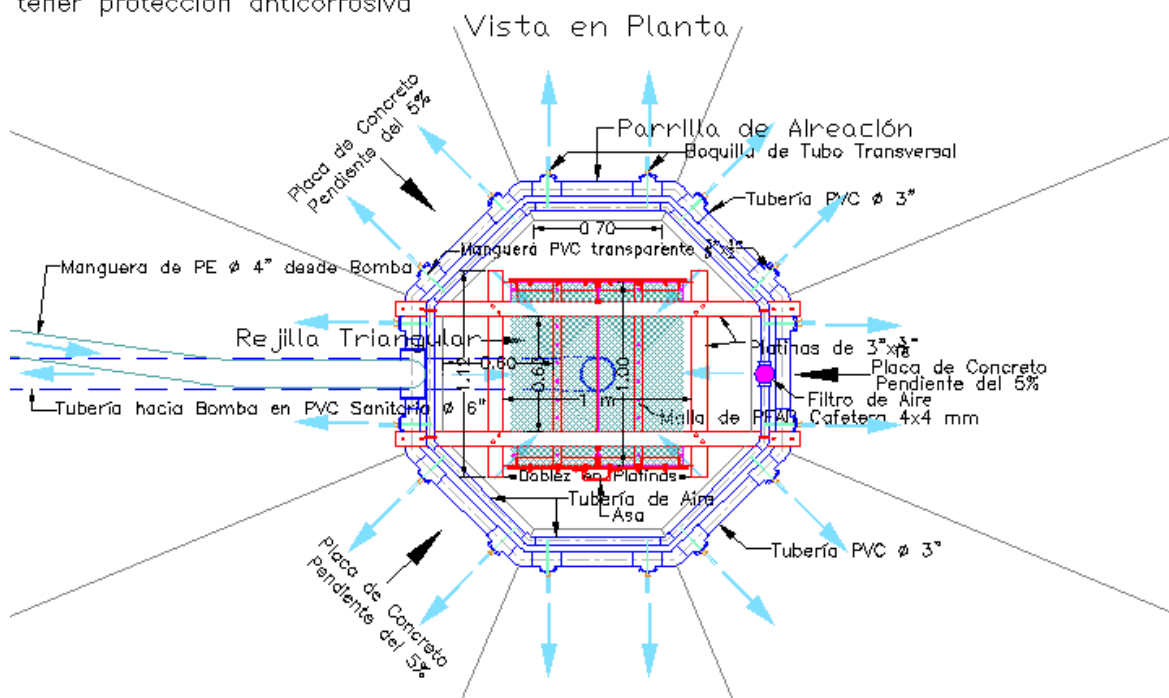
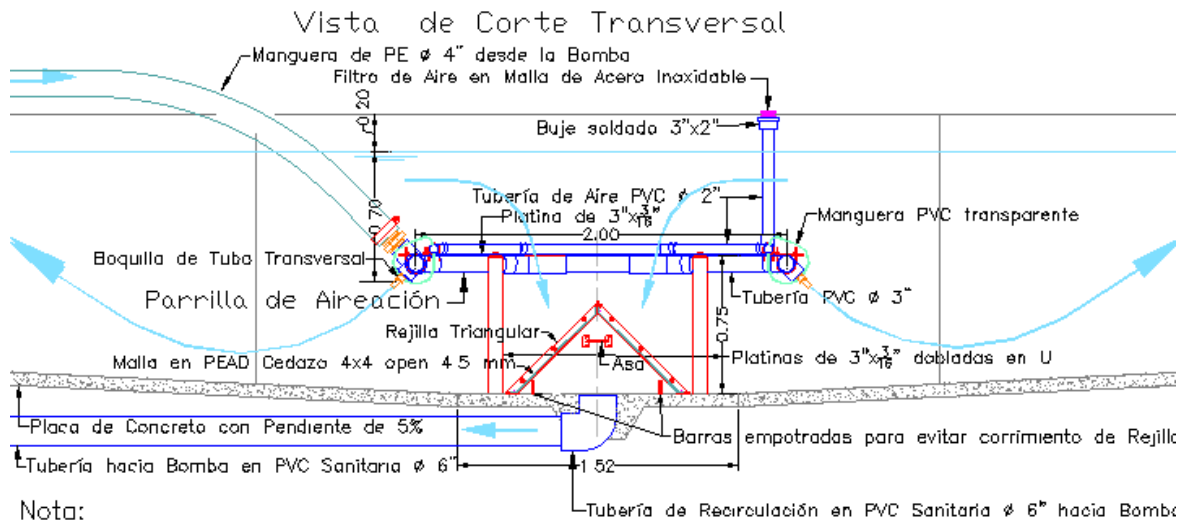
Para la aireación de los estanques de acuicultura se ha desarrollado la boquilla de tubo transversal, que se trata en el Capítulo A-4, y que funciona de manera similar a dos venturis. Las dimensiones de la sección transversal permiten optimizar la eficiencia en la transferencia de oxígeno. Los venturis son muy apropiados para el desarrollo de los bioflócs, debido a que transfieren oxígeno al agua a la vez que generan una turbulencia que mantiene dichos bioflócs en suspensión, como lo señala la guía de Yoram Avnimelech y Andrew J. Ray (Ref. B-77). La eficiencia SOTE (Standard Oxygen Transfer Efficiency) de la boquilla de tubo transversal, se calcula mediante la Ecuación A-18 de M.R. Ghomi et al (Ref. A-19), y a partir de ella se calcula la transferencia de oxígeno SOTR al agua mediante la Ecuación A-19. En el caso de la planta Parab, la eficiencia de la transferencia SOTE en condiciones estándar es de 2.13 Kg O<sub>2</sub>/kW-h, y la tasa de transferencia SOTR se estima en 1.18 KgO<sub>2</sub>/hora en condiciones standard, que se reduce a 0.47 KgO<sub>2</sub>/hora en condiciones de terreno ( ver Tabla B-8).

Cada módulo compuesto por un par de estanques donde se realiza una etapa de cría cuenta con una bomba de la aireación y recirculación, que toma el agua de una salida ubicada en el fondo de los estanques, y la inyecta en éstos a través del panel de aireación, donde se encuentran las boquillas que realizan la transferencia de oxígeno al agua. Como se aprecia en la Figura B-23 a continuación, estas boquillas están dispuestas radialmente alrededor del centro del estanque, y sujetadas a un soporte. Los chorros salen hacia afuera, con un ángulo hacia abajo de 45°, de modo que arrastran las burbujas en esta dirección, lo cual aumenta la permanencia de éstas en el agua, además de barren el fondo para mantener en suspensión los bioflócs en todo el estanque. Esto es importante, porque los bioflócs y otros desechos orgánicos tienen una densidad ligeramente superior a la del agua y tienden a hundirse, y los chorros mantienen estos elementos en suspensión, lo cual facilita el desarrollo de las biopelículas sobre ellos.

El drenaje de los estanques se hacen mediante una tubería de purga, cuya boca se encuentra en el centro del estanque, donde se encuentra una zona de calma que facilita la decantación de los lodos allí. Dicha tubería de drenaje tiene un diámetro de 6", y las velocidades allí son en orden de 0,34 m/s, que facilita la decantación de los lodos en ella. Antes de llegar a la tubería de succión de la bomba de aireación, se encuentra una te de 6" con salda hacia abajo, que conecta con la tubería de salida hacia el filtro percolador (ver Figura B-10). Esta te actúa como separador de los lodos orgánicos, los cuales son conducidos hacia dicho filtro, donde alimentan los bioflócs que se desarrollan allí. Se calcula que con este sistema, la gran mayoría de las excreciones de los peces y camarones sean removidos en el filtro percolador, sin embargo una porción de éstas se remueven en el estanque, lo que ocasiona un consumo de oxígeno disuelto de debe ser tenido en cuenta. En la siguiente figura se muestran el sistema de aireación del estanque mediante boquillas de tubo transversal, y la salida del agua de retorno hacia la bomba.



Figura B-23. Detalles del Sistema de Aireación y Recirculación del Estanque



Cualquier interrupción en el funcionamiento de las bombas acarrearía graves riesgo para la supervivencia de peces y camarones, y por lo tanto es importante contar con una planta eléctrica de respaldo para evitar esta eventualidad. El motor de la bomba puede requerir mantenimiento o cambio. Para facilitar estas operaciones es recomendable la utilización de bombas de eje libre, o aquellas en las que el motor y la carcasa se apoyan independientemente sobre patas, lo cual facilita remover el motor sin tener que desmontar la bomba de la tubería. El rodete de la bomba puede durar bastante tiempo, puesto que tiene velocidades rotacionales de 1.150 a 1.750 rpm, y el agua no contiene partículas abrasivas.



Para proteger la bomba de la lluvia, de las inclemencias del tiempo, se ha previsto colocarle una cubierta basculante, que esta sujeta del piso mediante una bisagra tipo pistón, que se describe en el Numeral F-5.5.3 y se muestra en la Figura F-41. Esta cubierta protege la bomba de la lluvia, a la vez que facilita la ventilación del motor. Dicha cubierta tiene una manta en lana de vidrio con revestimiento reflectivo, que protege la bomba de las altas temperaturas que produce la radiación solar, especialmente en climas cálidos. Esta manta también reduce el ruido que produce el motor.

Los chorros salen de las boquillas hacia afuera y hacia abajo, llegan hasta al fondo. Luego el agua sube hacia la superficie arrastrada por las burbujas, y se dirigen hacia el centro del estanque, donde se encuentra la salida hacia la bomba. Esta trayectoria facilita la distribución del oxígeno en todo el estanque, como se observa en la Figura B-23 anterior. De acuerdo Fadzai Kadzinga<sup>49</sup>, para obtener una mayor eficiencia en la transferencia de oxígeno en los venturís, sus chorros deben estar separados más de 8 cm del fondo (Figura 5.13 Ref. B-49), y la toma de la bomba de recirculación debe estar separada de dichos chorros, para evitar cortos circuitos (Figura 5.8 Ref. B-49). Estas condiciones se tienen en el diseño descrito.

El estanque tiene una pendiente del 5% hacia el centro, donde se encuentra la salida hacia la bomba, lo cual facilita la recirculación de los sólidos suspendidos decantados, y la salida de éstos hacia el filtro percolador por una derivación de la tubería de recirculación y aireación. De esta forma se evita que se acumulen heces y otros residuos en el fondo, los cuales pueden originar condiciones anaeróbicas. Con la disposición de los chorros de las boquillas desde el centro del estanque hacia afuera, se forma una zona de reposo en dicho centro que facilita la decantación de los sólidos suspendidos allí, como se aprecia en la Figura B-23 anterior.

De acuerdo a lo indicado en el Capítulo A-4, para optimizar la eficiencia en la transferencia de oxígeno, el tubo transversal de las boquillas estaría ubicada a una profundidad de alrededor de 70 cm, con lo cual se puede airear a profundidades de hasta 1 m, considerando la inclinación de 45° hacia debajo de los chorros. Esta profundidad se mide desde la entrada de los tubos transversales a la boquilla hasta la superficie del agua.

La salida de los estanques hacia los dos sistemas de recirculación se hace a través de una rejilla triangular doble con en malla de polietileno de alta densidad, la cual tiene aperturas que impiden la salida de peces o camarones. Esta rejilla se trata en el Numeral F-5.3. El agua sale del fondo de los estanques hacia el filtro percolador por gravedad, y allí es distribuida mediante aspersores de hélice. El drenaje del filtro percolador se hace hacia cajas de drenaje, que llevan el agua al pozo de recirculación mediante una tubería. En dicho pozo se encuentra la bomba que retorna el agua hacia los estanques de acuicultura a través de boquillas de tubo transversal, que facilitan su distribución en los estanques, y además contribuyen la aireación. Dicha bomba es operada por sensores de

---

<sup>49</sup>Fadzai Kadzinga. "Venturi Aeration of Bioreactors". Thesis s for the degree of Master of Science in Engineering. University of Cape Town. 2.015.

[https://open.uct.ac.za/bitstream/item/14660/thesis\\_ebe\\_2015\\_kadzinga\\_f.pdf?sequence=1](https://open.uct.ac.za/bitstream/item/14660/thesis_ebe_2015_kadzinga_f.pdf?sequence=1)

nivel, que la prenden cuando el nivel en el pozo llega a un máximo, y la apagan cuando llega al nivel mínimo.

Esta recirculación entre el filtro percolador y los estanques facilita la remoción de contaminantes y la purificación del agua de forma bastante eficiente, y además incrementa la biomasa en los bioflócs contenidos en el filtro percolador. El detalle de la instalación de las boquillas de tubo transversal se aprecia en la Figura A-17.

En la siguiente tabla se encuentran los cálculos de la parrilla de aireación de los estanques de tilapias. En el caso del cultivo de camarones, el consumo máximo de oxígeno es menor, puesto que requieren una concentración de oxígeno similar (Ver Numeral B-9.2), pero la cantidad máxima de biomasa en los estanques de engorde calculada es de solo 3,96 Kg/m<sup>3</sup>, cuando en el caso de las tilapias es de 25.48 Kg/m<sup>3</sup>, como se observa en las Tablas B-12 y B-22.

En el cálculo del oxígeno de la Tabla B-7, no se tuvo en cuenta el aumento de la concentración de oxígeno en 2 mg/L al paso del agua a través del filtro percolador, de acuerdo con el estudio del IMTA (Ref. B-30 del Capítulo B-6). Dentro del consumo de oxígeno se incluyó el correspondiente a la nitrificación de las excretas y residuos generados por los peces. Sin embargo, ésta no se realiza totalmente en los estanques, y la mayor parte de ésta ocurre en el filtro percolador. Por lo tanto el consumo de oxígeno puede ser bastante inferior al estimado, lo cual le da un factor de seguridad importante al diseño de sistema de aireación proyectado.

Tabla B-8 – Parrilla para Aireación de Estanques con Boquillas de Tubo Transversal

<b>Clasificación de la Información</b>	
<b>Información de Entrada</b>	
Variables Principales de Entrada	
Parámetros de Diseño Asumidos	
Parámetros tomados de la Literatura Científica o Técnica	
<b>Información de Salida</b>	
Resultados Finales e Indicadores de Desempeño	
Indicadores de Control	
Parámetros y Datos de Diseño Calculados	
Otros Cálculos	

**Características del Sistema de Aireación**

Velocidad de Flujo en Garganta	Vt	9,50	m/s
Cabeza de Velocidad en Garganta	hv	4,60	m
Caudal por Boquilla	Q	0,77	Lps
Potencia Hidráulica por Boquilla	Ph	0,035	Kw
No de Boquillas por Parrilla		16	u
Caudal por Parrilla		12,26	Lps

**Transferencia de Oxígeno por Parrilla**

Concentración de OD Media en el Estanque	Cl	4,00	mg/L
Altitud		1.000	msnm
Temperatura	T°C	25	oC
Area de Garganta		80,65	mm <sup>2</sup>
Diámetro Equivalente de la Boquilla	D = 2*H	6,35	mm
Eficiencia en Transferencia de O <sub>2</sub> en Condiciones Estándar	SOTE	2,13	Kg O <sub>2</sub> /Kw-h
Potencia Hidráulica por Parrilla		0,55	kW
Transferencia de O <sub>2</sub> en Condiciones Estándar por Parrilla	SOTR	1,18	Kg O <sub>2</sub> /hora
Presion a Nivel del Mar	P	101,33	kPa
Factor de Presión		-0,11	
Presión en el Sitio	Pt	90,35	kPa
Salinidad del Agua		0,00	gr/L
Concentración de Saturación de O <sub>2</sub> para Temperatura	Cs <sub>T</sub>	8,24	mg/L
Concentración de Saturación de O <sub>2</sub> para Temperatura y Altitud	Cs <sub>TA</sub>	7,35	mg/L
Profundidad de las Boquillas a 45°		0,70	m
Penetración Adicional del Chorro		0,30	m
Profundidad de Aireación		1,00	m
		9,80	kPa
Concentración de Saturación de O <sub>2</sub> en el Terreno	Cst	7,75	mg/L
Factor de Corrección de Transferencia de O <sub>2</sub>	α	0,95	
Factor de Corrección por Salinidad y Tensión Superficial	β	0,95	
Saturación de O <sub>2</sub> en Condiciones Standard (nivel del mar y 20°C)	Cst	9,08	mg/L
Factor Tranferencia de O <sub>2</sub> en Condiciones Reales	N	0,396	
Transferencia de Oxígeno en Condiciones de Terreno por Parrilla	AOTR	0,47	Kg O <sub>2</sub> /hora

**Bombeo de Aireación en Estanques**

	m <sup>3</sup> /h	GPM	Lps
Caudal de Diseño de los Estanques	88,26	388,33	24,52
Pérdidas de Cabeza en la Boquilla		4,60	m
Pérdidas de Cabeza en Tuberías de Descarga		1,04	m
Diferencia de Altura		-	m
Total Cabeza de Bombeo		5,65	m
Eficiencia de Bombeo		80%	
Potencia de Bombeo en Cable		1,70	Kw
		2,28	HP

Debido a la gran eficiencia de las boquillas de tubo transversal en transferir oxígeno agua y en distribuirlo en los estanques, se pueden tener altas densidades de peces y camarones, lo cual reduce el tamaño de los estanques y sus costos de inversión. Las boquillas de tubo transversal son los dispositivos más apropiados para airear estanques de acuicultura por las siguientes razones:

- Se estima que la eficiencia energética en la transferencia de oxígeno SOTE (Standard Oxygen Transfer Efficiency) es de 2.13 kgO<sub>2</sub>/kW-h, que es destacada respecto a otros equipos utilizados en acuicultura, como se indica en la Tabla A-5 del Capítulo A-5.
- Las boquillas tienen la capacidad de generar la turbulencia requerida para los procesos de biopelícula, como es el caso de los estanques de acuicultura.
- Mediante este sistema también se realiza una recirculación que optimiza la distribución el oxígeno en todo el volumen de agua, y además activa el proceso de purificación del agua de los estanques a través del filtro percolador.
- En el estudio realizado por Fadzai Kadzinga donde se utilizaron venturis para el cultivo de levadura, se indica que éstos no dañan los microorganismos, como sí sucede con aireadores de paletas o splash (turbina), donde las fuerzas cortantes sobre el agua causan la muerte de las células. (Kadzinga Ref. B-49, Figura 5.14).

Con los sistemas de aireación propuestos se evitan los problemas de suministro de oxígeno que tienen estanques de bioflócs que se utilizan actualmente, los cuales utilizan difusores de burbujas, o sistemas de paletas o splash que se mencionan en el Numeral A-2.2, donde la aireación no produce una mezcla suficiente en el volumen de agua para mantener los bioflócs en suspensión, y para distribuir adecuadamente el oxígeno en los estanques.

Para el cálculo del consumo de oxígeno se pueden utilizar las ecuaciones establecidas en un estudio realizado en la Universidad de los Llanos en Villavicencio<sup>50</sup>, en la cual se consideraron temperaturas de 18° C, 24°C y 30°C, que se encuentran a continuación.

Ecuaciones B-6

$$\text{Temperatura de } 18^{\circ} \text{ C: } CO = 249 - 22.5 \times \ln(PC)$$

$$\text{Temperatura de } 24^{\circ} \text{ C: } CO = 377 - 34.6 \times \ln(PC)$$

$$\text{Temperatura de } 30^{\circ} \text{ C: } CO = 579 - 75.5 \times \ln(PC)$$

Donde CO es el consumo de oxígeno en mg/hora por kilogramo de pez, y PC es el peso corporal de éstos en gramos. Este consumo se multiplica por el peso total de los peces para obtener la cantidad de oxígeno que se requiere por este concepto.

---

<sup>50</sup> Valbuena-Villarreal, R.D.y Cruz-Casallas, P. E. "Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis* sp). Universidad de los Llanos, Villavicencio. Revista Orinoquia, 2006. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89610107>

Otra parte del oxígeno se requiere para la nitrificación de las excreciones de los peces, cuya tasa de producción se puede calcular con la siguiente ecuación de G. R. Rafiee, <sup>51</sup>.

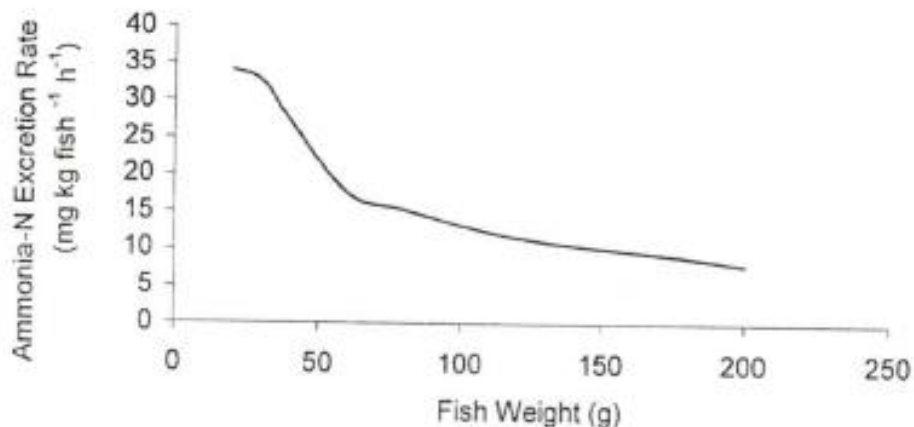
$$N = 0.0014 \times PC^2 - 0.4384 \times PC + 42.303 \quad \text{Ecuación B-7}$$

Donde N es la producción de nitrógeno amoniacal debido a las excreciones en mg/hora por kilogramo de peces, y PC es el peso corporal de éstos en gramos. Esta tasa se multiplica por el peso total de los peces para obtener la tasa total de nitrógeno amoniacal que llega al agua por las excreciones. Gran parte de la nitrificación de excreciones de los peces y camarones se realiza en el filtro percolador, puesto que éstos se decantan en el fondo del estanque, desde donde salen hacia dicho filtro a través del sistema de recirculación. Para el diseño de las plantas Parab para peces y camarones se asumió que el 50% del nitrógeno amoniacal se remueve en el filtro percolador y el resto se nitrifica en los estanques, en un proceso que consume parte del oxígeno disuelto que trasfiere el sistema de aireación. Para nitrificar cada gramo de nitrógeno amoniacal se requieren 4.71 gramos de oxígeno disuelto.

A continuación, se presenta la gráfica de la tasa de excreción de nitrógeno amoniacal por kg de peces en función del tamaño de éstos, la cual cubre a peces de hasta 200 gramos. Según la ecuación anterior, la tasa subiría a partir de partir de un peso de 180 gramos, cuanto tiene un valor de 8 mg N/kg de peces- hora, lo cual no resulta lógico. Por lo tanto, se recomienda adoptar esta tasa para peces con pesos superiores a dicho peso.

Figura B-24

Tasa de excreción de Nitrógeno Amoniacal para los Peces en función de su Peso



A)  $Y = 0.0014 X^2 - 0.4384 X + 42.303 \quad R^2 = 0.97$

Fuente: G. R. Rafiee, (Ref. B-51).

<sup>51</sup> G. R. Rafiee et al. "Estimation of Ammonia Excretion Rates during a Period of Red Tilapia (*Oreochromis* sp. Culture, Considering Biomass Increase in a Water Recirculating System". Iranian Journal of Fisheries Sciences. 2.006. <http://jifro.ir/article-1-3130-fa.pdf>

La aireación mediante las boquillas proporciona las condiciones de que son necesarias para poner en contacto a la biopelícula de los bioportadores con los contaminantes y con el oxígeno. La intensidad mezcla, que corresponde a la energía específica utilizada en la agitación del agua, varía desde 1 a 10 w/m<sup>3</sup> en sistemas de bioflócs corrientes, hasta alrededor de 100 w/m<sup>3</sup> en sistemas super intensivos. En sistemas de bioflócs actuales, el tamaño de éstos disminuye al aumentar la energía específica de mezcla, debido que los esfuerzos cortantes que produce la turbulencia tienden a fragmentarlos (Roselien Crab Ref. B-20). Esto genera turbiedad y dificulta la alimentación de los peces mayores, por lo cual se recomienda tener una Energía Específica para Mezcla menor de 10 w/m<sup>3</sup>. En la Figura B-3 de P. De Schryver, et al. (Ref. B-7) se aprecia el efecto dicho parámetro en la estabilidad de los bioflócs. En un ejemplo de diseño de una planta Parab para tilapias, se calculó una energía específica de mezcla de 6.87 w/m<sup>3</sup> (ver Tabla B-9 a continuación).

Con la introducción de bioflócs celulósicos se evita la fragmentación de la biomasa, pues los bioportadores de fibras de celulosa tienen alta resistencia mecánica, y tienden a aglutinar eficientemente los sólidos suspendidos, como ocurre en los procesos de biopelícula con bioportadores plásticos. Esto reduce la turbiedad y facilita el desarrollo de los bioflócs para la alimentación de los peces.

Los sistemas de aireación de turbinas o paletas, que se utilizan actualmente, se limitan a agitar el agua en áreas reducidas del estanque, pero no producen una recirculación de toda el agua de éste, ni una mezcla entre el fondo y la superficie, como se logra con el sistema de aireación con boquillas de tubo transversal.

Según la literatura técnica, en los estanques de acuicultura semi intensiva el agua debe renovarse cada 10 días. Se estima que en la planta Parab se puede producir una recirculación de toda el agua de los estanques en unas 15.8 horas, según las Tablas B-12 y B-26. Esto garantiza una mejor calidad del agua, similar a la de los sistemas intensivos que se describen en el Numeral B-2.3.

### ***B-8. CALCULOS Y FACTIBILIDAD DE UNA PLANTA PARAB***

#### **Información de Entrada**

Variables Principales de Entrada
Parámetros de Diseño Asumidos
Parámetros tomados de la Literatura Científica o Técnica

#### **Información de Salida**

Resultados Finales e Indicadores de Desempeño
Indicadores de Control
Parámetros y Datos de Diseño Calculados
Otros Cálculos

Tabla B-9. Información General de la Planta Parab para la Cría de Tilapias

<b>Parámetros de Entrada por Módulo de 2 Estanques</b>		
Número de Módulos por Planta		2 u
Ancho de Estanques Octagonales		9 m
Area Superficial por Par de Estanques		134 m <sup>2</sup>
Profundidad Mínima		1,20 m
Volumen de Agua por Par de Estanques		161 m <sup>3</sup>
Tiempo Total de Cria		6 meses
Periodicidad de Cosecha		2 meses
No de Cosechas al Año		6 cosechas
Cantidad de Alevinos por Par de Estanques		10.000 u
Cantidad de Peces en Engorde a Cosechar		9.123 u
Volumen de la Jaula		1,20 m <sup>3</sup>
No de Jaulas de Alevinos		20 u
Cantidad de Alevinos por Jaula		500 u
No de Bolsas por Jaula		2 u
No de Alevinos por Bolsa		250 u
<b>Indicadores</b>		
Peso Final por Tilapia		450 gr
Máxima Densidad de Peces en Estanque de Engorde especificada		50 a 100 Peces/m <sup>3</sup>
Densidad de Peces en Estanque de Engorde calculada	cumple	57 Peces/m <sup>3</sup>
Máxima Densidad de Alevinos en Jaulas especificada		600 Peces/m <sup>3</sup>
Densidad de Alevinos en Jaulas calculada	cumple	396 Peces/m <sup>3</sup>
Tiempo de Recirculación del Volúmen		1,83 horas
<b>Condiciones de Aireación y Mexcla</b>		
Concentración de Oxígeno Disuelto en Estanques		4 mg/L
No de Parrillas por Par de Estanques		2 u
Tasa de Aporte de Oxígeno por Parrilla		0,47 KgO <sub>2</sub> /hora
Tasa de Aporte de Oxígeno por Parrillas a cada par de Estanques		0,93 KgO <sub>2</sub> /hora
	cumple	22,38 KgO <sub>2</sub> /día
Consumo Máximo en Estanques de Engorde por Peces		18,35 KgO <sub>2</sub> /día
Factor de Seguridad en el Suministro de Oxígeno		1,22
Energía Especifica para Mezcla requerida		< 10 w/m <sup>3</sup>
Energía Especifica para Mezcla calculada	cumple	6,87 w/m <sup>3</sup>
Consumo de Energía de la Aireación		12.130 kW-H/año
<b>Consumo de Energía por Equipos Electromecánicos por Módulo</b>		
Bomba de Aireación		12.130 Kw-h/año
Bomba de Recirculación por el Lecho de Compostaje		2.204 Kw-h/año
Bomba de Recirculación por el Filtro Percolador		10.080 Kw-h/año
Trapiche		1.597 Kw-h/año
Picapastos		480 Kw-h/año
Consumo Anual de Energía		26.490 Kw-hora/año



Tabla B-10 – Alimentación de las Tilapias

<b>Suministro de Insumos Químicos a la Planta</b>			
Porcentaje de Nitrógeno en Proteína		16%	
Porcentaje de Urea en Provision de Nitrógeno		100%	
Contenido de NH4 en Urea		46%	
Tasa de Oxígeno para Nitrificación Heterotrófa de NH4	Fco	4,71	Kg O2/Kg NH4
Porcentaje del Nitrógeno removido en Filtro Percolador		50%	
Proporción de Fósforo Requerido en la Alimentación		0,90%	
Proporción de Potasio Requerido en la Alimentación		1,00%	
Proporción de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en Abono Triple 15		15%	
Proporción de Triple 15 Requerido para Suministro de P y K		6,67%	
Cantidad Máxima de Abono Triple 15 a Suministrar por Día		16,48	kg/día
Cantidad Máxima de Nitrógeno en Abono Triple 15 por día	37,4%	2,47	kg/día
Cantidad Máxima de Nitrógeno Requerido		9,08	kg/día
Cantidad Máxima de Nitrógeno aportado por la Urea	72,8%	6,60	kg/día
		23,12	kg/jor
Cantidad Máxima de Nitrógeno Aportado por Urea por Jornada		50,25	kg/jor
Tasa de Consumo de Alcalinidad por Nitrificación		3,57	g CaCO3/g NH4
Requerimiento Máximo de Alcalinidad		32,41	Kg/día
Aporte de Alcalinidad por Gramo de Hidróxido de Calcio		1,35	gramos
Pureza de la Cal		80%	
Aporte de Alcalinidad por Gramo de Cal Comercial		1,08	gramos
Cantidad Máxima de Cal a Suministrar		30,01	Kg /día
Concentración de Cloruro de Sodio en Estanques		3	gr/L
Cantidad de Cloruro de Sodio a Añadir a cada Estanque Inicialmete		242	Kg
Contenido de Vitamina C en Jugo de Caña		4,7	g/L
Tasa de Vitamina C Máxima Requerida		79	mg/Kg peces - d
Cantidad Máxima de Vitamina C Requerida		0,87	Kg /día
Cantidad Máxima de Vitamina C Suministrada	suficiente	2,23	Kg /día
Cantidad de Lisina a Suministrar como % del Alimento		0,80%	
Cantidad de Glucosa a Procesar como % del Alimento		2,58%	
Proporción de Glucosa en Alimento		33,52%	
Proporción de la Glucosa a Convertir en Lisina		7,70%	
Cantidad de Biotina a Suministrar por Kg de Glucosa a Procesar		4,00	mg/kg
Cantidad de Biotina a Suministrar por Tonelada de Alimento		103,23	mg/ton
Cantidad Máxima de Biotina a Suministrar		89,33	mg/jor
<b>Suministro de Caña de Azúcar a la Planta</b>			
Relación C/N para Asimilación del Nitrógeno	C/N	20	
Porcentaje de Bagazo Seco en la Caña		16%	
Proporción de Hojas y Cogollos respecto al Bagazo Seco		30%	
Porcentaje de Sacarosa del Jugo de Caña	12 a 16%	14%	
Porcentaje de Sacarosa en la Caña		11,8%	
Porcentaje de Hojas y Cogollos en Carbohidratos de la Caña		4,8%	
Total de Carbohidratos en la Caña		32,6%	
Porcentaje de Carbohidratos de Fácil Degradación		16,6%	
Cantidad Máxima de Caña cortada por Jornada		2.467	kg/jornada
Cantidad Máxima de Jugo de Caña por Jornada		1.664	Lt/jornada
Composición del Carbono Suministrado	Bagazo	49%	
	Azucares	36%	
	Hojas y Cogollos	15%	

Tabla B-11 – Sistema de Compostaje

<b>Cálculo del Compostaje</b>		
Periodicidad del Ciclo de Suministro de Insumos		3,5 días
Tiempo de Compostaje		7 días
Cantidad Media de Caña a Procesar		1.710 Kg /jor
Capacidad del Trapiche de 3HP		250 kg/h
Tiempo para Procesar Caña por Jornada		6,84 horas
Potencia de Trapiche		3 HP
Consumo de Energía por Trapiche		1.597 kW-h/año
Capacidad del Picapastos		2.000 kg/h
Tiempo Máximo para Picar la Caña por Jornada		1,23 horas
Potencia de Picapastos		5 HP
Consumo de Energía por Picapastos		480 kW-h/año
Cantidad Máxima de Bagazo y Hojas por Jornada		1576 Kg/jornada
Densidad del Bagazo Picado		200 Kg/m <sup>3</sup>
Volumen Máximo de Bagazo por Jornada		7,88 m <sup>3</sup> /jornada
Longitud del Lecho		6,00 m
Ancho de cada Lecho		2,20 m
Area de cada Lecho		13,20 m <sup>2</sup>
Ancho Total de Lechos		4,52 m
Altura del Bagazo Picado en el Lecho		0,60 m
Altura del Muro	suficiente	0,60 m
<b>Sistema de Riego de Lecho de Compostaje</b>		
No de Tuberías		6 u
No de Aspersores por Tubería		4 u
No de Aspersores		24 u
Espaciamiento Medio entre Tuberías		1,00 m
Espaciamiento Medio entre Aspersores		1,13 m
Caudal de Riego del Compostaje		5,44 Lps
No de Boquillas para Mezcla		2,00 u
Diferencia de Altura de Aspersores		1,30 m
Perdidas en Tubería de Riego		2,47 m
Cabeza de Bombeo de Riego	Hb	3,77 m
Cabeza en la Boquilla		3,77 m
Caudal por Boquillas de Mezcla		1,39 Lps
Velocidad en la Boquilla		8,60 m/s
Caudal de Bomba en Tanque de Solución de Nutrientes		6,82 Lps
Eficiencia de Bombeo		60%
Potencia de Bombeo		0,42 Kw
Factor de Utilización de la Bomba de Recirculación		60%
Consumo Anual de Energía por Bomba del Pozo		2.204 Kw-h/año

Tabla B-12 – Recirculación a Través del Filtro Percolador

<b>Calculos del Filtro Percolador</b>		
Cantidad Máxima de Compost por Jornada		1.315 kg/jornada
Densidad del Compost		600 Kg/m3
Relación de Compactación de los Bioflócs		84,6%
Densidad Final del Bioflócs		236,4 Kg/m3
Volumen de Bioflócs Producido por Jornada		5,56 m3/jornada
Relación entre Biomasa producida y Carbohidratos suministrados		53,20%
Peso Seco del Compost Producido como Proporción de la Caña		33,3%
Porcentaje Máximo de Humedad en el Compost		60%
Relación entre Compost producido y Peso de Caña		53,3%
Longitud del Filtro		4,00 m
Ancho del Filtro		4,52 m
Area del Filtro Percolador		18,08 m2
Altura del Bioflócs en el Filtro Percolador		0,31 m
Altura Disponible	suficiente	0,40 m
<b>Sistema de Riego del Filtro Percolador</b>		
No de Tuberías		5 u
No de Aspersores por Tubería		5 u
No de Aspersores		25 u
Espaciamiento Medio entre Tuberías		0,80 m
Espaciamiento Medio entre Aspersores		0,90 m
Coeficiente de Descarga	Cd	0,580
Diámetro de Orificio	1/2"	12,70 mm
Diámetro de Eje	1/8"	3,18 mm
Area de Flujo por Aspersor		118,70 mm2
Velocidad en Perforaciones		3,29 m/s
Cabeza de Velocidad en Aspersores		0,55 m
Perdidas de Cabeza		0,50 m
Caudal por Aspersor		0,23 Lps
Diferencia de Altura Estanques - Aspersores	Hea	1,05 m
Diferencia de Altura Estanques - Aspersores		1,05 m
Caudal en Filtro Percolador		5,66 Lps
Volumen Total de Estanques		322 m3
Tiempo de Recirculación del Volumen de Estanques a través del Filtro		15,81 horas
Periodo de Filtración		3,50 días
Tasa de Recirculación de Agua del Estanque a través del Lecho		5,31
<b>Bombeo de Recirculación desde Filtro Percolador hacia Estanques</b>		
No de Boquillas en Estanques		8 u
Velocidad en Garganta de las Boquillas		12 m/s
Caudal de Bombeo de Recirculación		7,74 Lps
Perdidas en Tubería		2,88 m
Perdidas de Cabeza en la Boquilla		7,35 m
Diferencia de Altura		2,24 m
Cabeza de Bombeo		12,46 m
Tiempo de Bombeo de Recirculación		73%
Eficiencia de Bombeo		60%
Potencia de Bombeo		1,58 Kw
		2,11 HP
Consumo Anual de Energía por Bomba de Recirculación		10.080 Kw-h/año

Tabla B-13 – Resumen del Desarrollo y la Alimentación de las Tilapias

<b>ETAPA</b>	<b>Móduloes</b>	<b>Alevinos</b>	<b>Levante</b>	<b>Engorde</b>
<b>Volumen de Agua por Módulo</b>	m3	24,00	137,13	161,13
<b>No de Peces al Final de la Etapa por Módulo</b>	u	9.500	9.215	9.123
<b>Densidad de Peces</b>	u/m3	396	67	57
<b>Tasa de Supervencia</b>		95%	97%	99%
<b>Peso Inicial por Pez</b>	gr	1	20	130
<b>Peso Final por Pez</b>	gr	20	130	400
<b>Peso Final del Total de Peces</b>	Kg	190	1.198	3.649
<b>Carga Máxima Especificada</b>	Kg de Peces/m3	7,92	8,74	25,48
<b>Tasa de Consumo de Oxígeno a 24°C</b>	mg O2/Kg biomasa	210	180	160
<b>Excreción de Nitrógeno Media Diaria</b>	Kg/día	0,55		1,19
<b>Consumo de Alcalinidad</b>	Kg/día	1,97		4,26
<b>Consumo de Oxígeno por Peces</b>	Kg/día	7,94		24,17
<b>Factor de Utilización de Aireación Maxima</b>		36%		82%
<b>Factor de Utilización de Aireación Promedio</b>		21%		60%
<b>Consumo de Energía Anual en Aireación</b>	Kw-h/año	6.188		18.071
<b>Promedio Nitrógeno a Suministrar</b>	Kg/día	2,75		5,20
<b>Cantidad de Urea a Suministrar</b>	Kg/día	5,98		11,31
<b>Promedio Carbohidratos Requerido</b>	Kg/día	55,02		104,06
<b>Cantidad Media de Caña a Suministrar</b>	Kg/día	169		320
<b>Cantidad Media de Compost a Suministrar</b>	Kg/día	90		170
<b>Cantidad Máxima de Caña a Suministrar</b>	Kg/día	705		
<b>Cantidad Total de Caña a Suministrar</b>	Ton/año	178		
<b>Productividad de Tallos de Caña</b>	Ton/ha-año	100		
<b>Productividad de Hojas y Cogollos (17%)</b>	Ton/ha-año	17		
<b>Productividad de Tallos de Caña</b>	Ton/ha-año	117		
<b>Area Requerida de Caña por Planta Parab</b>	Hectáreas	1,52		Has

INCREAGUA - Textos Básicos  
 TEXTO B - Acuicultura con Bioflócs Celulósicos

Tabla B-14 – Programación del Suministro de Oxígeno y Nitrógeno por Módulo

SEMANA	ETAPA	Peso Final por Pez	Peso Final de Peces	Tasa de Excreción de N Fig. B-24	Excreción de Nitrógeno	Total Nitrógeno a Suministrar	Nitrógeno a Adicionar	Consumo de O2 por Nitrificación de Excreciones	Consumo de O2 por Peces Ecuación B-6	Total de O2 Requerido por Estanques	Factor de Utilización de la Aireación
		gr	Kg	mgN/kg-h	KgN/día	Kg N/día	Kg N/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día	Kg/día
1	Alevinos	0,6	6	42,04	0,01	0,06	0,06	0,01	0,05	2,08	9%
	Levante	27	249	31,49	0,19	0,56	0,37	0,44	1,57		
	Engorde	170	1.551	8,23	0,31	1,67	1,37	0,72	7,42	8,14	36%
2	Alevinos	1,2	11	41,78	0,01	0,08	0,07	0,03	0,10	2,62	12%
	Levante	35	323	28,67	0,22	0,69	0,46	0,52	1,97		
	Engorde	210	1.916	8,75	0,40	1,99	1,59	0,95	8,83	9,78	44%
3	Alevinos	3	29	41,00	0,03	0,12	0,10	0,07	0,23	3,33	15%
	Levante	45	415	25,41	0,25	0,84	0,58	0,60	2,44		
	Engorde	250	2.281	8,750	0,48	2,28	1,80	1,13	10,18	11,31	51%
4	Alevinos	5	48	40,15	0,05	0,18	0,13	0,11	0,37	4,02	18%
	Levante	55	507	22,43	0,27	0,96	0,69	0,64	2,90		
	Engorde	290	2.646	8,75	0,56	2,54	1,98	1,31	11,48	12,79	57%
5	Alevinos	8	76	38,89	0,07	0,26	0,19	0,17	0,56	4,71	21%
	Levante	70	645	18,48	0,18	1,16	0,97	0,43	3,56		
	Engorde	330	3.011	8,75	0,63	2,77	2,14	1,49	12,74	14,23	64%
6	Alevinos	12	114	37,24	0,10	0,38	0,28	0,24	0,80	5,66	25%
	Levante	85	783	15,15	0,18	1,32	1,13	0,43	4,20		
	Engorde	380	3.467	8,75	0,73	3,05	2,32	1,71	14,27	15,98	71%
7	Alevinos	15	143	36,04	0,12	0,45	0,33	0,29	0,97	6,50	29%
	Levante	100	922	12,46	0,18	1,50	1,32	0,43	4,81		
	Engorde	420	3.832	8,75	0,80	3,22	2,41	1,89	15,45	17,34	77%
8	Alevinos	20	190	34,10	0,16	0,57	0,42	0,37	1,25	8,04	36%
	Levante	130	1.198	8,97	0,18	1,88	1,70	0,43	6,00		
	Engorde	450	4.105	8,75	0,86	3,28	2,42	2,03	16,32	18,35	82%
Promedio Estanques Alevinos y Levante:			707		0,28	1,38	1,10	0,65	3,97		21%
Promedio para Estanques de Engorde:			2.851		0,60	2,60	2,01	1,40	12,09	13,49	60%
Promedio General:			<b>3.558</b>		<b>0,87</b>	<b>3,98</b>	<b>3,11</b>	<b>2,05</b>	<b>16,06</b>		<b>40,5%</b>
Máximo por Par de Estanques (Kg/día):			<b>5.493</b>		<b>0,86</b>	<b>5,74</b>	<b>4,54</b>	<b>2,82</b>	<b>23,56</b>	<b>26,38</b>	

Tabla B-15 – Programación del Suministro de Alimento y Compost por Módulo

% de Proteína en Concentrado			Alevinos	Levante	Engorde		
			45%	35%	25%		
SEMANA	EDAD	ETAPA	Concentrado como % del Peso de Referencia gr	Concentrado Diario de Referencia Requerido Kg/día	Carbohidratos a Suministrar Kg/día	Caña a Procesar por Jornada Kg/jor	Compost a Suministrar por Jornada Kg/jor
	Días						
1	0	Alevinos	15,0%	0,86	1,23	13	7
	56	Levante	4,0%	9,95	11,15	120	64
	112	Engorde	2,7%	41,87	33,50	360	192
2	7	Alevinos	10,0%	1,14	1,64	18	9
	63	Levante	3,8%	12,26	13,73	148	79
	119	Engorde	2,6%	49,81	39,85	428	228
3	14	Alevinos	6,0%	1,71	2,46	26	14
	70	Levante	3,6%	14,93	16,72	180	96
	126	Engorde	2,5%	57,02	45,61	490	261
4	21	Alevinos	5,3%	2,49	3,59	39	21
	77	Levante	3,4%	17,23	19,30	207	111
	133	Engorde	2,4%	63,50	50,80	546	291
5	28	Alevinos	4,8%	3,65	5,25	56	30
	84	Levante	3,2%	20,64	23,12	249	132
	140	Engorde	2,3%	69,24	55,39	595	317
6	35	Alevinos	4,6%	5,24	7,55	81	43
	91	Levante	3,0%	23,50	26,32	283	151
	147	Engorde	2,2%	76,27	61,01	656	350
7	42	Alevinos	4,4%	6,27	9,03	97	52
	98	Levante	2,9%	26,72	29,93	322	172
	154	Engorde	2,1%	80,46	64,37	692	369
8	49	Alevinos	4,2%	7,98	11,49	124	66
	105	Levante	2,8%	33,54	37,57	404	215
	161	Engorde	2,0%	82,11	65,68	706	376
Promedio Estanques de Alevinos y Levante:				23,51	27,51	296	158
Promedio para Estanques de Engorde:				65,03	52,03	559	298
Máximo para Todos los Estanques (Kg/día):				<b>123,63</b>	<b>114,74</b>	<b>1.233</b>	<b>658</b>
Promedio Diario para todos los Estanques				<b>88,55</b>	<b>79,54</b>	<b>855</b>	<b>456</b>
Promedio Alimento para Alevinos (Kg/día):				<b>4,07</b>			



Tabla B-16 – Programación de Suministro de Productos Químicos por Módulo

SEMANA	ETAPA	Porcentaje del Alimento Máximo	Abono Triple 15 gr/Jor	Urea gr/Jor	Cal Agrícola gr/Jor	Biotina (Vitamina B7) mg/Jor
1	Alevinos	0,69%	200	174	363	0,31
	Levante	8,05%	2.322	2.023	4.227	3,60
	Engorde	33,87%	9.771	8.511	17.785	15,13
	<b>TOTAL</b>	<b>42,6%</b>	<b>12.292</b>	<b>10.707</b>	<b>22.376</b>	<b>19,03</b>
2	Alevinos	0,92%	266	232	484	0,41
	Levante	9,91%	2.860	2.491	5.206	4,43
	Engorde	40,29%	11.623	10.124	21.156	18,00
	<b>TOTAL</b>	<b>51,1%</b>	<b>14.748</b>	<b>12.846</b>	<b>26.846</b>	<b>22,84</b>
3	Alevinos	1,38%	399	348	726	0,62
	Levante	12,08%	3.483	3.034	6.341	5,39
	Engorde	46,12%	13.304	11.588	24.217	20,60
	<b>TOTAL</b>	<b>59,6%</b>	<b>17.186</b>	<b>14.970</b>	<b>31.284</b>	<b>26,61</b>
4	Alevinos	2,02%	582	507	1.059	0,90
	Levante	13,94%	4.021	3.502	7.319	6,23
	Engorde	51,36%	14.816	12.905	26.969	22,94
	<b>TOTAL</b>	<b>67,3%</b>	<b>19.418</b>	<b>16.914</b>	<b>35.347</b>	<b>30,07</b>
5	Alevinos	2,95%	851	741	1.549	1,32
	Levante	16,70%	4.816	4.195	8.767	7,46
	Engorde	56,01%	16.157	14.073	29.410	25,02
	<b>TOTAL</b>	<b>75,7%</b>	<b>21.824</b>	<b>19.010</b>	<b>39.726</b>	<b>33,79</b>
6	Alevinos	4,24%	1.224	1.066	2.227	1,89
	Levante	19,01%	5.483	4.776	9.981	8,49
	Engorde	61,69%	17.796	15.501	32.393	27,55
	<b>TOTAL</b>	<b>84,9%</b>	<b>24.502</b>	<b>21.342</b>	<b>44.601</b>	<b>37,94</b>
7	Alevinos	5,07%	1.463	1.274	2.663	2,27
	Levante	21,62%	6.235	5.431	11.350	9,65
	Engorde	65,09%	18.775	16.354	34.176	29,07
	<b>TOTAL</b>	<b>91,8%</b>	<b>26.473</b>	<b>23.059</b>	<b>48.189</b>	<b>40,99</b>
8	Alevinos	6,45%	1.862	1.622	3.389	2,88
	Levante	27,13%	7.827	6.817	14.247	12,12
	Engorde	66,41%	19.158	16.687	34.873	29,66
	<b>TOTAL</b>	<b>100,0%</b>	<b>28.847</b>	<b>25.126</b>	<b>52.509</b>	<b>44,67</b>
Promedio Alevinos y Levante:			1.568	1.365	2.854	2,43
Promedio para Engorde:			4.336	3.777	7.892	6,71
<b>Promedio Diario Total:</b>			<b>5.903</b>	<b>5.142</b>	<b>10.746</b>	<b>9,14</b>

Una estimación de los costos ambientales de la producción de tilapia en la planta Parab se presenta en la siguiente tabla.

Tabla B-17. Análisis de la Productividad de la Planta Parab, y de los Insumos Requeridos

<b>Producción Anual de Pescado</b>		
Peso Total de Peces por Cosecha	5.493	Kg
Producción Anual de Pescado	65,92	Ton/año
Factor de Conversión Alimenticia con Compost	1,44	kg Compost/kg Pez
<b>Area Ocupada</b>		
Cantidad de Caña a Suministrar	178	Ton/año
Productividad de Tallos de Caña	100	Ton/ha-año
Productividad de Hojas y Cogollos (17%)	17	Ton/ha-año
Productividad de la Caña en Materia Seca	117	Ton/ha-año
	321	Kg /día*ha
Area Requerida para Cultivo de Caña	1,52	Has
Area Requedida para la Planta Parab	0,12	Has
Otra Areas	0,20	Has
Area Total Requerida	1,84	Has
Producción de Pescado	65,92	Ton anuales
Producción de Pescado por Hectárea	35,75	Ton/ha-año
Producción de Carne Bovina por Hectárea mediante Pastoreo	1	Ton/ha-año
Tasa de Conversion Alimenticia	0,72	Kg alimento/Kg peces
<b>Consumo de Agua</b>		
Consumo de Agua por Llenado de Estanque de Engorde	1.934	m3/año
Consumo de Agua por Kg de Pescado producido	29,33	Lt/Kg
Volumen de Agua del Par de Estanques de Engorde	161	m3
Tiempo de Llenado Asumido	3	días
Caudal Mínimo de la Fuente Requerido	0,62	Lps
<b>Consumo de Energía</b>		
Consumo Anual de Energía por Equipos Electromecánicos	26.490	Kw-hora/año
Potencia Media utilizada en otros Usos	1,5	Kw
Consumo de Energía en Otros Usos	13.140	Kw-hora/año
Consumo Anual de Energía	39.630	Kw-hora/año
Consumo de Energía por Kg de Pescado Producido	0,60	KW-h/Kg pescado
<b>Consumo de Productos Quimicos</b>		
Consumo Anual de Urea	3,75	Toneladas/año
Consumo Anual de Abono Triple 15	4,31	Toneladas/año
Consumo Anual de Cal	7,84	Toneladas/año

De acuerdo a las tablas anteriores, la planta de acuicultura diseñada en el Capítulo B-3 tendría la capacidad de producir 65.92 toneladas de tilapia al año. Para esta producción se requieren al año como insumos 3.75 toneladas de urea, 4.31 toneladas de abono triple 15, y 7.84 toneladas de cal. Otro insumo fundamental es la caña de azúcar, y para producirla se requieren 1.52 hectáreas de terreno. Se estima que el consumo de agua requerido para el llenado de los estanques para tilapias es de 1.904 m<sup>3</sup> al año, o sea de 29.33 litros por Kg de tilapia. Considerando un periodo aceptable de llenado de 3 días, el caudal requerido de la fuente sería de 0.62 Lps.

Con la planta Parab se puede producir proteína de alta calidad más económica, y con menor uso de suelo, agua y energía. Actualmente, la proteína para alimentación animal proviene del cultivo de soya, o de la pesca en los mares. La soya tiene una tasa de conversión alimenticia (Kg de alimento para obtener 1 Kg de carne) de 2 en el caso de los cerdos, y mayor en otras especies. En la tabla a continuación se compara la producción de proteína con el sistema de acuicultura mediante plantas Parab, con la que se obtiene con cerdos alimentados con soya, y con ganado bovino en pastoreo.

Tabla B-18. Alternativas de Producción de Proteína Animal y Vegetal

Fuente	Tilapia	Soya	Cerdos alimentados con Soya (*)	Ganado en Pastoreo
Rendimiento (ton/ha-año)	30,47	4,00		1,00
Contenido de Proteína	23%	45%		22%
Producción de Proteína (ton/ha)	7,10	1,80	0,90	0,22

\* Se asumió Tasa de Conversión Alimenticia de los cerdos de 2

El producto que tiene mayor demanda internacional es el filete de tilapia, el cual requiere tamaños de alrededor de 450 gr, con el cual se realizaron los cálculos de la planta. Este producto también podría ser el más adecuado para el mercado nacional<sup>52</sup>. En el proceso de fileteado se aprovecha aproximadamente el 66% del pescado. El resto puede ser destinado a la alimentación animal, especialmente de cerdos, lo cual permitiría desarrollar otra fuente de proteína animal. En la siguiente tabla, tomada del estudio de Yhoan S. Gaviria et al<sup>53</sup>, se encuentra la composición de las vísceras que componen la mayor parte de los desechos del fileteado de la tilapia. Allí se puede observar que el peso seco de dichas vísceras está compuesto en un 85% por grasas o lípidos, que son apropiadas para la alimentación de tilapias y camarones en las etapas iniciales de crecimiento, cuyo alimento requiere un contenido de lípidos de 6 a 11% de acuerdo a la Tabla B-3 del Capítulo B-5, el cual no puede ser provisto por el zooplancton, con excepción de los rotíferos. Por otra parte, el esqueleto de los peces está constituido esencialmente por fosfato de calcio, que aporta el fósforo, y por la carne, que tiene un 25% de proteína.

---

<sup>52</sup> Bárbara Rojas-Runjaic et al. "Rendimiento en canal y fileteado de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) variedad Chitralada producida en el estado Trujillo, Venezuela". *Zootecnia Tropical*, 2011

<http://www.bioline.org.br/pdf?zt11010>

<sup>53</sup> Yhoan S. Gaviria et al. "Efecto de la inclusión de ensilado químico de vísceras de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en dietas para pollos de engorde sobre los parámetros productivos y sanguíneos". *Información tecnológica versión On-line* ISSN 0718-0764. 2.021

[Download citation of Efecto de la inclusión de ensilado químico de vísceras de tilapia roja \(\*Oreochromis spp.\*\) en dietas para pollos de engorde sobre los parámetros productivos y sanguíneos \(researchgate.net\)](#)

Estas vísceras podrían suministrarse a los alevinos y post larvas de camarón en forma del concentrado que se describe a continuación.

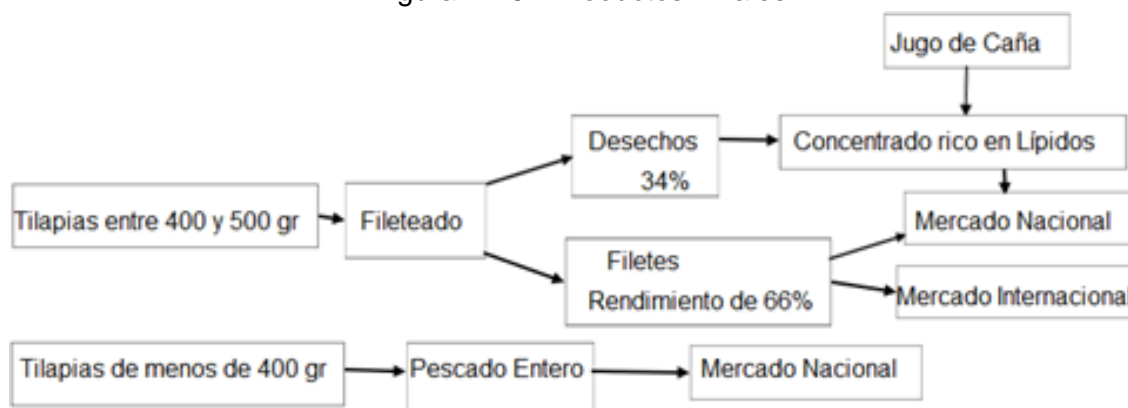
Tabla B- 19 . Composición Bromatológica de las Vísceras Frescas de Tilapia Roja,

Componente	Porcentaje	
	Fresco	Sin Agua
Humedad	61,36%	
Proteína	4,03%	10,43%
Grasas	32,93%	85,22%
Cenizas	0,67%	1,73%
Carbohidratos	0,98%	2,54%

Fuente: Yhoan S. Gaviria et al. (Ref. B-53)

El Centro de Acuicultura Mampostón<sup>54</sup> ha desarrollado un concentrado para alimentación de cerdos, consistente en una mezcla de desechos de pescado con miel de caña, que, además de aportar carbohidratos, los preservan de la descomposición orgánica. Se recomienda elaborar el concentrado utilizando las instalaciones y procedimientos con los cuales se elabora la panela. El jugo de caña se calienta en una paila, hasta que los azúcares alcanzan una concentración adecuada. Los desechos se muelen finamente para evitar que las espinas hagan daño, y se vierten en la paila, donde se mezclan con la miel de caña caliente. Luego se vierte en los moldes, donde se endurece, formando panelas que luego se trituran para formar un concentrado granulado, que se empaca en bolsas. El producto final contiene fósforo procedente de los huesos, proteínas, grasas, y los azúcares que proporcionan carbohidratos y actúan como conservantes del alimento. Las altas temperaturas de la miel pasteriza los desechos de pescado. Se recomienda ubicar la planta Parab en una zona panelera, que proporcione la caña de azúcar, y que utilice su infraestructura para producir concentrado para cerdos, o combinar la producción de concentrado para cerdos y de filetes de tilapia en la misma instalación. En la siguiente figura se muestra un diagrama de los productos de la cría de tilapias y sus destinos.

Figura B-25 - Productos Finales



<sup>54</sup> José Toledo Pérez, José Llanes Iglesias. "Estudio comparativo de los residuos de pescado ensilados por vías bioquímica y biológica". Centro de Preparación Acuicultura Mampostón. Revista AquaTIC, N.º 25, pp. 28-33. Año 2006. [http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/25\\_05.pdf](http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/25_05.pdf)

## **B-9. PLANTA PARAB PARA CULTIVO DE CAMARONES**

### **B-9.1. Introducción**

Al igual que las tilapias, los camarones tienen gran demanda internacional y precios elevados, y además pueden cultivarse en estanques en forma similar a las tilapias. Actualmente las principales especies de camarón en el mercado son el camarón tigre (*Penaeus monodon*), el camarón tití (*Protrachypene Precipua*) y el camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), pero se cultiva principalmente este último debido a su alta demanda y mejores precios, y por lo tanto en este capítulo solo se hará referencia a esta especie.

En nuestro medio predomina el cultivo extensivo o semi intensivo del camarón, que se realiza normalmente en dos etapas. La primera, que corresponde a levante o criadero, se realiza en estanques de concreto o tierra, y a continuación los camarones se llevan a estanques de engorde, que se construyen principalmente en las zonas costeras intermareales, los cuales pueden tener de 5 a 10 hectáreas de extensión. La productividad de los sistemas extensivos oscila entre 150 a 500 Kg/ha por cosecha. Tradicionalmente, la aireación se proporciona principalmente mediante un intercambio del agua del de 8 a 12% diario, o con sistemas mecánicos tales como los de paletas o splash. Como se indicó en el Numeral A-2.2, estos sistemas solo airean un pequeño volumen de agua que difícilmente llega hasta el fondo, donde se ubican los camarones. Además, las paletas o rotores que tienen pueden lastimar los camarones. En estanques extensos es difícil controlar las condiciones ambientales apropiadas para el adecuado desarrollo de los camarones.

En los sistemas semi intensivos se introduce el recambio de agua o la aireación superficial, con lo cual la productividad se incrementa a entre 500 a 2.000 Kg/ha por cosecha<sup>55</sup>. Su cultivo mediante estos sistemas ha tenido los siguientes inconvenientes.

- Problemas sanitarios causados por enfermedades tales como la Mancha Blanca que ocasionan la pérdida de la calidad de los camarones producidos, ocasionada por la afluencia de agua marina, y que pueden llegar a causar la mortalidad de la totalidad del cultivo.
- Alto costo de la alimentación, que se hace utilizando grandes áreas en cultivos extensivos, o concentrados en cultivos intensivos
- Los sistemas de aireación que tienen dispositivos que se mueven a gran velocidad, como los de tipo paletas o splash, pueden afectar severamente los camarones, y desintegrar los bioflócs. Estos sistemas solo airean el agua de la superficie, que no es aprovechado por los camarones que viven en el fondo. También se encuentran los aireadores de turbina y los aspiradores helicoidales, que generan chorros que introducen el aire hasta el fondo. Estos sistemas generar

---

<sup>55</sup> FAO. "Penaeus Vannamei. In Cultured Aquatic Species Fact Sheets. Text by Briggs, M. ". 2,009  
[http://www.fao.org/tempref/FI/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es\\_whitelegshrimp.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_whitelegshrimp.htm)

turbiedad en el agua de los estanques, que afecta la productividad de los camarones en mayor medida que a las tilapias.

De acuerdo al estudio de César Arturo Hernández-Barraza<sup>56</sup>, el policultivo de tilapia y camarón trae numerosas ventajas, puesto que son especies que se crían adecuadamente en estanques con bioflócs, y que se complementan en muchos aspectos. Las tilapias ocupan la parte superior del estanque, mientras que los camarones prefieren estar cerca al fondo. Los camarones se alimentan con heces de tilapia, y con bioflócs que caen al fondo, mientras que las tilapias se alimentan de los bioflócs que están en suspensión.

Respecto a aspectos sanitarios, las tilapias consumen los camarones enfermos, evitando que las enfermedades se extiendan, y además los camarones producen sobre su piel una mucosa con enzimas, que tiene efectos desinfectantes en todo el estanque. También existe la posibilidad de que los camarones controlen las eventuales crías de tilapia, y por lo tanto podrían tenerse tilapias de ambos géneros sin que haya proliferación de éstas. Según un estudio de Udenar<sup>57</sup>, en los policultivos de tilapia y camarón se han obtenido una supervivencia del 100% de este último, lo cual es bastante superior a la que actualmente se tiene. También se reporta que, mediante dicho policultivo, fue posible controlar la enfermedad llamada Mancha Blanca en las camaroneas de Tumaco, que fueron asoladas por esta enfermedad<sup>58</sup>.

Igual que en el caso de la tilapia, el sistema de bioflócs se considera actualmente el más apropiado para el cultivo intensivo de camarones (Andrew J. Ray<sup>59</sup>). En este cultivo se requiere un control más estricto de los sólidos suspendidos que en caso de las tilapias, que no son afectadas tanto por éstos. Para realizar cultivos super intensivos de camarones se utiliza el Raceway, que es un canal en forma de circuito cerrado, donde el flujo tiene suficiente velocidad para mantener en suspensión los bioflócs, y el piso se conserva limpio. Esto es importante debido a que los camarones se ubican cerca del fondo. En un punto del canal se desvía el agua hacia un proceso de tratamiento donde se remueve turbiedad y nitrógeno amoniacal, y luego se retorna al Raceway.

El Raceway descrito en el Numeral B-2-3 es la tecnología más avanzada para la cría de camarones, debido a que tiene las ventajas del sistema de bioflócs, que disminuye el costo de la alimentación, y a que el flujo en el canal ayuda a distribuir el oxígeno en todo el volumen de agua, y a mantener los bioflócs en suspensión y el fondo limpio. Estas condiciones aumentan sustancialmente de producción de camarones. Con el sistema Raceway se pueden tener densidades de hasta 300 camarones por m<sup>2</sup>. Actualmente se

---

<sup>56</sup> César Arturo Hernández-Barraza, "Evaluación del Crecimiento de Camarón Blanco del Pacífico (Litopenaeus Vannamei) en Policultivo con Tilapia Roja" Revista ISSN Ene-Mar 2011. <http://www.redalyc.org/pdf/4419/441942923007.pdf>

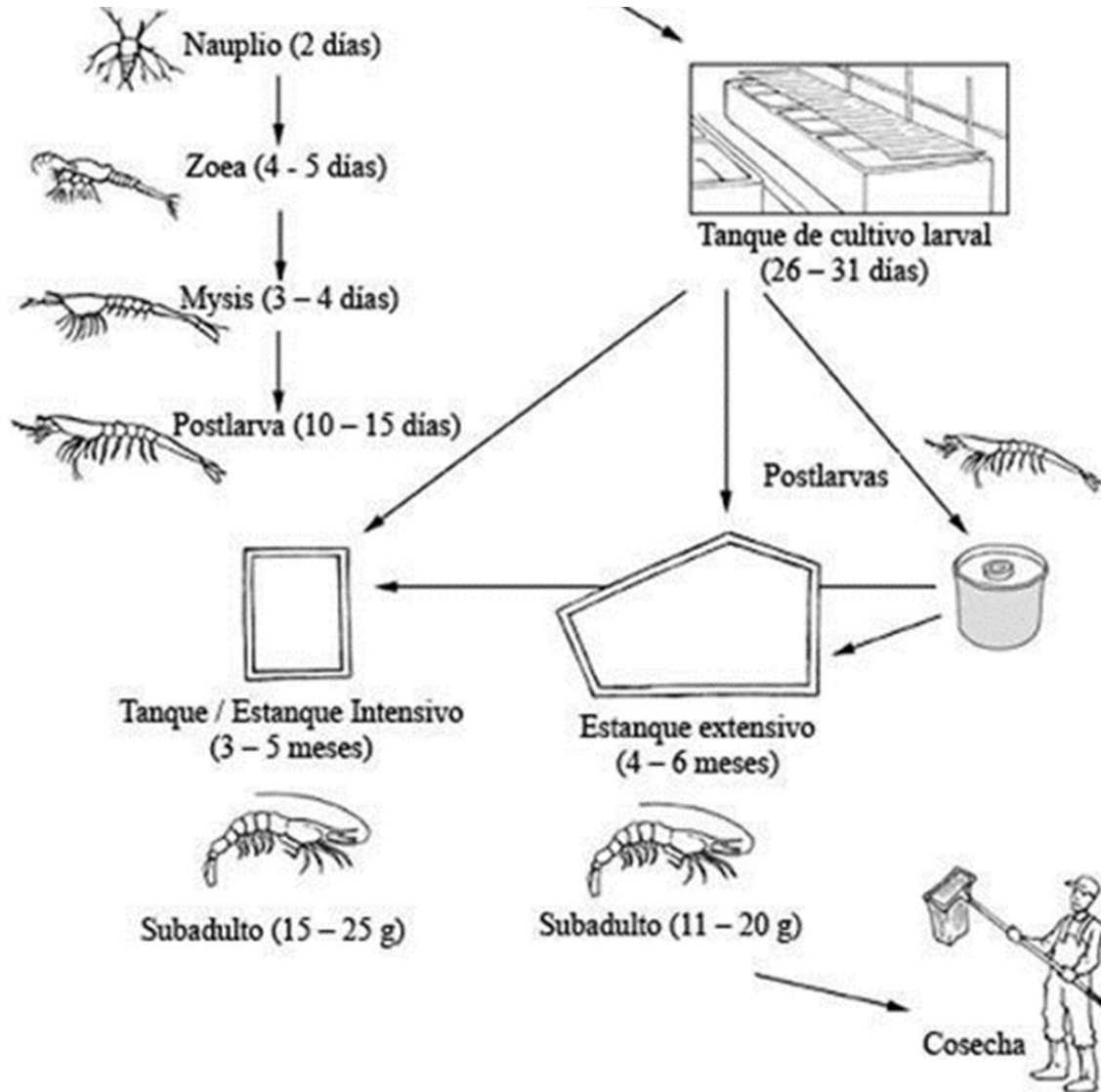
<sup>58</sup> UDENAR. "Efecto de los Policultivos de Tilapia Roja (Oreochromis Sp), Cachama Blanca (Piaractus Brachipomus) y Camarón Blanco (Litopenaeus Vannamei) sobre el Síndrome Viral de la Mancha Blanca en la Costa Pacífica Nariñense". <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/viewFile/1594/1934>

<sup>59</sup> Andrew J. Ray. "Chapter 13: Biofloc Technology for Super-Intensive Shrimp Culture". ResearchGate. 2.012. [https://www.researchgate.net/publication/264382340\\_Biofloc\\_Technology\\_for\\_Super-Intensive\\_Shrimp\\_Culture/link/53da77ff0cf2e38c63368d41/download](https://www.researchgate.net/publication/264382340_Biofloc_Technology_for_Super-Intensive_Shrimp_Culture/link/53da77ff0cf2e38c63368d41/download)



tienen densidades de 2 a 10 camarones/m<sup>2</sup> en cultivos extensivos y semi intensivos. Como se explica posteriormente, en la planta Parab, se pueden tener condiciones y productividades similares a las de sistema Raceway en el cultivo d camarones.

Figura B-26 – Esquema del Ciclo de Cría del Camarón Blanco



Fuente: "Penaeus vannamei. In Cultured aquatic species fact sheets". (FAO, Ref. B-55).

Para el cultivo de camarones se recomienda una planta Parab similar a la recomendada para las tilapias. Como se explica en el Numeral B-9.3, dicha planta tiene condiciones similares a las del Raceway, puesto que los chorros de las boquillas de aireación transfieren gran cantidad de oxígeno al agua, y mantienen el fondo limpio y los bioflócs celulósicos en suspensión, como se observa en la Figura B-23 del Capítulo B-7. Además, la recirculación a través del filtro percolador permite controlar efectivamente los sólidos suspendidos y el nitrógeno amoniacal.

En una publicación de firma YSI<sup>60</sup> se recomienda un sistema Raceway para cultivar camarones en forma super intensiva. En este sistema se alcanzan tasas de supervivencia de 94.5 % y 96.8%, y un peso por camarón de entre 21.9 y 22.4 gramos en 4 meses. Por lo tanto, cada camarón tiene una ganancia de peso de unos 1.37 gramos por semana.

En las Tablas B-22 a B-31 se encuentran los cálculos de una planta para cultivo de camarón, en la cual se asumió un tiempo de cría de 4.5 meses, en el cual el camarón alcanzaría unos 23.89 gramos según la Tabla B-28, considerando una ganancia de peso semanal de 1.37 gramos, de acuerdo al documento de YSI Environmental (Ref. B-60) para el sistema Raceway. Este peso final se considera apropiado para el mercado. En los 4.5 meses la tilapia alcanza 210 gr (ver Tabla B-27), que es un tamaño apropiado para el consumo entero.

En los cálculos también se asumió una tasa de supervivencia de 97% en cada una de las 3 etapas, o sea una tasa de 91.3% para el ciclo completo. Esto se hizo de considerando que, además de tener un policultivo con tilapias, en esta planta el agua tiene un proceso de filtración a través de un lecho de compostaje que mejora sustancialmente su calidad.

En las plantas tipo Raceway las concentraciones de sólidos suspendidos son bastante altas, de 400 a 500 mg/L, salinidad de 30.3 a 30.8 mg/L, y mínimos de oxígeno disuelto de 3 mg/L, que es menor a los 4 mg/L recomendado por Yoram Avnimelech (Ref. B-11). En in manual de la FAO (Ref. B-55) indica que el oxígeno disuelto para la cría de camarones debe ser superior al de las tilapias, y que debe ser superior a 4 mg/L. Para el diseño de la planta Parab para camarones se recomienda una concentración de oxígeno disuelto de 5 mg/L. Estas condiciones para el cultivo de camarones también son adecuadas para las tilapias en el sistema de policultivo. A continuación se trata lo referente a las condiciones recomendadas para el cultivo de camarones.

### **B-9.2. Alimentación y Tasa de Crecimiento**

En el estudio de Andrew J. Ray y Jeffrey M. Lotz <sup>61</sup>se hace un análisis de la alimentación del camarón blanco del Pacífico con bioflócs producidos en un reactor secuencial SRB, donde se utiliza del nitrógeno de los desechos de éstos, que se incorpora a dichos bioflócs mediante la nitrificación heterótrofa. Se utilizaron 3 fuentes de carbono para dicho proceso: sacarosa (HS), melaza (HM) y glicerol (HG). En todos los ensayos se utilizó una relación C/N de 22, considerada la adecuada para la nitrificación heterótrofa. Los resultados del estudio señalan que el incremento del peso por semana en los camarones fue de 0.3 gramos cuando se utiliza melaza, 0.6 gramos con glicerol y 0.7 gramos con

---

<sup>60</sup> YSI Environmental. "Pacific White Shrimp Production in a Super-Intensive Raceway System. Application Note". 2.009. <https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Application%20Notes/A581-Pacific-White-Shrimp-Production-in-a-Super-Intensive-Raceway-System.pdf>

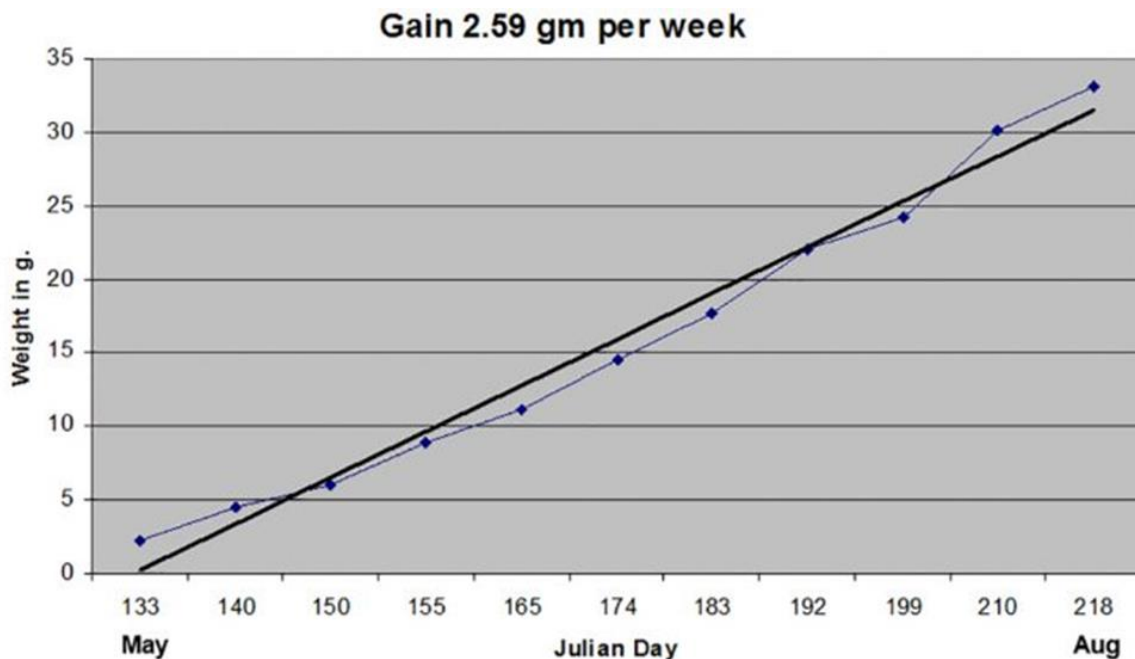
<sup>61</sup> Andrew J. Ray y Jeffrey M. Lotz. "Testing shrimp growth in different biofloc systems - Comparing chemoautotrophic- and heterotrophic-based systems receiving different carbohydrate Sources". Global Seafood Alliance's (GSA). 2.016.

[Testing shrimp growth in different biofloc systems - Responsible Seafood Advocate \(globalseafood.org\)](https://www.globalseafood.org/testing-shrimp-growth-in-different-biofloc-systems-responsible-seafood-advocate)

sacarosa. Por lo tanto, la sacarosa, que es el principal componente del jugo de caña, es la fuente de carbono más adecuada por el cultivo de camarones con bioflócs.

En el documento de Thomas R. Zeigler<sup>62</sup> se hace un estudio de las tasas de crecimiento del camarón blanco en diversas condiciones. En la siguiente figura se muestra el crecimiento óptimo que se puede lograr, cuando se suministra el alimento de la mejor calidad y se tienen las mejores condiciones ambientales, relacionadas especialmente con oxígeno disuelto y temperatura. En estas condiciones un camarón puede ganar hasta 2.59 gramos cada semana, y esta tasa permanece constante a lo largo de todo el periodo de crecimiento.

Figura B-27. Tasa Óptima de Crecimiento del Camarón Blanco



Fuente: Thomas R. Zeigler et al (Ref. B-62)

Según el estudio de Andrew J. Ray y Jeffrey M. Lotz (Ref. C-61), la tasa de crecimiento de los camarones alimentados con bioflócs producidos a partir de jugo de caña es de 0.7 gramos por semana. Por lo tanto en las 18 semanas de cría alcanzarían un peso de 12.6 gramos, lo cual es muy bajo, considerando que según Thomas R. Zeigler (Ref. B-62), actualmente la tasa de crecimiento de los camarones es de 1 gramo por semana. Esto puede deberse a la ausencia de ácidos grasos, como se indica posteriormente.

<sup>62</sup> Thomas R. Zeigler. "Faster growth for Pacific white shrimp contributes in many ways to the profit equation".

[Genetics key to maximum growth rate for shrimp - Responsible Seafood Advocate \(globalseafood.org\)](http://geneticskeytomaximumgrowthrateforshrimp-responsibleseafoodadvocate.globalseafood.org)

Para el diseño de la planta Parab se asumió una ganancia de peso de 1.37 gramos semanales, determinada en el estudio de YSI Environmental (Ref. B-60) en un sistema Raceway), que es bastante inferior al valor óptimo de 2.59 gramos cada semana, que está determinado en el estudio de Thomas R. Zeigler et al (Ref. B-62). Con este valor, en 4.5 meses el camarón alcanza unos 23.9 gramos, como se observa en la Tabla B-28, donde se encuentran los cálculos de la alimentación de los camarones.

Según la Tabla B-3 del Capítulo B-5, los requerimientos de proteína de los camarones oscilan entre 35 y 40% del alimento, y los bioflócs contienen entre 38 y 41% de ésta. Por lo tanto dichos bioflócs puede satisfacer esta necesidad. En los concentrados para camarones el contenido de proteína es oscila entre 35% y 40% (Nicovita. Ref. B-69). De acuerdo a la Tabla B-3, los bioflócs están en capacidad de aportar todas las necesidades de los diferentes aminoácidos requeridos por los camarones. Luego de ensayos realizados en la alimentación de camarones producidos en una planta secuencial SBR, David D. Kuhn et al<sup>63</sup> concluyeron que éstos son la mejor alternativa para proporcionarles proteínas y aminoácidos esenciales. En este estudio se encontró que los bioflócs contienen de 35 a 49% de proteína, 22 a 36% de carbohidratos. y 13 a 18% de fibra cruda. Sin embargo el contenido de lípidos solo es de entre 0 y 1%.

En la Tabla B-4 del Capítulo B-5, basada en un estudio de Erick Ochieng Ogello et al (Ref B-18), se encuentra que cuando se utiliza la glucosa, el contenido de proteína es de 40%, y el de los lípidos es de 41%, lo cual es muy superior a cuando se utilizan otras fuentes de carbono, donde el contenido de lípidos solo llega a máximo 21%. En la Tabla B-3 del Capítulo B-5 se indica que las necesidades de lípidos de los camarones oscilan entre 10 y 11%. Por lo tanto, los bioflócs cultivados con jugo de caña tiene la capacidad de suministrar los lípidos requeridos por los camarones. En la siguiente Tabla B-4 de Erick Ochieng Ogello et al (Ref B-18) también se observa que cuando se utiliza la glucosa en la producción de bioflócs, el contenido de proteína de éstos se incrementa hasta 40%, lo cual suple las necesidades de los camarones.

Como se indicó anteriormente, para la cría de tilapias y camarones en sus etapas iniciales, es más adecuado la utilización de zooplancton, es especial los rotíferos. De acuerdo a un manual de la FAO sobre cultivo de rotíferos<sup>64</sup>, la especie más importante para la cría de peces y camarones es la *Brashtonus Plicatilis*, que es filtradora, y consume microalgas, bacterias y levaduras principalmente, que tengan tamaños de 12 a 15 micras de grosor. Las salinidades apropiadas para su cría están entre 1 y 97 ppm (equivalente a mg/L), lo cual permite tenerlas en los estanques de camarones. Se han tenido experiencias exitosas alimentando de este rotífero con levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) con un 95% y microalgas *Chlorella marina* con el 5% restante, con lo cual se obtuvieron densidades muy altas, de más de 100 rotíferos/ml.

---

<sup>63</sup> David D. Kuhn et al. "Biofloc: novel sustainable ingredient for shrimp feed". Global Seafood Alliance's (GSA) 2.010. <https://www.globalseafood.org/advocate/biofloc-novel-sustainable-ingredient-shrimp-feed/>

<sup>64</sup> FAO. "Cultivo de Rotíferos". <https://www.fao.org/3/ab473s/AB473S03.htm>

Estas dos especies se pueden cultivar en los estanques, puesto que ofrecen las condiciones de aireación y alimentación apropiadas. Luis Martínez Córdova et al (Ref. B-5) recomienda utilizar refugios similares a las jaulas de los alevinos para fomentar la crianza de zooplancton. De esta forma, las jaulas que se instalan en los estanques para la cría de post larvas facilita la alimentación de éstas con levaduras, rotíferos y otras especies de zooplancton.

Tabla B-20. Contenido de Ácidos Grasos en Rotíferos alimentados con Levadura de Cerveza

Acidos Grasos	Porcentaje de Contenido en Rotíferos	Rango %
18:3 $\omega$ 3 +	0,60	
20:3 $\omega$ 3	0,40	
20:4 $\omega$ 3	0,50	
20:5 $\omega$ 3°	1,00	
22:5 $\omega$ 3	0,20	
22:6 $\omega$ 3°	0,50	
<b>Total Omega 3</b>	<b>3,20</b>	<b>0,5 - 6,4</b>
18:2 $\omega$ 6 +	5,80	
20:4 $\omega$ 6	0,40	
<b>Total Omega 6</b>	<b>6,20</b>	<b>2,8 - 15,1</b>

Fuente. FAO. (Ref. B-64)

Según la tabla anterior de la FAO (Ref. B-64), los rotíferos alimentados con levadura de cerveza tienen un 3.20% de omega 3, y 6.20% de omega 6, que son importantes para la cría de tilapias y camarones en sus primeras etapas de desarrollo.

Según el manual de la FAO sobre cultivo de rotíferos *Brachionus plicatilis* (Ref. B-64), las limitaciones en la dieta basada en levadura de cerveza y microalgas para alimentación de camarones, es la ausencia de ácidos grasos y aminoácidos esenciales. En el documento de la FAO se indica que los rotíferos tienen altas tasas de reproducción, puesto que se duplican en menos de 24 horas, y pueden alcanzar altas densidades alimentándose con microalgas y levaduras. Además proliferan en amplios rangos de salinidad y temperaturas. En la tabla a continuación se el contenido de ácidos grasos esenciales en rotíferos *Brachionus plicatilis* alimentados con levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*), según las tablas 21 y 22 del documento de la FAO (Ref. B-64), donde se muestran los contenidos de aceites omega 3 y 6.

Para aumentar el contenido de ácidos grasos esenciales, se propone en el documento de la FAO (Ref. B-64) la utilización de una levadura mejorada con ácidos grasos poliinsaturados del tipo  $W_3$ , llamada levadura omega. Como se indica en el Numeral B-5, según Erika E. Fajardo, y Sandra Sarmiento, las levaduras de cerveza tienen un tamaño

de entre 4 y 8 micras de grosor, tienden a decantarse, y se desarrollan bien en suspensión. Para su alimentación se podrían requerir cantidades adicionales de urea y azufre. Este último se añade a los estanques en forma de abono triple 15.

Cláudio Kinach Loureiro et al<sup>65</sup> desarrollaron una técnica de cultivo de camarones un un sistema de bioflócs llamada PNCM, por sus siglas en inglés Protozoan and Nematodes Culture Medium, la cual se basa en la técnica llamada Zooplankton Promoter – ZP, desarrollada por Martínez Córdova (Ref. B-5) para promover la producción de zooplancton adecuado para alimentar las especies acuícolas. El sistema PNCM es similar al de la planta Parab, puesto que los camarones se crían en un estanque donde se producen bioflócs y rotíferos. En el sistema PNCM los rotíferos se alimentan principalmente de heno de alfalfa y melaza de caña, que proporcionan fibra, nitrógeno y carbono. En la planta Parab, estos elementos son proporcionados por el bagazo y el jugo de caña, y por la urea.

En el sistema PNCM se hicieron ensayos con adición de los insumos mencionados en diversas proporciones. Al analizar el tracto intestinal de los camarones, los resultados indican que con la adición de la mayor cantidad de estos insumos, los camarones consumen gran cantidad de rotíferos en la fase inicial de desarrollo, pero en la etapa de engorde decrece, y los camarones tienen un peso más bajo en la cosecha. Esto se atribuye a que los camarones tienen tamaños entre 100 y 300 micras, y son demasiado pequeños para ser consumidos por los camarones en su etapa de engorde. La tasa de supervivencia de camarones criados con solo bioflócs era de 44%, y cuando se añadió la mayor cantidad de insumos esta tasa subió a 54%, pero el peso decreció.

Por lo tanto, puede considerarse que del sistema PNCM descrito por Cláudio Kinach Loureiro et al (Ref. B-65) es muy apropiada para la cría de camarones en las etapas de post larvas y levante. En este sistema se requiere añadir fibra, carbono y nitrógeno al agua, utilizando caña de azúcar y urea en el caso de la planta Parab.

Otra alternativa para suplir las necesidades de ácidos grasos esenciales omega 3 y 6 de los camarones consiste en suministrarles un concentrado elaborado a partir de las vísceras y desechos de tilapias, que quedan de los procesos de fileteado o de desviscerado, que consiste en retirar solo las vísceras. En el estudio de Yhoan S. Gavrira et al (Tabla B-19, Ref. B-54) se encuentra la composición bromatológica de las vísceras, que componen gran parte de los desechos del fileteado. Allí se puede observar que el 85.22% del peso seco de dichas vísceras están compuestas por grasas. Según un artículo de Milthon Lujan, los desechos del fileteado contienen gran cantidad de ácidos grasos omega 3 de cadena larga, que son importantes para la nutrición animal<sup>66</sup>. Otra

---

<sup>65</sup> Cláudio Kinach Loureiro et al. "THE USE OF PROTOZOAN, ROTIFERS AND NEMATODES AS LIVE FOOD FOR SHRIMP RAISED IN BFT SYSTEM". Universidade Federal do Rio Grande. Brasil. 2.012  
[\(PDF\) THE USE OF PROTOZOAN, ROTIFERS AND NEMATODES AS LIVE FOOD FOR SHRIMP RAISED IN BFT SYSTEM \(researchgate.net\)](#)

<sup>66</sup> Milton Lujan. "Aprovechamiento de Subproductos del Procesamiento de Tilapia para la Nutrición Humana". Diciembre de 2.022. [Aprovechamiento de subproductos del procesamiento de tilapia para la nutrición humana \(aquahoy.com\)](#)



parte importante de los desechos del fileteado son los huesos, que están constituidos esencialmente por fosfato de calcio, que aporta el fósforo.

En un artículo de Jerson Andrés Cuéllar Sáenz<sup>67</sup> se encuentra el proceso de fabricación de harina de pescado a partir de desechos del fileteado de éstos para su utilización en la acuicultura. En este proceso se tiene las fases de secado y molienda, para obtener tamaños adecuados para la alimentación. A continuación viene la fase de cocción, se somete a una temperatura de 100°C durante 20 minutos con control de la salida del vapor, que tiene por objeto eliminar actividad microbiológica y enzimática, y facilitar la separación del aceite. No se recomienda hacer esta separación, y el aceite puede integrarse a un alimento seco mezclando el producto con bagazo seco picado en tamaños de menos de 1 cm, de tal manera que éste adsorba el aceite. El bagazo está constituido en un 30 % de una forma esponjosa de celulosa llamada parénquima, que tiene una buena capacidad de adsorción.

En la alimentación recomendada por Nicovita (Ref. B-69), el grosor el alimento para camarones en engorde está entre 0.8 y 2.5 mm. El bagazo tiene parénquima, que es una forma esponjosa de la celulosa, que le da importante capacidad de absorber los aceites. Finalmente se realiza el secado para reducir la humedad a entre 5 y 10%, y luego se le adiciona al producto final aditivos para controlar los patógenos, y antioxidantes para prevenir la oxidación de las grasas. Este bagazo contribuye al suministro de carbono que se requiere, cuya asimilación por parte de peces y camarones se facilita debido a organismos celulolíticos. En un estudio realizado por Wei Ren et al (Ref. B-37) se encontró que organismos de las especies *Microbulbifer* sp. CFW-C18 *Vibrio* sp. MW-M19 tienen capacidad de hidrolizar el bagazo de caña para convertirlo en excelente alimento para cultivos de camarón.

De acuerdo al manual de la FAO<sup>68</sup>, se recomienda suministrar a los camarones de 10 gramos un 4% de su peso en alimento, y a los de más de 14 gramos un 3%. Para los camarones de 1.5 g se suministra alrededor del 20% de su biomasa, y en las post larvas que inician el ciclo, este porcentaje es aproximadamente de 25%. A continuación se encuentra la tabla de alimentación de los camarones con concentrado sugerida por la empresa Nicovita<sup>69</sup>.

---

<sup>67</sup> Jerson Andrés Cuéllar Sáenz. "Procesos en la fabricación de la harina de pescado". Veterinaria Digital. 2.021. [Procesos en la fabricación de la harina de pescado \(veterinariadigital.com\)](http://www.veterinariadigital.com).

<sup>68</sup> FAO. "Manual de Cría de Camarones". <http://www.fao.org/3/ab466s/AB466S04.htm>

<sup>69</sup> Nicovita. "NICOVITA TERAP CAMARÓN". [FT-NICOVITA-TERAP-CAMARON.pdf](http://www.nicovita.com/FT-NICOVITA-TERAP-CAMARON.pdf)

Tabla B-21. Tabla de Alimentación del Camarón

<b>Peso del Camaron Gramos</b>	<b>Porcentaje de la Biomasa</b>
hasta 1	12,6 a 6,8
1 a 3	6,8 a 3,6
3 a 6	3,6 a 2,8
6 a 10	2,8 a 2,3
10 a 15	2,3 a 2,2
15 a 20	2,0 a 1,8
mas de 20	1,8

Fuente: Nicovita. (Ref. B-69)

Debido a que los camarones permanecen en el fondo del estanque, el alimento debe tener densidad mayor que el agua para que se hunda. Esta condición la tienen tanto los bioflócs que se producen en los lechos de compostaje, como el alimento elaborado a partir de vísceras de tilapia. Con estos dos alimentos se pueden alimentar también las post larvas que se crían en las jaulas.

### **B-9.3. Salinidad y Oxígeno Disuelto**

La salinidad es la medida de la concentración de todas las sales disueltas en el agua, que en agua marina, y corresponde principalmente a cloruro de sodio NaCl. El rango de salinidad recomendado para camarón blanco del Pacífico (*Penaeus Vannamei*) está entre 5 y 40 ppt (partes por mil de sales, lo cual equivale a mg/L). Para las tilapias, según Alfredo Mena-Herrera et al<sup>70</sup> la salinidad óptima es de 15 ppt. La eficiencia en la transferencia de oxígeno aumenta con la salinidad, y es máxima cuando tiene un valor de 25 ppt<sup>71</sup>. La relación entre la salinidad, la temperatura y el consumo de oxígeno para el camarón *Litopenaeus stylirostris* se puede observar en la gráfica de la Figura B-28 de Ana Denisse Re et al<sup>72</sup>, que se encuentra en el siguiente numeral. Allí se observa que cuando la temperatura es de 28°C, y salinidad de 15 ppt, el consumo de oxígeno es

---

<sup>70</sup> Alfredo Mena-Herrera et. al. "Efecto de la salinidad en el crecimiento de tilapia híbrida". UAM. México. 2.001. <http://www.ejournal.unam.mx/rvm/vol33-01/RVM33104.pdf>

<sup>71</sup> Luis Vinatea. "The impact of oxygen consumption by the shrimp *Litopenaeus vannamei* according to body weight, temperature, salinity and stocking density on pond aeration: A simulation". Acta Scientiarum Biological Sciences. 2.011. [https://www.researchgate.net/publication/266443049\\_The\\_impact\\_of\\_oxygen\\_consumption\\_by\\_the\\_shrimp\\_Litopenaeus\\_vannamei\\_according\\_to\\_body\\_weight\\_temperature\\_salinity\\_and\\_stocking\\_density\\_on\\_pond\\_aeration\\_A\\_simulation](https://www.researchgate.net/publication/266443049_The_impact_of_oxygen_consumption_by_the_shrimp_Litopenaeus_vannamei_according_to_body_weight_temperature_salinity_and_stocking_density_on_pond_aeration_A_simulation)

<sup>72</sup> Ana Denisse Re et al, "Consumo de oxígeno, excreción de amonio y capacidad osmorreguladora de *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson) expuesto a diferentes combinaciones de temperatura y salinidad". Ciencias Marinas. 2.004. [Oxygen consumption, ammonium excretion and osmoregulatory capacity of \*Litopenaeus stylirostris\* \(Stimpson\) exposed to different combinations of temperature and salinity | Ciencias Marinas](https://www.researchgate.net/publication/266443049_The_impact_of_oxygen_consumption_by_the_shrimp_Litopenaeus_vannamei_according_to_body_weight_temperature_salinity_and_stocking_density_on_pond_aeration_A_simulation)

mínimo. A una conclusión similar se llegó en un estudio de Wenceslao Valenzuela-Quiñónez et al<sup>73</sup> para el caso del camarón blanco, en el cual se indica que la temperatura óptima es de alrededor de 30°C. Las zonas ecuatoriales a nivel del mar tienen temperatura cercanas 28°C, que se consideran óptimas para la cría de camarones.

Para el diseño se recomienda adoptar un valor de salinidad de 15 ppt, la cual también bastante apropiada para la cría de tilapias según el documento de Alfredo Mena-Herrera et. al (Ref. B-70). En Colombia, la salinidad del océano Atlántico es de 36 ppt, mientras que en el Pacífico es de alrededor de 32 ppt cerca de la superficie<sup>74</sup>. Para obtener una salinidad de 15 ppt se puede utilizar la siguiente ecuación, donde  $V_e$  es el volumen total de agua del estanque, y  $V_m$  el del agua marina que se añade a éste.  $C_m$  es la concentración de sal del agua de mar, y  $C_e$  la del estanque, que es de 15 ppt.

$$V_m = V_e \times C_e / C_m \quad \text{Ecuación B-8}$$

Se recomienda ubicar las plantas Parab para la cría de camarones cerca al mar con el objeto de conseguir el agua salada para su llenado, y en estas zonas las temperaturas del agua son cercanas a 27.5°C.

Es importante monitorear la concentración de cloruro de sodio con un refractómetro para mantenerla cerca del parámetro establecido. Estos medidores se utilizan para medir la concentración de sal en aguas marinas, y consisten en un prisma donde se colocan gotas del agua. Estas ocasionan la refracción de una luz que incide en el prisma. El equipo registra el ángulo de refracción, que indica el contenido de sal en el líquido en unidades ppt. El uso del refractómetro se encuentra en una página de BRS Learning Center<sup>75</sup>.

Debido a la salinidad, el tipo de plancton que se cría en los estanques debe corresponder al de agua salobre que se encuentra en estuarios y lagunas de litoral. En el plancton de las aguas salobres y salinas se destaca la artemia salina, que es un crustáceo muy apropiado para la alimentación de peces y camarones. También es necesario introducir microorganismos de agua salina propios de las biopelículas. En un estudio en el que se comparan los bioflócs de agua dulce, con los de agua con concentración de 30 ppt de sal, se encontró que los contenidos de proteínas y de ácidos grasos son similares<sup>76</sup>.

---

<sup>73</sup> Wenceslao Valenzuela-Quiñónez et al. "Efecto de diferentes combinaciones de temperatura y salinidad sobre el consumo específico de oxígeno en el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*". Revista de biología marina y oceanografía. 2.011.

[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-19572011000300002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-19572011000300002)

<sup>74</sup> Hector Málikov et al. "Método de aproximación para determinar cambios entreanuales aplicado a parámetros de temperatura y salinidad del Pacífico colombiano". AquaDocs. Boletín Científico CCCP. Dimar. [dimarcccp.1998.boletincccp.07.30-41.pdf \(aquadocs.org\)](http://dimarcccp.1998.boletincccp.07.30-41.pdf)

<sup>75</sup> BRS Learning Center Guides. "How to use a Refractometer to Measure Salinity".

[How to use a Refractometer to Measure Salinity - Bulk Reef Supply](http://www.bulkreef.com/learn/how-to-use-a-refractometer-to-measure-salinity)

<sup>76</sup> Julie Ekasari, Roselien Crab y Willy Verstraete. "Primary Nutritional Content of Bio-Flocs Cultured with Different Organic Carbon Sources and Salinity". Hayati Journal of Biosciences. 2.010.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1978301916301899>

---

El valor mínimo del oxígeno disuelto recomendado en los estanques es de 4 mg/L, que es el requerido por los camarones según un manual de la FAO (Ref. B-55). Este valor que es más alto que el requerido para la tilapia. Este oxígeno se obtiene mediante la aireación con la boquilla de tubo transversal. Como se señala en la guía de Yoram Avnimelech y Andrew J. Ray<sup>77</sup>, los venturís son muy apropiados para la aireación de los estanques para el cultivo intensivo de camarones, debido a transfieren oxígeno al agua a la vez que mantienen limpio el fondo, y además generan una turbulencia que mantiene dichos bioflócs en suspensión.

En el estudio de Luis Vinatea et al (Ref. (B-79) se encuentran las ecuaciones que relacionan el consumo de oxígeno por kilogramo de camarones, para diferentes salinidades y temperaturas de 25 y 30°C. Se hizo una interpolación del coeficiente y el exponente para obtener la ecuación correspondiente a 27.5°C, la cual queda de la siguiente forma:

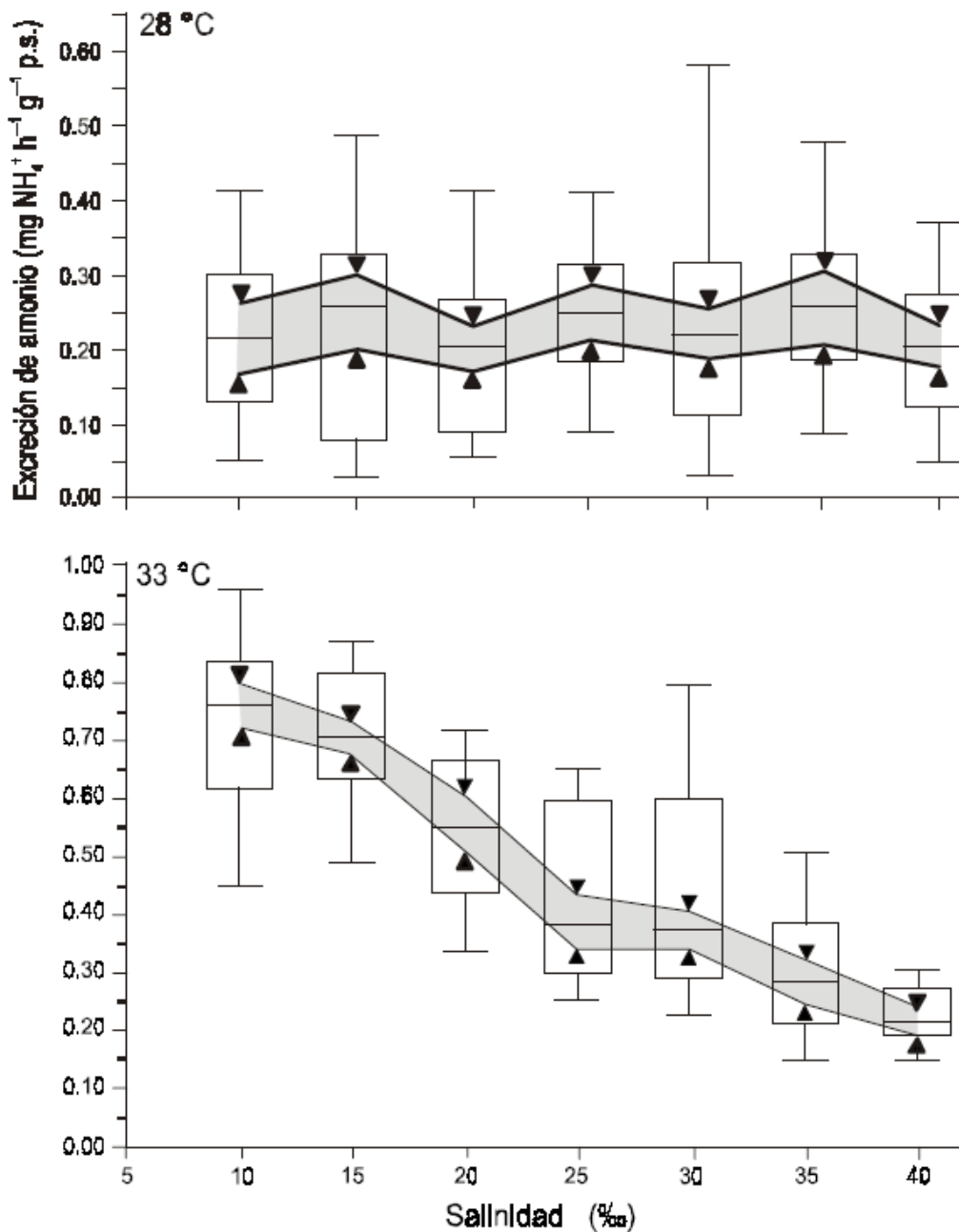
$$Y = 0.2767Xs^{1.0207} = 0.2767((X(1-W))^{1.0207} \quad \text{Ecuación B-8}$$

Donde Y es consumo de oxígeno en mg de O<sub>2</sub>/hora y Xs es el peso seco de cada camarón. Este peso se calcula como el peso real del camarón X multiplicado por 1- W, donde W es el contenido de agua, que es de un 70%. A este consumo por respiración se añade el correspondiente a la nitrificación de los desechos, los cuales contienen nitrógeno amoniacal. En la gráfica de la siguiente figura de Ana Denisse Re et al (Ref. B-72), se encuentra la excreción del nitrógeno amoniacal como mg de NH<sub>4</sub>/hora, por gramo de camarones. Dicha excreción está en función de la temperatura y la salinidad. Allí se observa que para una salinidad de 15 ppt, el valor de las excreciones es de 0.25 mg NH<sub>4</sub>/hora por gramo de peso seco, para una temperatura de 28°C, que corresponde a la zona baja s ecuatorial.

---

<sup>77</sup> Yoram Avnimelech y Andrew J. Ray "Biofloc Technology. A Practical Guide Book. - Chapter 13: Biofloc Technology For Super-Intensive Shrimp Culture" Segunda Edición.  
[\(PDF\) Biofloc Technology for Super-Intensive Shrimp Culture \(researchgate.net\)](#)

Figura B-28. Relación entre Salinidad y la Excreción de Amonio del Camarón *Litopenaeus stylirostris* para Temperaturas de 28 y 33 °C



Fuente: Ana Denisse Re et al (Ref. B-72)

Gran parte de la nitrificación de excreciones de los peces y camarones se realiza en el filtro percolador, puesto que éstos se decantan en el fondo del estanque, desde donde salen hacia dicho filtro a través del sistema de recirculación. Para el diseño de la planta Parab para camarones se asumió que el 60% del nitrógeno amoniacal se remueve en el filtro percolador y el resto se nitrifica en los estanques, en un proceso que consume parte

del oxígeno disuelto que trasfiere el sistema de aireación. Para convertir cada gramo de  $\text{NH}_4$  en biomasa heterótrofa se requieren 4.71 gramos de oxígeno según la estequiometría de la Ecuación C-1.

#### B-9.4. Turbiedad

La turbiedad afecta al camarón más que a la tilapia. De acuerdo con los estudios realizados por Andrew J. Ray et al<sup>78</sup>, los sistemas de bioflócs actuales, aunque traen beneficios para la cría de camarones, ocasionan una turbiedad que afecta severamente su sistema respiratorio, pues ocluyen las branquias y causan stress. En el estudio se indica que al controlar los sólidos suspendidos, la producción de camarones se incrementa en 41%. Esto se logra con la utilización del filtro percolador para purificar el agua de los estanques.

Para controlar la turbiedad, en los sistemas Raceway se capta el agua en las zonas del canal donde tienden a decantarse los sedimentos, los cuales son removidos, junto con el nitrógeno amoniacal, en una planta de tratamiento. Luego el agua es devuelta al Raceway. En otras ocasiones, todo el caudal se hace recircular a través del sistema de tratamiento. Las plantas más utilizadas para dicho tratamiento son sistemas de biopelícula de lecho fijo o móvil, que utilizan bioportadores plásticos, similares al filtro percolador previsto para la planta Parab. Esto se debe a su capacidad de remover eficientemente turbiedad y sólidos suspendidos. En ocasiones se utilizan también tanques de algas para el tratamiento.

#### B-9.5. Relación C/N

En el estudio de Andrew J. Ray et al (Ref. B-78) se recomienda adicionar carbono a los estanques de camarones, para tener una relación C/N de 25, que es superior a la de 20 que se recomienda para las tilapias. La fuente de carbono contemplada en el estudio fue la sacarosa, que es el principal componente de la caña de azúcar, puesto que son de fácil asimilación por parte de los microorganismos. En la planta Parab también está el bagazo como fuente de carbono, que además sirve de sustrato para el filtro percolador, y de núcleo de los bioflócs. Este carbono se proporciona a través de la lenta degradación del bagazo por parte de los organismos celulolíticos. Las hojas y cogollos de la caña constituyen una fuente de carbono de mejor disponibilidad para los microorganismos, puesto se degradan en corto tiempo.

---

<sup>78</sup> Andrew J. Ray et al. "Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems". Elsevier. 2.009.

[https://www.researchgate.net/publication/222512192\\_Suspended\\_solids\\_removal\\_to\\_improve\\_shrimp\\_Litopenaeus\\_vannamei\\_production\\_and\\_an\\_evaluation\\_of\\_a\\_plant-based\\_feed\\_in\\_minimal-exchange\\_superintensive\\_culture\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/222512192_Suspended_solids_removal_to_improve_shrimp_Litopenaeus_vannamei_production_and_an_evaluation_of_a_plant-based_feed_in_minimal-exchange_superintensive_culture_systems)



### B-9.6. Diseño y Operación de la Planta para Camarones

Los procesos y las estructuras de la planta Parab para la cría de camarones son similares que los que se tienen para la cría de tilapias. En la planta Parab. En plantas Raceway para cultivo de camarones con tecnologías avanzadas también se tienen las tres etapas de cultivo, que se realizan por separado. Según los estudios de Peter M. Van Wyk<sup>79</sup>, la productividad puede variar desde 6.9 kg/m<sup>2</sup>-año cuando el camarón tiene su desarrollo en una sola etapa, hasta 11.8 kg/m<sup>2</sup> cuando éste se hace en 3 etapas con 4.5 meses de duración total. Esto equivale a un aumento en la productividad del 80%, por lo cual se recomienda la opción de las 3 etapas. La densidad máxima recomendada en la hoja técnica de la FAO (Ref. B-55) es de 300 unidades por m<sup>2</sup>, la cual se adopta en la Tabla B-22 del cálculo de la planta.

Una de las diferencias con la planta Parab para el cultivo de tilapias, es que en el cocultivo con camarones, los alevinos de tilapias y las post larvas se desarrollan en jaulas diferentes, pues requieren de complementos nutricionales distintos, y además los alevinos pueden depredar las post larvas. Las jaulas para post larvas deben tener mallas con menor apertura, En la planta diseñada se tienen que de las 10 jaulas por estanque, una se utiliza para alevinos y el resto para post larvas de camarones. O sea que por cada etapa se tiene 18 para alojar post larvas y 2 para alevinos. Otra diferencia es que en el cocultivo se tiene un tiempo de cría de 4.5 meses, repartidos en 3 etapas de 1.5 meses de duración, mientras que en el cultivo de tilapias se tiene 3 etapas de dos meses, para un total de 6 meses. En estas condiciones, la planta Parab tiene una capacidad de producir 15.4 toneladas de camarones y 2.71 toneladas de tilapias al año, como se indica en la Tabla B-22 a continuación.

También hay que tener en cuenta que para el desarrollo de los camarones es importante promover el cultivo de rotíferos y de la levadura de cerveza con la que se alimentan, y para ello se requiere de la inoculación de estas especies, y posiblemente del suministro de azufre adicional que requiere la levadura, que se puede proporcionar en forma de yeso agrícola, la cual tiene un contenido de 13% de azufre según la ficha Técnica<sup>80</sup>.

Para realizar la cosecha de camarones y tilapias, inicialmente se apaga la bomba del sistema de aireación de los estanques de engorde, y se cierra la válvula sobre el ramal que sale hacia el filtro percolador, y la ubicada en la tubería que conecta la bomba de recirculación con los estanques de engorde. El sistema de recirculación sigue funcionando para los demás estanques. Luego se desocupan parcialmente los estanques de engorde hasta cierto nivel, para facilitar la recolección de las tilapias. Esto se hace abriendo la válvula ubicada a la salida de la tubería hacia el pozo de bombeo de recirculación. Este pozo tiene sistema de bombeo que saca el exceso de agua hacia el cultivo de caña.

---

<sup>79</sup> Peter M. Van Wyk "Designing Efficient Indoor Shrimp Production Systems: A Bioeconomic Approach". Shrimp Research Program Manager, Harbor Branch Oceanographic Institution. Florida, USA. 2.001. [https://www.researchgate.net/publication/322602967\\_DESIGNING\\_EFFICIENT\\_INDOOR\\_SHRIMP\\_PRODUCTION\\_SYSTEMS\\_A\\_BIOECONOMIC\\_APPROACH/link/5a62382b0f7e9b6b8fd5c0b5/download](https://www.researchgate.net/publication/322602967_DESIGNING_EFFICIENT_INDOOR_SHRIMP_PRODUCTION_SYSTEMS_A_BIOECONOMIC_APPROACH/link/5a62382b0f7e9b6b8fd5c0b5/download)

<sup>80</sup> [FICHA-TECNICA-YESO-AGRICOLA.pdf \(abonosconagricola.com\)](#)

Una vez desocupado parcialmente el estanque, se procede a cosechar las tilapias mediante redes. Posteriormente se cosechan los camarones. Para ello se retiran las rejillas triangulares a la salida de los estanques, y abriendo la totalmente válvula que controla el desagüe de los estanques hacia el pozo del bombeo de recirculación, de tal forma que los camarones sean arrastrados por el flujo, y recogidos en canastas cuando éstos salgan a través de dicha válvula. Esta debe ser de tipo de bola, para poder cerrarla rápidamente cuando la canasta esté llena, lo cual reduce el daño a los camarones. Para facilitar la recolección de los últimos camarones, se puede recircular el flujo hacia los estanques de engorde, abriendo la válvula sobre la tubería que comunica estos estanques con la bomba de recirculación. Para facilitar las operaciones de llenado de las canastas, se coloca un banco dentro del pozo de recirculación.

Finalizada la recolección de los camarones, se realiza el llenado parcial de estos estanques, intercomunicando todos los estanques para que pase agua desde los estanques de levante a los de engorde. Esto se hace cerrando la válvula que desagua los estanques de engorde hacia el pozo, y abriendo la que los conecta con el filtro percolador, que también los conecta los otros estanques como se observa en las figuras B-11 y B-12 del Capítulo B-3. A continuación se siguen los pasos descritos en dicho capítulo para el llenado total de los estanques y el inicio de un nuevo ciclo de cultivo.

En resumen, para el cultivo de camarones las plantas Parab ofrecen las siguientes ventajas:

- En las plantas Parab, el agua es recirculada, y la cantidad que se toma de fuentes naturales es mínima. Esto evita el riesgo de introducir enfermedades que actualmente afectan con frecuencia los cultivos de camarones.
- El sistema de aireación mediante boquillas no lastima los camarones, y logran un efecto de mezcla completa que mantiene los bioflócs en suspensión y el fondo limpio. Esto no se consigue con los sistemas de paletas o splash utilizados actualmente.
- La aireación realizada por las boquillas de tubo transversal es muy eficiente en transferir y distribuir el oxígeno al agua, que es fundamental para mantener altas densidades. Esto se hace con bajo consumo de energía
- La recirculación de agua del estanque a través del filtro percolador es una forma muy eficiente de controlar los sólidos suspendidos y el nitrógeno amoniacal, que afectan seriamente a los camarones.
- Los estanques estarían ubicados sobre el nivel del suelo, y se drena por gravedad. Por lo tanto, es posible cosechar los camarones colocando canastas sobre el drenaje de éstos hacia el pozo, que es una labor más sencilla que pescarlos con redes, como se hace actualmente.

A continuación, se presentan los cálculos y diseños de las estructuras de la planta de acuicultura para el cultivo de camarones.

Tabla B-22. Parrilla de Aireación del Policultivo

**Información de Entrada**

Variables Principales de Entrada
Parámetros de Diseño Asumidos
Parámetros tomados de la Literatura Científica o Técnica

**Información de Salida**

Resultados Finales e Indicadores de Desempeño
Indicadores de Control
Parámetros y Datos de Diseño Calculados
Otros Cálculos

<b>Características del Sistema de Aireación</b>			
Velocidad de Flujo en Garganta	Vt	9,00	m/s
Cabeza de Velocidad en Garganta	hv	4,13	m
Caudal por Boquilla	Q	0,73	Lps
Potencia Hidráulica por Boquilla	Ph	0,029	Kw
No de Boquillas por Parrilla		16	u
Caudal por Parrilla		11,61	Lps
<b>Transferencia de Oxígeno por Parrilla</b>			
Concentración de OD Media en el Estanque		5,00	mg/L
Altitud		1.000	msnm
Temperatura	T°C	28	oC
Area de Garganta		80,65	mm2
Diámetro Equivalente de la Boquilla	D = 2*H	6,35	mm
Eficiencia en Transferencia de O2 en Condiciones Estándar	SOTE	SOTE	2,13 Kg O2/Kw-h
Potencia Hidráulica por Parrilla		0,47	kW
Transferencia de O2 en Condiciones Estándar por Parrilla	SOTR	SOTR	1,00 Kg O2/hora
Presion a Nivel del Mar	P	101,33	kPa
Factor de Presión		-0,11	
Presión en el Sitio	Pt	90,46	kPa
Salinidad del Agua	NaCl	15	gr/L
Concentración de Saturación de O2 para Temperatura	Cs <sub>T</sub>	7,18	mg/L
Concentración de Saturación de O2 para Temperatura y Altitud	Cs <sub>TA</sub>	6,41	mg/L
Profundidad de las Boquillas a 45°		0,70	m
Penetración Adicional del Chorro		0,30	m
Profundidad de Aireación		1,00	m
		9,80	kPa
Concentración de Saturación de O2 en el Terreno	Cst	6,76	mg/L
Factor de Corrección de Transferencia de O2	α	0,95	
Factor de Corrección por Salinidad y Tensión Superficial	β	0,95	
Saturación de O2 en Condiciones Standard (nivel del mar y 20°C)	Cst	9,08	mg/L
Factor Transferencia de O2 en Condiciones Reales	N	0,179	
Transferencia de Oxígeno en Condiciones de Terreno por Parrilla	AOTR	0,18	Kg O2/hora
<b>Bombeo de Aireación en Estanques</b>			
Caudal de Diseño de los Estanques	m3/h	GPM	Lps
	83,61	367,90	23,23
Pérdidas de Cabeza en la Boquilla		4,13	m
Pérdidas de Cabeza en Tuberías de Descarga		0,98	m
Diferencia de Altura		-	m
Total Cabeza de Bombeo		5,11	m
Eficiencia de Bombeo		78%	
Potencia de Bombeo en Cable		1,49	Kw
		2,00	HP

Tabla B-23. Información General de la Planta Parab para Camarones y Tilapias

<b>Parámetros de Entrada por Módulo de 2 Estanques</b>		
Número de Módulos por Planta	2	u
Ancho de Estanques Octagonales	9	m
Area Superficial por Par de Estanques	134	m <sup>2</sup>
Profundidad Mínima	1,20	m
Volumen de Agua por Par de Estanques	161	m <sup>3</sup>
No de Etapas	3	u
Tiempo de Cria por Etapa	6	semanas
Tiempo Total de Cria	4,5	meses
Cosechas por Año	8	u
Densidad Máxima de Camarones	300	u/m <sup>2</sup>
Densidad de Camaron Final Asumida	300	u/m <sup>2</sup>
Tasa de Supervivencia por Etapa	97%	
Tasa de Supervivencia en Ciclo	91,3%	
Densidad Inicial de Camarones Especificada	329	u/m <sup>2</sup>
No Inicial de Post Larvas de Camarón	44.136	u
No de Camarones en 2a Etapa	42.812	u
Node Camarones en 3a Etapa	41.527	u
No Final de Camarones	40.282	u
No de Jaulas para Camarones	18	u
Volumen de cada Jaula	1,20	m <sup>3</sup>
Volumen de Jaulas	21,60	m <sup>3</sup>
Densidad de Larvas en Jaulas	2.043	u/m <sup>2</sup>
No de Jaulas para Tilapias	2	u
No de Tilapias por Jaula	441	u
No Total de Jaulas	20	u
Máxima Carga de Camarones en Estanque de Engorde	7,17	Kg/m <sup>2</sup> -año
Máxima Carga de Tilapias en Estanque de Engorde	1,26	Kg/m <sup>2</sup>
<b>Producción de Camarones y Tilapias</b>		
Peso Final del Camarones	23,89	gr
Producción de Camarones por Etapa Calculada	6,16	Kg/m <sup>3</sup>
Producción de Camarón por Cosecha	962	Kg/cosecha
Producción Anual de Camarones	15,40	Toneladas anuales
Producción Anual por m <sup>2</sup> de Estanque	114,67	Kg/m <sup>2</sup>
No de Camarones por Tilapia	50	u
No Inicial de Tilapias	883	u
No de Tilapias en 2a Etapa	856	u
No de Tilapias en 3a Etapa	831	u
No Final de Tilapias	806	u
Peso Final por Tilapia	210	gr
Peso Total de Tilapias cosechadas	169	Kg/cosecha
Producción Anual de Tilapias	2,71	Toneladas anuales

INCREAGUA - Textos Básicos  
 TEXTO B - Acuicultura con Bioflócs Celulósicos

Tabla B-24 Alimentación del Policultivo de Camarones

<b>Suministro de Insumos Químicos</b>		
Porcentaje de Nitrógeno en Proteína		16%
Relación C/N para Asimilación del Nitrógeno	C/N	25
Contenido de NH4 en Urea		46%
Cantidad Anual de Urea a Suministrar		6.742 Kg/año
Cantidad Máxima de Urea a Suministrar		80,04 Kg/Jornada
Proporción de Fósforo Requerido en la Alimentación		0,90%
Proporción de Potasio Requerido en la Alimentación		1,00%
Proporción de Fósforo y Potasio en Abono Triple 15		15%
Proporción de Triple 15 Requerido para Suministro de P y K		6,67%
Cantidad Máxima de Abono Triple 15 a Suministrar por Día		6,50 kg/día
Cantidad Máxima de Nitrógeno en Abono Triple 15 por día	15,64%	0,97 kg/día
Cantidad Máxima de Nitrógeno a Suministrar		6,23 kg/día
Cantidad Máxima de Nitrógeno en Urea	84,36%	5,26 kg/día
		18,41 kg/jor
Cantidad Máxima de Nitrógeno Aportado por Urea por Jornada		40,02 kg/jor
Tasa de Consumo de Alcalinidad por Nitrificación Heterótrofa		3,57 g CaCO3/g NH4
Requerimiento Máximo de Alcalinidad		22,26 Kg/día
Aporte de Alcalinidad por Gramo de Hidróxido de Calcio (Cal)		1,35 gramos
Pureza de la Cal		80%
Aporte de Alcalinidad por Gramo de Cal Comercial		1,08 gramos
Cantidad Anual de Cal a Suministrar		12.152 Kg/año
Cantidad Diaria Máxima de Cal a Suministrar		20,61 Kg/día
Salinidad Especificada en Estanques	NaCl	15 gr/L
Salinidad del Mar medida		36 ppt
Agua Marina por Par de Estanques	41,67%	67 m3
Contenido de Vitamina C en Jugo de Caña		4,7 g/L
Tasa de Vitamina C Máxima Requerida		79 mg/Kg peces - día
Cantidad Máxima de Vitamina C Requerida		0,35 Kg /día
Cantidad Máxima de Vitamina C Suministrada en Jugo	suficiente	4,25 Kg /día
Cantidad de Lisina a Suministrar como % del Alimento		0,80%
Cantidad de Glucosa a Procesar como % del Alimento		2,58%
Proporción de Glucosa en Alimento Nominal		57,75%
Proporción de la Glucosa a Convertir en Lisina		4,47%
Cantidad de Biotina a Suministrar por Kg de Glucosa a Procesar		4,00 mg/kg
Cantidad de Biotina a Suministrar por Tonelada de Alimento		103,23 mg/ton
Cantidad Máxima de Biotina a Suministrar		35,22 mg/jor
<b>Suministro de Caña</b>		
Periodicidad del Ciclo de Suministro de Insumos		3,5 días
Porcentaje de Bagazo Seco en la Caña		16%
Proporción de Hojas y Cogollos respecto al Bagazo Seco		30%
Porcentaje de Sacarosa del Jugo de Caña	12 a 16%	14%
Porcentaje de Sacarosa en la Caña		11,8%
Porcentaje de Hojas y Cogollos en Carbohidratos de la Caña		4,8%
Total de Carbohidratos en la Caña		32,6%
Porcentaje de Carbohidratos de Fácil Degradación		16,6%
Cantidad Máxima de Caña cortada por Jornada		1.675 kg/jornada
Cantidad Máxima de Jugo de Caña por Jornada		1.130 Lt/jornada
Composición del Carbono Suministrado	Bagazo	49%
	Azucares	36%
	Hojas y Cogollo	15%
Cantidad Anual de Caña a Suministrar		71 Ton/año
Cantidad Diaria Máxima de Caña Suministrar		1.675 Kg/jornada
Cantidad Máxima de Jugo de Caña por Día		905 Kg/jornada
Cantidad Máxima de Bagazo y Hojas por Jornada		771 kg/jornada

Tabla B-25 – Sistema de Compostaje

<b>Cálculo del Compostaje</b>		
Tiempo de Compostaje		7 días
Capacidad del Trapiche de 3HP		250 kg/h
Tiempo para Procesar Caña por Jornada		6,70 horas
Potencia de Trapiche		3 HP
Consumo de Energía por Trapiche		1.565 kW-h/año
Capacidad del Picapastos		2.000 kg/h
Tiempo para Picar Caña por Día		0,84 horas
Potencia de Picapastos		5 HP
Consumo de Energía por Picapastos		326 kW-h/año
Densidad del Bagazo Picado		200 Kg/m <sup>3</sup>
Volumen Máximo de Bagazo Picado por Jornada		3,85 m <sup>3</sup> /jornada
Longitud del Lecho		4,50 m
Ancho de cada Lecho		1,60 m
Ancho Total de Lechos		3,32 m
Area de cada Lecho		7,20 m <sup>2</sup>
Altura del Bagazo Picado		0,54 m
Altura del Muro	suficiente	0,60 m
<b>Sistema de Riego de Lecho de Compostaje</b>		
No de Tuberías		6 u
No de Aspersores por Tubería		4 u
No de Aspersores		24 u
Espaciamiento Medio entre Tuberías		0,75 m
Espaciamiento Medio entre Aspersores		0,83 m
Caudal de Riego del Compostaje		5,44 Lps
No de Boquillas para Mezcla		2 u
Diferencia de Altura de Aspersores		1,30 m
Perdidas en Tubería de Riego		2,47 m
Cabeza de Bombeo de Riego	Hb	3,77 m
Cabeza en la Boquilla		3,77 m
Caudal por Boquillas de Mezcla		1,39 Lps
Velocidad en la Boquilla		8,60 m/s
Caudal de Bomba en Tanque de Solución de Nutrientes		6,82 Lps
Cabeza de Bombeo		5,07 m
Eficiencia de Bombeo		60%
Potencia de Bombeo		0,565 Kw
		0,758 HP
Factor de Utilización de la Bomba de Recirculación		60%
Consumo Anual de Energía por Bomba de Compostaje		2.964 Kw-h/año



Tabla B-26 – Recirculación a Través del Filtro Percolador

<b>Calculos del Filtro Percolador</b>		
Cantidad Máxima de Compost por Jornada		893 kg/jornada
Densidad del Compost producido Normalmente		600 Kg/m3
Relación de Compactación por Compostaje Normal		33,3%
Relación de Compactación por Compostaje con Bagazo		84,6%
Densidad del Compost de la Planta Parab		236,4 Kg/m3
Volumen de Compost Producido por Jornada		3,78 m3/jornada
Relación entre Biomasa producida y Carbohidratos suministrados		53,2%
Peso Seco del Compost Producido como Proporción de la Caña		33,3%
Porcentaje Máximo de Humedad en el Compost		60%
Relación entre Compost producido y Peso de Caña		53,3%
Longitud del Filtro		4,00 m
Ancho del Filtro		3,32 m
Area del Filtro Percolador		13,28 m2
Altura del Compost en el Lecho		0,28 m
Altura Disponible	suficiente	0,30 m
<b>Riego del Filtro Percolador</b>		
No de Tuberías		5 u
No de Aspersores por Tubería		5 u
No de Aspersores		25 u
Espaciamiento Medio entre Tuberías		0,80 m
Espaciamiento Medio entre Aspersores		0,66 m
Coefficiente de Descarga	Cd	0,580
Diferencia de Altura Estanques - Aspersores		0,98 m
Cabeza de Velocidad en Aspersores		0,48 m
Diámetro de Orificio	1/2"	12,70 mm
Diámetro de Eje	1/8"	3,18 mm
Area de Flujo por Perforación		118,70 mm2
Velocidad en Perforaciones		3,29 m/s
Cabeza de Velocidad en Aspersores		0,55 m
Perdidas de Cabeza		0,50 m
Caudal por Aspersor		0,23 Lps
Diferencia de Altura Estanques - Aspersores	Hea	1,05 m
Diferencia de Altura Estanques - Aspersores	correcto	1,05 m
Caudal en Filtro Percolador		5,66 Lps
Volumen Total de Estanques		322 m3
Tiempo de Recirculación del Volumen de Estanques a través del Filtro		15,81 horas
Periodo de Filtración		3,50 días
Tasa de Recirculación de Agua del Estanque a través del Lecho		5,31
<b>Bombeo de Recirculación desde Pozo hacia Estanques</b>		
No de Boquillas en Estanques		8 u
Velocidad en Garganta de las Boquillas		12 m/s
Caudal de Bomba de Recirculación		7,74 Lps
Perdidas en Tubería		2,88 m
Perdidas de Cabeza en la Boquilla		7,35 m
Diferencia de Altura		2,24 m
Cabeza de Bombeo		12,46 m
Eficiencia de Bombeo		60%
Potencia de Bombeo		1,58 Kw
		2,11 HP
Factor de Utilización de la Bomba de Recirculación		73,1%
Consumo Anual de Energía por Bomba del Pozo		10.080 Kw-h/año

INCREAGUA - Textos Básicos  
 TEXTO B - Acuicultura con Bioflócs Celulósicos

Tabla B-27 – Programación del Suministro de Alimento a las Tilapias por Módulo

% de Proteína en Alimento			Alevinos	Levante	Engorde				
			45%	35%	30%				
SEMANA	ETAPA	Peso Final por Pez gr	Peso Final de Peces Kg	Alimento como % del Peso gr	Alimento Seco Diario Requerido Nominalmente Kg/día	Total Nitrógeno a Suministrar Kg N/día	Carbohidratos a Suministrar Kg/día	Caña a Suministrar por Jornada Kg/jor	Total Compost a Suministrar por Jornada Kg/jor
1	Alevinos	0,6	1	15,0%	0,08	0,01	0,14	2	0,82
	Levante	15	13	4,4%	0,57	0,03	0,79	9	4,53
	Engorde	70	58	3,2%	1,86	0,09	2,23	24	12,79
2	Alevinos	1,2	1	10,0%	0,11	0,01	0,19	2	1,09
	Levante	20	17	4,2%	0,72	0,04	1,01	11	5,77
	Engorde	85	71	3,0%	2,12	0,10	2,54	27	14,56
3	Alevinos	3	3	6,0%	0,16	0,01	0,29	3	1,64
	Levante	27	23	4,0%	0,92	0,05	1,29	14	7,42
	Engorde	100	83	2,9%	2,41	0,12	2,89	31	16,56
4	Alevinos	5	4	5,3%	0,23	0,02	0,42	4	2,39
	Levante	35	30	3,8%	1,14	0,06	1,59	17	9,14
	Engorde	120	100	2,6%	2,59	0,12	3,11	33	17,82
5	Alevinos	8	7	4,8%	0,34	0,02	0,61	7	3,50
	Levante	45	39	3,6%	1,39	0,08	1,94	21	11,13
	Engorde	180	149	2,5%	3,74	0,18	4,48	48	25,70
6	Alevinos	12	11	4,6%	0,49	0,04	0,88	9	5,03
	Levante	55	47	3,4%	1,60	0,09	2,24	24	12,85
	Engorde	210	174	2,4%	4,19	0,20	5,02	54	28,79
Valores Máximos			232		6,27	0,33	8,14	87,52	46,66

Tabla B-28 – Programación del Suministro de Alimento a los Camarones por Módulo

% de Proteína en Alimento			Post Lavas	Levante	Engorde				
			45%	40%	40%				
SEMANA	ETAPA	Peso Final por Camaron YSI Environmental (Ref. B-60) gr	Peso Total de Camarones Kg	Alimento como % del Peso Tabla B-20 gr	Alimento Seco Diario Requerido Kg/día	Total Nitrógeno a Suministrar Kg N/día	Carbohidratos a Suministrar Kg/día	Caña a Suministrar por Jornada Kg/jor	Total Compost a Suministrar por Jornada Kg/jor
1	Post Larvas	0,6	26	7,0%	1,85	0,13	3,34	36	19,12
	Levante	8,82	378	2,6%	9,82	0,63	15,71	169	90,02
	Engorde	17,04	708	2,0%	14,15	0,91	22,64	243	129,77
2	Post Larvas	1,97	87	6,0%	5,22	0,38	9,39	101	53,81
	Levante	10,19	436	2,4%	10,47	0,67	16,75	180	96,00
	Engorde	18,41	765	2,0%	15,29	0,98	24,46	263	140,20
3	Post Larvas	3,34	147	4,2%	6,19	0,45	11,14	120	63,87
	Levante	11,56	495	2,3%	11,38	0,73	18,21	196	104,37
	Engorde	19,78	821	2,0%	16,43	1,05	26,29	283	150,64
4	Post Larvas	4,71	208	3,8%	7,90	0,57	14,22	153	81,49
	Levante	12,93	554	2,1%	11,62	0,74	18,60	200	106,59
	Engorde	21,15	878	2,0%	17,57	1,12	28,11	302	161,07
5	Post Larvas	6,08	268	3,6%	9,66	0,70	17,39	187	99,65
	Levante	14,30	612	2,1%	12,86	0,82	20,57	221	117,89
	Engorde	22,52	935	2,0%	18,70	1,20	29,93	322	171,50
6	Post Larvas	7,45	329	2,8%	9,21	0,66	16,57	178	94,97
	Levante	15,67	671	2,0%	13,42	0,86	21,47	231	123,03
	Engorde	23,89	992	2,0%	19,84	1,27	31,75	341	181,94
Valores Máximos en Estanques:			1.992		42,47	2,79	69,79	750	399,94

INCREAGUA - Textos Básicos  
 TEXTO B - Acuicultura con Bioflócs Celulósicos

Tabla B-29 – Programación del Suministro de Compost y Oxígeno a Estanques y Jaulas por Módulo

SEMANA	ETAPA	Peso Final de Peces y Camarones Kg	Alimento Seco Diario Requerido Kg/día	Total Nitrógeno a Suministrar Kg N/día	Carbohidratos a Suministrar Kg/día	Caña a Suministrar por Jornada Kg/jor	Total Compost a Suministrar por Jornada Kg/jor	Consumo de O2 Total gr/día	Factor de Utilización de la Aireación
1	Post Larvas	26	1,85	0,13	3,34	36	19	108	30,11%
	Alevinos	1	0,08	0,01	0,14	2	0,8	9	
	Levante	390	10,38	0,66	16,50	177	95	1.709	
	Engorde	766	16,01	1,00	24,88	267	143	3.373	
	<b>TOTAL</b>	<b>1.183</b>	<b>28,33</b>	<b>1,79</b>	<b>44,86</b>	<b>482</b>	<b>257</b>	<b>5.198</b>	
2	Post Larvas	87	5,22	0,38	9,39	101	54	357	34,91%
	Alevinos	1	0,11	0,01	0,19	2	1,1	17	
	Levante	453	11,19	0,71	17,76	191	102	1.990	
	Engorde	835	17,41	1,08	27,01	290	155	3.664	
	<b>TOTAL</b>	<b>1.376</b>	<b>33,92</b>	<b>2,17</b>	<b>54,35</b>	<b>584</b>	<b>311</b>	<b>6.028</b>	
3	Post Larvas	147	6,19	0,45	11,14	120	64	607	39,83%
	Alevinos	3	0,16	0,01	0,29	3	1,6	38	
	Levante	518	12,31	0,78	19,51	210	112	2.282	
	Engorde	904	18,84	1,17	29,18	314	167	3.950	
	<b>TOTAL</b>	<b>1.573</b>	<b>37,49</b>	<b>2,40</b>	<b>60,11</b>	<b>646</b>	<b>345</b>	<b>6.877</b>	
4	Post Larvas	208	7,90	0,57	14,22	153	81	859	44,82%
	Alevinos	4	0,23	0,02	0,42	4	2,4	58	
	Levante	584	12,76	0,81	20,19	217	116	2.576	
	Engorde	978	20,16	1,25	31,22	336	179	4.246	
	<b>TOTAL</b>	<b>1.774</b>	<b>41,05</b>	<b>2,64</b>	<b>66,05</b>	<b>710</b>	<b>378</b>	<b>7.739</b>	
5	Post Larvas	268	9,66	0,70	17,39	187	100	1.110	50,54%
	Alevinos	7	0,34	0,02	0,61	7	3,5	87	
	Levante	651	14,24	0,90	22,51	242	129	2.875	
	Engorde	1.085	22,44	1,38	34,41	370	197	4.654	
	<b>TOTAL</b>	<b>2.011</b>	<b>46,68</b>	<b>3,00</b>	<b>74,92</b>	<b>805</b>	<b>429</b>	<b>8.727</b>	
6	Post Larvas	329	9,21	0,66	16,57	178	95	1.363	55,92%
	Alevinos	11	0,49	0,04	0,88	9	5,0	122	
	Levante	718	15,02	0,95	23,71	255	136	3.169	
	Engorde	1.167	24,03	1,47	36,77	395	211	5.001	
	<b>TOTAL</b>	<b>2.224</b>	<b>48,74</b>	<b>3,12</b>	<b>77,93</b>	<b>838</b>	<b>447</b>	<b>9.654</b>	
<b>Promedio Diario General (Kg/día):</b>						<b>194</b>	<b>103</b>	<b>7.370</b>	<b>42,69%</b>
<b>Promedio Estanques Post Larvas, Alevinos y Levante (Kg/día):</b>						<b>100</b>	<b>53</b>		
<b>Promedio para Estanques de Engorde (Kg/día):</b>						<b>94</b>	<b>50</b>		

INCREAGUA - Textos Básicos  
 TEXTO B - Acuicultura con Bioflócs Celulósicos

Tabla B-30 – Programación del Suministro de Elementos Químicos por Módulo

SEMANA	ETAPA	Porcentaje del Alimento Máximo	Abono Triple 15 gr/Jor	Urea gr/Jor	Cal Agrícola gr/Jor	Biotina mg/Jor
1	Post Larvas	3,80%	433	761	1.372	0,67
	Alevinos	0,16%	19	33	59	0,03
	Levante	21,30%	2423	4.262	7.682	3,75
	Engorde	32,85%	3736	6.574	11.848	5,79
	<b>TOTAL</b>	<b>58,1%</b>	<b>6.610</b>	<b>11.630</b>	<b>20.961</b>	<b>10,23</b>
2	Post Larvas	10,70%	1.217	2.142	3.860	1,88
	Alevinos	0,22%	25	43	78	0,04
	Levante	22,96%	2.611	4.593	8.279	4,04
	Engorde	35,72%	4.062	7.146	12.881	6,29
	<b>TOTAL</b>	<b>69,6%</b>	<b>7.915</b>	<b>13.925</b>	<b>25.098</b>	<b>12,26</b>
3	Post Larvas	12,70%	1.445	2.542	4.581	2,24
	Alevinos	0,33%	37	65	118	0,06
	Levante	25,25%	2.872	5.052	9.107	4,45
	Engorde	38,65%	4.395	7.733	13.938	6,81
	<b>TOTAL</b>	<b>76,9%</b>	<b>8.749</b>	<b>15.392</b>	<b>27.743</b>	<b>13,55</b>
4	Post Larvas	16,21%	1.843	3.243	5.845	2,85
	Alevinos	0,48%	54	95	171	0,08
	Levante	26,19%	2.978	5.240	9.444	4,61
	Engorde	41,36%	4.703	8.275	14.915	7,28
	<b>TOTAL</b>	<b>84,2%</b>	<b>9.579</b>	<b>16.853</b>	<b>30.375</b>	<b>14,83</b>
5	Post Larvas	19,82%	2.254	3.966	7.148	3,49
	Alevinos	0,70%	79	139	251	0,12
	Levante	29,22%	3.323	5.847	10.539	5,15
	Engorde	46,04%	5.236	9.213	16.605	8,11
	<b>TOTAL</b>	<b>95,8%</b>	<b>10.893</b>	<b>19.165</b>	<b>34.542</b>	<b>16,87</b>
6	Post Larvas	18,89%	2.148	3.780	6.812	3,33
	Alevinos	1,00%	114	200	361	0,18
	Levante	30,81%	3.504	6.165	11.112	5,43
	Engorde	49,30%	5.606	9.864	17.778	8,68
	<b>TOTAL</b>	<b>100,0%</b>	<b>11.373</b>	<b>20.009</b>	<b>36.064</b>	<b>17,61</b>
Promedio Estanques Alevinos y Levante:			1.304	2.294	4.134	2,02
Promedio para Estanques de Engorde:			1.321	2.324	4.189	2,05
<b>Promedio Diario General:</b>			<b>2.625</b>	<b>4.618</b>	<b>8.323</b>	<b>4,06</b>

Tabla B-31. Análisis de la Productividad de la Planta Parab, y de los Insumos Requeridos

<b>Producción</b>		
Producción Anual de Camarones	15,40	Ton/año
Producción Anual de Tilapias	2,71	Ton/año
<b>Area Ocupada</b>		
Cantidad de Caña a Suministrar	141	Ton/año
Productividad de la Caña	117	Ton/ha-año
	321	Kg /día*ha
Area Requerida de Ciultivo de Caña	1,21	Has
Area Requedida de la Planta Piscícola	0,12	Has
Otra Areas	0,20	Has
Area Total Requerida	1,53	Has
<b>Consumo de Agua</b>		
Consumo de Agua por Llenado de Estanques	2.578	m3/año
Volumen de Agua de Llenado	161	m3
Tiempo de Llenado Asumido	3	días
Caudal Mínimo de la Fuente Requerido	0,62	Lps
<b>Consumo de Energía</b>		
Consumo Anual de Energía por Equipos Electromecánicos	26.101	Kw-hora/año



Figura B-29 - Vista en Planta del Estanque para un Policultivo de Camarones con Tilapias

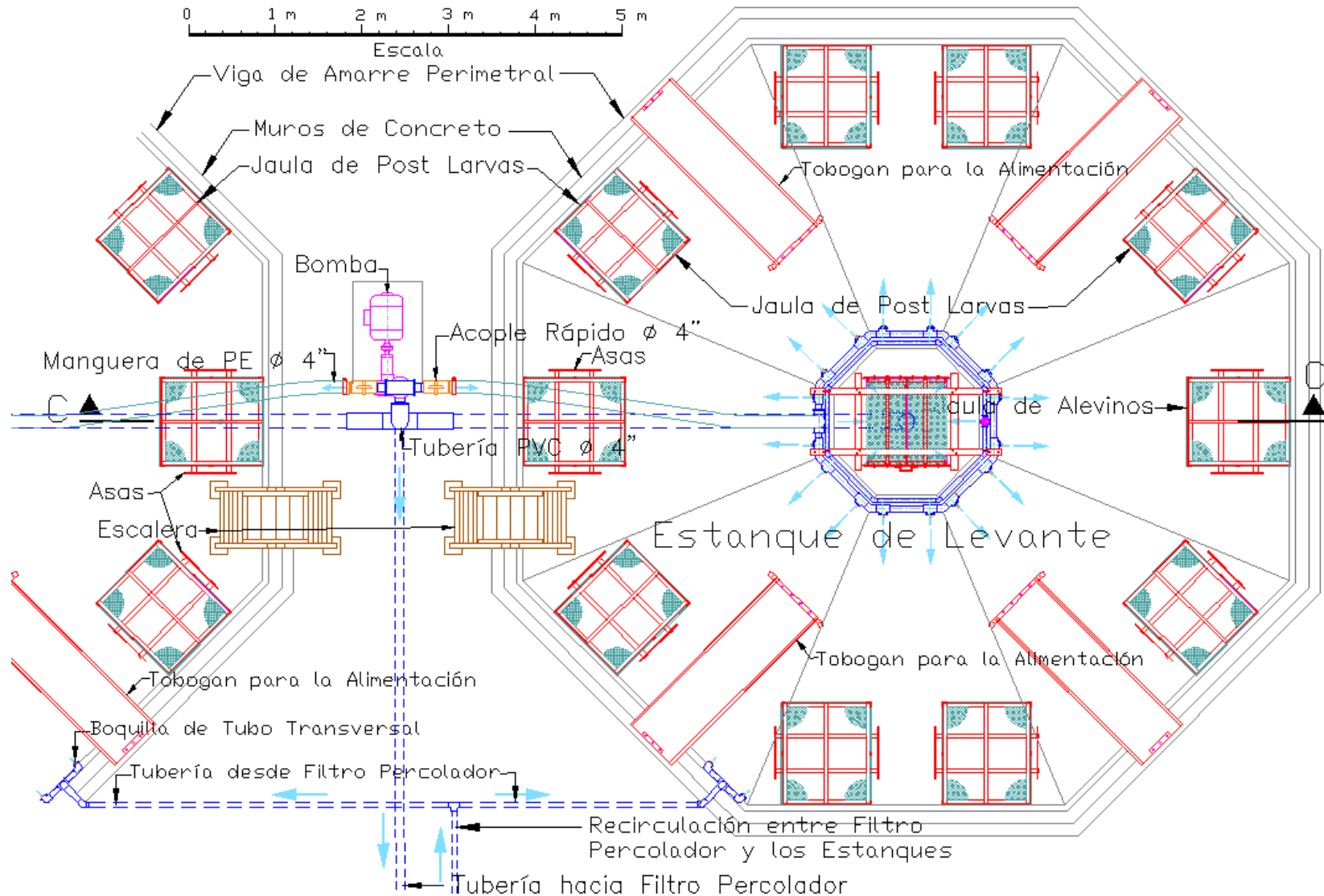


Figura B-30 - Vista del Corte C-C del Estanque

