



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE PISCIFACTORÍA PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL

Autor: Juan Homedes Rivero

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Julio de 2021

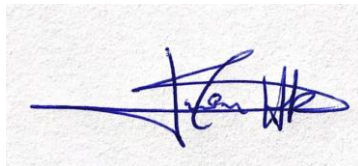
Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE PISCIFACTORÍA PARA COLEGIO DE
FORMACIÓN PROFESIONAL**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Juan Homedes Rivero

Fecha: 13/07/2021



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Miren Tellería Ajuriaguerra

Fecha: 13/07/2021





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE PISCIFACTORÍA PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL

Autor: Juan Homedes Rivero
Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid
Julio de 2021

DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE PISCIFACTORÍA PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL

Autor: Homedes Rivero, Juan.

Director: Tellería Ajuriaguerra, Miren.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Palabras clave: Piscifactoría, Zimbabwe, sostenibilidad, autoabastecimiento.

1. Introducción

Este trabajo consiste en el diseño completo de una piscifactoría para un colegio de formación profesional en Zimbabwe, en la región de Mount Darwin, en Dotito. El fin del proyecto es el de desarrollar esta infraestructura de manera que sirva a los habitantes de la región para su autoabastecimiento y la generación de beneficios por medio de la venta del pescado cultivado.

Se trata de un proyecto de ayuda humanitaria con fines educativos para la población de Mt. Darwin. Por medio de la educación en la piscicultura, se logrará la generación de empleo digno y el desarrollo de este sector que se encuentra en pleno auge, y cuenta con un gran potencial en Zimbabwe.

El desarrollo de este proyecto contribuirá también a la mejora de calidad de vida en la región, proporcionando un alimento nutritivo y sano y fomentando la sostenibilidad en el consumo por medio de la autogestión de la piscifactoría.

2. Descripción del proyecto

Para disponer de una piscifactoría completamente sostenible, se construirán tres estanques, en los que se desarrolle el ciclo completo de crecimiento de los peces de manera diferenciada, de tal forma que cada estanque tendrá unas dimensiones distintas.

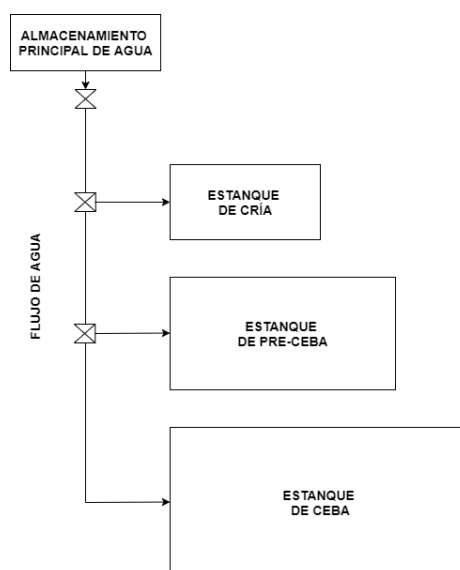


Ilustración 1. Diseño preliminar de la piscifactoría

Se elegirá el mejor sistema para la piscifactoría estudiando las piscifactorías llevadas a cabo en zonas con climas y condiciones similares a la que se dispone en Zimbabwe.

La elección del sistema se realizará en función de la búsqueda de la mayor sencillez posible, de manera que cualquier usuario pueda encargarse de la reparación y el mantenimiento sin conocimientos técnicos muy avanzados en caso de fallo del sistema. Se desarrollarán un plan de implementación y de mantenimiento para que se pueda desarrollar la piscifactoría y ocuparse de su mantenimiento de forma sencilla.

Se elegirá también la especie de pez de cultivo en función de los cultivos de la zona comparando los gastos y necesidades para el cultivo de esas especies.

3. Metodología

En primer lugar, se calculará el sistema de tuberías para llevar a cabo la alimentación de los estanques de una manera eficiente y funcional con los materiales adecuados para cada tramo de tuberías.

Estos cálculos se desarrollarán teniendo en cuenta la disponibilidad de un sistema de almacenamiento de agua por medio del bombeo desde un pozo hasta unos tanques elevados que almacenan el agua. Se alimentará por lo tanto por gravedad, sin necesidad de aportes externos de energía.

En segundo lugar, se dimensionarán los estanques por separado. Se dispondrá de un estanque para la cría con la menor superficie y profundidades, un estanque de pre-ceba para el crecimiento de los alevines, y un estanque de ceba para el crecimiento y desarrollo de los machos hasta alcanzar un tamaño comercial.

En último lugar, se estudiará la viabilidad económica del proyecto por medio de un presupuesto en el que se incluirán todos los gastos, de los materiales, mano de obra, y material necesario para la construcción de la piscifactoría.

4. Resultados

Los tres estanques de menor a mayor tamaño tendrán dimensiones de 150 m², 180 m² y 200 m². Las profundidades máxima y mínima en los estanques serán de 0,5 m en el tramo menos profundo del estanque de cría, y 1,2 metros en el tramo más profundo en el estanque de ceba.

La especie elegida para el cultivo será la tilapia del Nilo, que presenta grandes facilidades para su cría, con un amplio rango de temperaturas para el agua admisibles, y buenos rendimientos de cultivo.

Las paredes de los estanques dispondrán de unos taludes de relación 2:1, y con una pendiente en la base del 2 por ciento, que facilitará el correcto vaciado de los estanques tras las etapas de cultivo por medio del canal de vaciado en cada estanque. El agua evacuada de los estanques convergirá en una canalización principal de manera que pueda ser distribuida para utilizarse como agua de riego o utilizarse en futuros proyectos.

Se cubrirán las bases de los estanques con lona de PVC que hará de aislante evitando fugas de agua, y garantizará una adherencia en toda la superficie de estos.

Los estanques se llenarán por debajo de sus capacidades máximas, de manera que no se salga el agua en caso de haber precipitaciones. Para evitar estos problemas, se dimensiona en cada estanque un canal de desbaste compuesto por una tubería con un tramo vertical y horizontal colocado a la altura a la que se encuentra la capa libre de agua en el estanque de manera que, si se supera esta cota, se evacuará el excedente de agua hacia la canalización de agua desechada.

Se utilizarán tuberías de materiales plásticos, que faciliten la instalación de las tuberías de manera sencilla a bajo coste, con diámetros normalizados de 32 mm y 100 mm.

Teniendo en cuenta las densidades de siembra recomendadas en cada estanque, y las tasas de crecimiento y cría de la tilapia, se estima que tras una etapa de cultivo completo se obtendrá una cantidad de 400 machos adultos, cuya venta produciría unos beneficios de 1000 \$.

El coste total del proyecto asciende a una cantidad total de 4303,7 \$.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF FISH FARM FOR VOCATIONAL TRAINING INSTITUTE

Author: Homedes Rivero, Juan.

Supervisor: Tellería Ajuriaguerra, Miren.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

Key words: Fish farm, Zimbabwe, sustainability, self-sufficiency.

1. Introduction

This work consists on the complete design of a fish farm for a vocational school institute in Zimbabwe, in the Mount Darwin region, in Dotito. The purpose of the project is to develop this infrastructure in a way that serves the population of the region for their self-sufficiency and to generate profits through the sale of the farmed fish.

This project is a humanitarian aid project for educational purposes for the population of Mt. Darwin. The generation of decent employment will be achieved through education in fish farming, and the development of this sector, which has great potential in Zimbabwe.

The development of this project will also contribute to the improvement of the life quality in the region, providing nutritious and healthy food, and promoting sustainability in consumption through the self-management of the fish farm.

2. Description of the Project

To have a fully sustainable fish farm, three ponds will be built. In those ponds, the cycle of growth of the fish is developed in differentiated phases, so each one of them will have different dimensions.

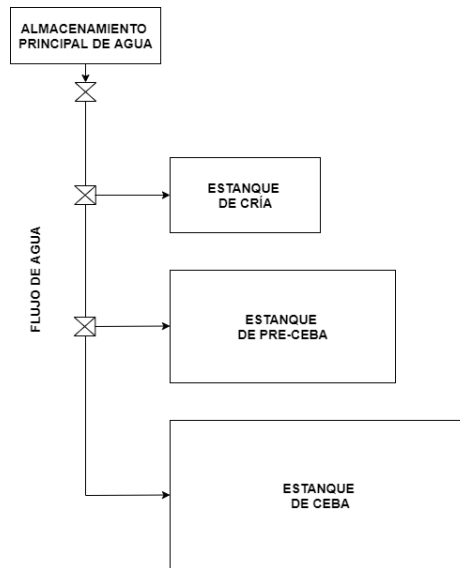


Ilustración 2. Preliminary design of the fish farm

The best system for the fish farm will be chosen by studying other fish farms carried out in areas with climate and conditions similar to the ones existing in Zimbabwe.

The system will be chosen depending on the simplicity, so any user may take care of the fish farm, and its maintenance without having a very advanced technical knowledge in case of a system failure.

The species of the fish to be grown will also be chosen according to the crops in the area, comparing the needs and expenses for the cultivation of these species.

3. Methodology

Firstly, the piping system will be calculated to carry out the feeding of the ponds in an efficient and functional manner with the right materials for each section of pipes.

These calculations will be developed through the availability of a water storage system fed by a pump in a water well next to it.

The system will be fed by gravity, without the need of external energy inputs.

Secondly, the ponds will be sized separately. There will be a pond for breeding, with the smallest surface and depths, a second pond for the growth of the fingerlings, and a fattening pond for the growth of the males until reaching a commercial size.

Lastly, the economic viability of the project will be studied within a budget that will include the materials, expenses, labour and necessary material for the construction of the fish farm.

4. Results

The three ponds from smallest to largest size will have dimensions of 150 m², 180 m² and 200 m².

The maximum and minimum depths in the ponds will be of 0,5 meters in the shallowest section of the breeding pond, and 1,2 meters in the deepest section in the fattening pond.

The species chosen for cultivation will be the Nile tilapia, which presents great facilities for breeding, with a wide range of admissible water temperatures, and good crop yields.

The walls of the ponds will have slopes with a ratio 2:1, and with a slope at the base of 2 percent. This will facilitate the correct clear out of the ponds after the cultivation stages through the emptying channel in each pond. The water evacuated from the ponds will converge in a main canalization so it can be distributed to be used as irrigation water or used in future projects.

The bases of the ponds will be covered with PVC tarpaulin that will act isolating the ponds and preventing water leaks and will guarantee adherence to their entire surface.

The ponds will be filled below their maximum capacities, so the water will not run out in case of extreme precipitation. To avoid these problems, there will be a roughing channel composed of a pipe with a vertical and a horizontal section, placed at the height at which the water layer is, and sized for each pond so that if this level is exceeded, the excess water will be evacuated to the wastewater channel.

Plastic pipes will be used, which will facilitate their installation in a simpler way than if they were made of other material and present a lower cost. The diameters will be standard diameters of 32 mm and 100 mm.

Counting on the recommended stocking densities in each pond, and the growth and rearing rates of the tilapia, it is estimated that after a complete cultivation stage, the fish farm will be producing 400 adult males, whose sale would produce a profit of 1000 \$.

The total cost of the project is 4303,7 \$.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	5
1.1 Zimbabwe en contexto	6
1.2 Ingeniería de desarrollo y ODS	9
1.3 Acuicultura en Zimbabwe	12
1.4 Proyectos de piscicultura.....	13
1.5 Metodología del proyecto.....	18
1.5.1 Sistema cerrado.....	18
1.5.2 Sistema abierto	19
1.5.3 Elección del sistema	20
1.5.4 Elección de especie para el cultivo	21
Capítulo 2. Cálculos	24
2.1 Diseño conceptual	24
2.2 Distribución.....	27
2.3 Sistema de alimentación.....	28
2.4 Estanques.....	34
2.4.1 Estanque de cría	36
2.4.2 Estanque de pre-ceba	46
2.4.3 Estanque de ceba.....	50
2.5 Resumen de los cálculos.....	53
2.6 Implementación.....	54
2.7 Plan de mantenimiento	56
Capítulo 3. Modelo económico.....	58
3.1 Presupuesto.....	58
3.2 Viabilidad	61
3.2.1 Financiación.....	62
Capítulo 4. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	64
Capítulo 5. Bibliografía.....	66
ANEXO I. PLANOS	70

ANEXO II. TABLAS	72
5.1 TABLAS DE ALIMENTACIÓN.....	73
5.2 SEXADO DE LOS EJEMPLARES	75

Índice de figuras

Ilustración 1. Diseño preliminar de la piscifactoría.....	6
Ilustración 2. Preliminary design of the fish farm	9
Ilustración 3. Bandera de Zimbabwe	6
Ilustración 4. Clima anual en la ciudad de Mt. Darwin (Climate data org).....	8
Ilustración 5. Alineamiento de Zimbabwe con los ODS. (Fuente: Africa SDG Dashboard and Trends, sdgafrica.org).....	10
Ilustración 6. ODS albergados con el desarrollo de la piscifactoría.....	11
Ilustración 7. Acuicultura en Ondomio y Kobokiré (Mali) (Fuente: CC ONG)	14
Ilustración 8. Instalación acuícola y estanque elevado del proyecto ONG AIDA (Fuente: ONG AIDA)	16
Ilustración 9. Diseño conceptual de la alimentación de los estanques (Fuente: Elaboración propia).....	25
Ilustración 10. Diseño conceptual de los estanques (Fuente: Elaboración propia)	26
Ilustración 11. Coeficientes de pérdidas secundarias (Fuente: Mecánica de Fluidos ICAI)32	
Ilustración 12. Lona de PVC 0,5 mm (Fuente: Brycus.es).....	35
Ilustración 13. Dimensiones de los estanques (Fuente: FAO)	36
Ilustración 14. Secciones transversales del estanque de cría (Fuente: Elaboración propia) 38	
Ilustración 15. Desglose de superficies de los estanques (Fuente: Elaboración propia)	40
Ilustración 16. Red mallada de plástico (Fuente: Brycus.es)	44
Ilustración 17. Dimensiones del dique de contención de los estanques (Fuente: FAO)	53
Ilustración 18. Torneo de pádel camisetas y pulseras (Fuente: Instagram project zimbabwe)	62
Ilustración 19. Sorteo benéfico (Fuente: Instagram project zimbabwe).....	63
Ilustración 20. Distinciones para el sexado de las tilapias. (Fuente: SEPESCA, 1994).....	75

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades del agua (temperatura ambiente).....	29
Tabla 2. Proceso iterativo del desarrollo de Bernoulli	33
Tabla 3. Proceso iterativo de Bernoulli para la alimentación del estanque de cría	42
Tabla 4. Proceso iterativo de Bernoulli para la alimentación del estanque de pre-ceba	48
Tabla 5. Proceso iterativo de Bernoulli para la alimentación del estanque de ceba.....	52
Tabla 6. Resumen de los cálculos de los estanques.....	54
Tabla 7. Tiempos de cultivo de los estanques	56
Tabla 8. Ingresos por la venta de tilapias	61
Tabla 9. Alimentos recomendados para tilapia. (Fuente: FAO).....	73
Tabla 10. Frecuencia de alimentación según el peso. (Fuente:Hernández et al, 2014).....	73
Tabla 11. Tamaño del pellet según el peso de la tilapia (Fuente: ONG AIDA, ongaida.org)	74

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto consiste en el diseño de una piscifactoría que permita educar en el autoconsumo sostenible a los habitantes de Mt. Darwin en Zimbabwe.

Gracias a la ONG Child Future Africa (CFA) en colaboración con la Fundación Ingenieros de ICAI, se desarrollan trabajos como este en búsqueda del desarrollo de infraestructuras que mejoren la calidad de vida, educación y desarrollo de los habitantes de esta región de Zimbabwe, englobados en un proyecto común, ‘Project Zimbabwe’.

Se buscará desarrollar el proyecto de manera que se consiga una sencillez de mantenimiento y explotación de la piscifactoría, facilitando así un correcto uso de la infraestructura para cualquier usuario que se haga cargo de ella. Todo ello con el fin de proporcionar una formación en el sector de la piscicultura que permita crear empleo digno y rentable en la región.

La motivación principal para llevar a cabo este trabajo es el formar parte de un proyecto de ayuda humanitaria, y crear junto con otros proyectos una escuela de formación profesional para conseguir educar a una población que no tiene recursos suficientes ni la capacidad de acceder a esta educación.

1.1 ZIMBABUE EN CONTEXTO

Zimbabue es un país situado en el sureste del continente africano, limítrofe con Botsuana, Sudáfrica, Zambia y Mozambique. Con capital en Harare, Zimbabue cuenta con una superficie total de 390.580 km², y una población total de 17.600.000 habitantes. (Dirección General de Comunicación, Diplomacia Pública y Redes, 2021)



Ilustración 3. Bandera de Zimbabue

El país estuvo bajo el control de la compañía sudafricana británica (BSAC) desde 1890, quienes movidos por intereses mineros junto con el apoyo de las tropas británicas colonizaron la región que se bautizó como ‘Rhodesia del Sur’. Es en 1980 cuando la región se declara oficialmente independiente, y se conoce como ‘República de Zimbabue’. Consistiendo el gobierno del país en una república presidencial plena con Robert Mugabe como presidente, candidato del partido ZANU-PF (Unión nacional africana de Zimbabue y frente patriótico). Su mandato fue ininterrumpido durante treinta y siete años, hasta 2017, cuando se produce la liberación tanto de la política como de los medios de comunicación en Zimbabue. (Ikuska Libros, 2013)

Emmerson Mnangagwa, vicepresidente del gobierno pasa a ser presidente, prometiendo una mejora en el entorno empresarial, que sigue sin alcanzarse y que es causa de revueltas populares desde entonces. Mnangagwa sigue siendo el presidente del gobierno a día de hoy,

no obstante, la corrupción sigue estando presente en el gobierno, y la protección de los derechos de la propiedad no está garantizada.

La tardía independencia de Zimbabwe, que llevaba colonizada desde el siglo XIX, hace que hoy en día sea un país sin liquidez, empobrecido. En el año 2000 se empiezan a redistribuir las granjas de propiedad blanca hasta entonces a los zimbabuenses sin tierras. Se produce por tanto un desplome de la producción en estas granjas, debido al desconocimiento de los locales en técnicas de ganadería y agricultura necesarios para explotar estos terrenos. Se estima que aproximadamente el 67% de la población del país actualmente vive en áreas rurales, por lo que dependen de la agricultura y ganadería para su subsistencia. (USaid, 2021)

La economía del país depende principalmente del sector primario, en concreto de la explotación agrícola y minera, sin embargo, la crisis económica y la inestabilidad política desde su independencia ha dañado el potencial económico de Zimbabwe gravemente, tanto que actualmente la mayoría de la población vive en la pobreza, y un 16% en la pobreza extrema. (The Heritage Foundation, 2021)

La esperanza de vida en Zimbabwe es de 61.2 años frente a los 83.43 años en España, lo que demuestra que existe bastante margen de mejora en la calidad de vida. Esto también se puede apreciar en la educación dado que tienen una tasa de alfabetización de personas mayores de 15 años es del 86.87% frente al 98.44% en España. El índice de GINI, que muestra la medida de desigualdad es de 44.3, que respalda todo lo comentado anteriormente. (Global Edge, 2018)

Los recursos hídricos disponibles en la región son muy limitados ya que el país carece de costas y toda el agua disponible es la proveniente de pozos, piscinas artificiales y naturales provocadas en las épocas de grandes lluvias durante el año, así como de afluentes de los ríos principales que la rodean: el Zambeze al norte y el Limpopo al sur.

La dificultad de conseguir agua proviene también de la existencia de unas condiciones climáticas extremas con extensas sequías en verano, temperaturas muy elevadas, e inundaciones devastadoras la mayor parte del año. En 2019 Zimbabwe fue uno de los países

más afectados por efectos del cambio climático liderando las listas con un elevado IRC (Índice de Riesgo Climático). (Eckstein et al, 2021)

El terreno del país está compuesto por desierto y sabana, con un clima subtropical moderado por la altitud con inviernos secos (Cwa). Se distinguen dos etapas marcadas durante el año una temporada de muchas precipitaciones de noviembre a marzo, y otra de calor y sequías de mayo a octubre. (Climate-Data, 2021). Se analiza especialmente el clima en Mt. Darwin, la localización donde se realizará el proyecto (Región de Mashonaland Central, al noroeste de Zimbabwe).

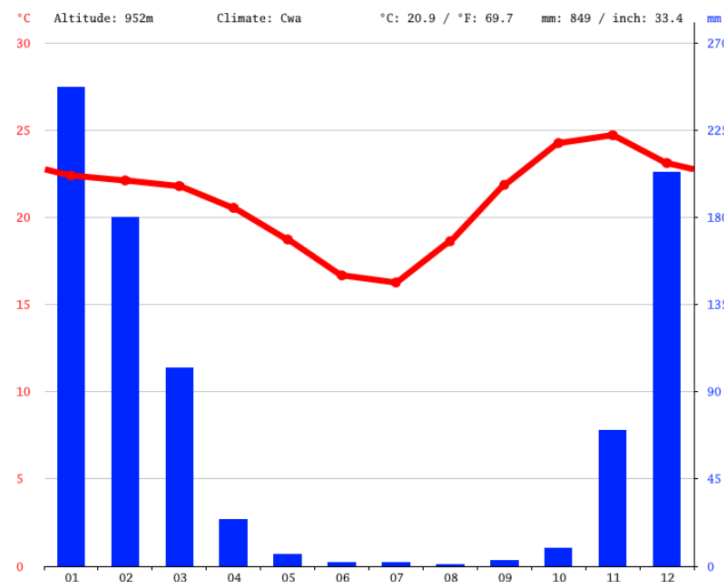


Ilustración 4. Clima anual en la ciudad de Mt. Darwin (Climate data org)

Las temperaturas medias varían durante el año en torno a 8.4°, y las precipitaciones varían notablemente, con un máximo de 246mm registrado en enero, y sin precipitaciones en los meses más secos. Se puede observar cómo enero es el mes con mayores precipitaciones, y agosto es el mes más seco.

1.2 INGENIERÍA DE DESARROLLO Y ODS

Aprobados en 2015 por la asamblea general de las Naciones Unidas y construyendo sobre los objetivos del milenio, los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y sus 169 metas configuran una agenda global que tiene el objetivo de afrontar y solucionar los problemas más acuciantes de nuestro planeta situando a la persona en el centro, mejorando su bienestar y el del mundo.

Con el título: ***Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible***, se trata de un plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad que debe ser implementado por todos los países y partes interesadas mediante una alianza de colaboración con el horizonte 2030. La resolución de la ONU resumen en estos cinco ejes toda la Agenda 2030:

“Las personas: *Estamos decididos a poner fin a la pobreza y el hambre en todas sus formas y dimensiones, y a velar por que todos los seres humanos puedan realizar su potencial con dignidad e igualdad y en un medio ambiente saludable.*

El planeta: *Estamos decididos a proteger el planeta contra la degradación, incluso mediante el consumo y la producción sostenibles, la gestión sostenible de sus recursos naturales y medidas urgentes para hacer frente al cambio climático, de manera que pueda satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras.*

La prosperidad: *Estamos decididos a velar por que todos los seres humanos puedan disfrutar de una vida próspera y plena, y porque el progreso económico, social y tecnológico se produzca en armonía con la naturaleza.*

La paz: *Estamos decididos a propiciar sociedades pacíficas, justas e inclusivas que estén libres del temor y la violencia. No puede haber desarrollo sostenible sin paz, ni paz sin desarrollo sostenible.*

Las alianzas: *Estamos decididos a movilizar los medios necesarios para implementar esta Agenda mediante una Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible revitalizada, que se*

base en un espíritu de mayor solidaridad mundial y se centre particularmente en las necesidades de los más pobres y vulnerables, con la colaboración de todos los países, todas las partes interesadas y todas las personas.”

En el caso del continente africano, los ODS están en línea directa con la Agenda 2063 de la Unión Africana, el plan de transformación a largo plazo del continente para la región panafricana. En la Agenda 2063 se pide a todos los sectores de la sociedad africana que trabajen juntos para construir una África próspera y unida. Los ODS complementan los primeros 15 años de la agenda y la fortalecen. El Centro de los ODS para África tiene como objetivo desarrollar nuevas herramientas para lograr las visiones de los ODS de las Naciones Unidas y la Agenda 2063 de la UA. Se necesitan innovaciones en la planificación a largo plazo, la financiación y la recopilación de datos, así como soluciones técnicas en educación, atención sanitaria, sistemas energéticos y más.

En el caso concreto de Zimbabwe, actualmente su alineamiento con los ODS es el siguiente según el último informe de situación:



Ilustración 5. Alineamiento de Zimbabwe con los ODS. (Fuente: Africa SDG Dashboard and Trends, sdgafrica.org)

Ninguno de los 17 ODS se ha conseguido y queda mucho margen de mejora. Tanto de manera directa como indirecta, el diseño de esta piscifactoría busca cumplir con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible:



Ilustración 6. ODS albergados con el desarrollo de la piscifactoría

ODS 1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas y en todo el mundo. El proyecto tiene como fin la educación de la población de Mt. Darwin, de forma que puedan optar a realizar más trabajos y a autoabastecerse, creando crecimiento económico en la región.

ODS 2: Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible Hambre cero. Con el desarrollo de la piscifactoría, la población local será capaz de autoabastecerse practicando la acuicultura de forma directa, así como de forma indirecta produciendo unos ingresos del cultivo de peces con su futura venta.

ODS 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades. Este objetivo está ligado a los ODS 1 y 2, de forma que, gracias a un autoabastecimiento, la población local mejorará su bienestar y calidad de vida.

ODS 4: Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos. Como ya se ha comentado, este proyecto forma parte del desarrollo de un colegio de formación profesional para seguir formando a la población de Mt. Darwin después de haber recibido educación escolar, permitiendo así una educación más completa.

ODS 8: Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos. Por medio de la educación en el autoabastecimiento, la población será capaz de desarrollarse en el ámbito de la acuicultura, con un consecuente crecimiento económico derivado de la correcta explotación de sus recursos.

ODS 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

ODS 10: Reducir la desigualdad en los países y entre ellos. Gracias a proporcionar una educación a la que la población de Zimbabwe no puede optar por norma general.

ODS 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Al disponer de su propia fuente de producto como es la piscifactoría, se llevará a cabo la producción, autogestión y consumo de manera eficiente para poder seguir disponiendo de esta como recurso.

1.3 ACUICULTURA EN ZIMBABUE

La acuicultura en África es un sector que ha ido cobrando cada vez mayor importancia. En Zimbabwe particularmente, dada la disposición territorial de la región, existen piscinas naturales en los afluentes de los lagos que la limitan, y se plantea cada vez el mayor desarrollo de estanques para su explotación y desarrollo de la acuicultura para la región.

Se estima que en Zimbabwe se encuentra aproximadamente el sesenta por ciento del agua embalsada de todo el sur de África, sin embargo, de las 400.000 hectáreas de terreno disponible para la piscicultura en el continente, menos del cinco por ciento se destina a la piscicultura. (Nkala, 2018)

En 2016 se forma la Asociación de Productores de Pescado de Zimbabwe (ZFPA), como parte del programa SmartFish, implementado en colaboración por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), con la financiación de la Unión Europea. (Aquanet, s.f.) Con esta inauguración Zimbabwe impulsa la acuicultura legislando para que sea posible llevarse a cabo de una manera sostenible y sin comprometer el medio ambiente, a la vez que se mejora del PIB del país por medio del desarrollo de este sector.

El gobierno de Zimbabwe considera la acuicultura como potencialmente rentable para la región, por lo que cada vez se está invirtiendo más en la acuicultura y explotación de todo tipo de embalses en el país. En noviembre de 2018 se lanzó un proyecto para impulsar la producción acuícola en Zimbabwe, con un presupuesto de 432 millones de dólares. En Zimbabwe el consumo de peces per cápita es de 2.6 kg al año frente a los 6 kg en otras regiones de África subsahariana. Además, la producción anual de peces es significativamente menor que la demanda, cubriéndose aproximadamente el treinta por ciento de esta e importándose el resto de los países cercanos, por lo que existe mucho margen para el desarrollo de la acuicultura como negocio para el país. (FAO, 2021)

1.4 PROYECTOS DE PISCICULTURA

Con la finalidad de colaborar en proyectos de sostenibilidad y abastecimiento para las poblaciones del entorno y en distintos países en desarrollo con condiciones similares de disponibilidad de recursos, terreno y clima, distintas ONGs han llevado a cabo distintos proyectos de acuicultura que se muestran en este epígrafe y que servirán de referencia para desarrollar este trabajo.

CC ONG ayuda al desarrollo con la subvención del premio que otorgó Caja Sabadell en 2008 decidió llevar a cabo en distintas regiones (Ondomio, Kiri, Kobokiré, Kiri y Gonta), el aprovechamiento de lagunas formadas naturalmente por la lluvia en las etapas de mayores

precipitaciones para la cría de carpas y siluros conservados en piscinas durante las estaciones secas. Cada año se repueblan las distintas lagunas para abastecer a los poblados cercanos. (CC ONG, 2019)



Ilustración 7. Acuicultura en Ondomio y Kobokiré (Mali) (Fuente: CC ONG)

El proyecto Muunganirwa Fish Project llevado a cabo en 2015 en la región de Bindura, Zimbabue, consistió en la construcción de 20 estanques, 2 estanques de contorno excavados con cimentación de cemento y tierra, y 18 de filtración con paso natural del agua para el cultivo de tilapias. Se aprovechó la sombra de los árboles para disminuir la evaporación en las épocas de sequía, y los estiércoles para el cultivo de los estanques y evitar la eutrofización del agua. El cultivo de los estanques sirve de autoabastecimiento para los acuicultores y sus familias, pero también funciona como PYME registrada, ya que se vende el pescado a la comunidad. (Muwaniri, 2016)

El proyecto VicInAqua (Acuicultura integrada basada en el sistema sostenible de recirculación de agua para la cuenca del lago Victoria) desarrollado en 2019, consistió con ayuda de fondos europeos, en el desarrollo de un modelo sostenible y respetuoso con el medio ambiente de piscicultura para el cultivo de tilapias, para las poblaciones cercanas al

lago Victoria, en la zona centro-oriental de África. Se diseñó y puso en marcha un sistema de recirculación de acuicultura (RAS) utilizándose entre el cinco y diez por ciento de aguas residuales purificadas en un biorreactor. Se dispone por lo tanto de una tecnología barata, que implica bajos gastos de agua, y que garantiza una mejor calidad del pescado cultivado ya que el agua en el sistema está en constante filtrado. (CORDIS, 2019)



Ilustración 8. Proyecto VicInAqua (Fuente: VicInAqua)

En 2017 se llevó a cabo en Senegal de la mano de la ONG AIDA (Ayuda, Intercambio y Desarrollo), el desarrollo de un proyecto de acuicultura en huertas del sur de la localidad de Kolda, con el fin de asegurar el abastecimiento de alimentos durante todo el año. El modelo se desarrolla entre las zonas de Guinea-Bissau y Senegal, construyéndose ocho estanques artificiales con canalización para su llenado para la cría de tilapias y la utilización del agua para el regadío de huertas en la región. Se construyeron ocho estanques de cultivo elevados, así como cuatro tanques de apoyo para las instalaciones acuícolas existentes soterradas y un depósito para suministrar el agua a los depósitos por gravedad proveniente de un pozo con extracción por medio de una electrobomba solar. (ONG-AIDA, 2018)



Ilustración 8. Instalación acuícola y estanque elevado del proyecto ONG AIDA (Fuente: ONG AIDA)

En México se ha desarrollado un sistema denominado SABI (Sistema Acuapónico de Baja Intensidad), que combina la piscicultura por medio de un sistema de recirculación de agua, con el cultivo hidropónico (prescindiendo de tierra para el cultivo de plantas), de forma que se consigue una producción de peces, vegetales y hortalizas barata, de bajo consumo minimizando la cantidad de bombas para la recirculación del agua, y muy eficiente.



Ilustración 10. Estanque y sistema hidropónico (Tecnología SABI) (Fuente: Eco Inventos)

1.5 METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Se plantean por lo tanto dos opciones para el desarrollo de la piscifactoría, un sistema abierto, y un sistema cerrado con recirculación (RAS).

1.5.1 SISTEMA CERRADO

El funcionamiento de un sistema cerrado consiste en el aprovechamiento del agua del circuito en constante recirculación. El agua del estanque principal debe disponer de las condiciones precisas de oxígeno disuelto, temperatura, pH y nutrientes para la vida de los peces de cultivo.

Del estanque el agua se dirige a otros depósitos donde se trata de distintas formas. En primer lugar, se lleva a cabo una decantación para la eliminación de desechos orgánicos de mayor tamaño. En segundo lugar, se dispone de un biofiltro, donde las bacterias nitrificantes oxidantes de amoníaco (AOB) transforman los residuos de los peces en forma de amoníaco en nitrito (NO_2^-), y en una segunda fase las bacterias nitrificantes oxidantes de nitritos (NOB) transforman estos nitritos en nitratos (NO_3^-). En último lugar, el agua filtrada vuelve al estanque principal por medio de una bomba que aporta la energía suficiente para mantener el sistema en recirculación. (Somerville et al, 2014)

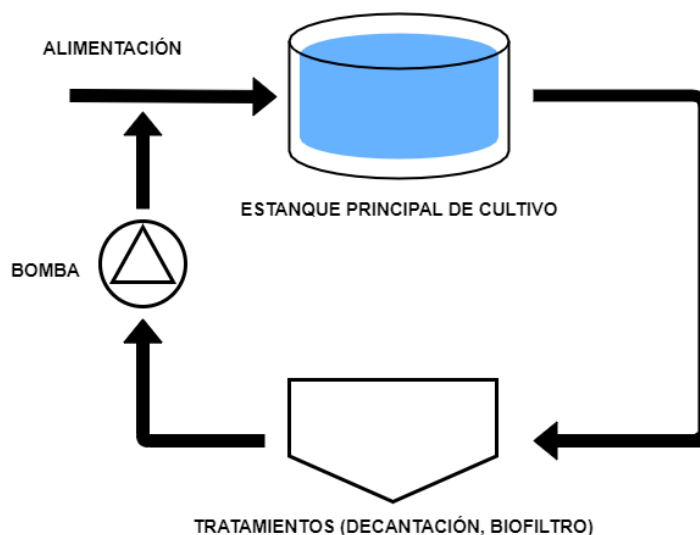


Ilustración 11. Esquema sistema cerrado (RAS) (Fuente: Elaboración propia)

1.5.2 SISTEMA ABIERTO

El sistema abierto consiste únicamente en el llenado y vaciado del estanque de cultivo. El agua del estanque debe disponer de las condiciones necesarias para la vida de los peces en cultivo, por lo que el agua del estanque debe disponer igualmente de un sistema de oxigenación, una temperatura adecuada según la especie de cultivo, un pH adecuado y la cantidad de nutrientes disueltos apropiada. El agua del estanque corre el riesgo de eutrofizarse, por lo que lo adecuado en estos sistemas de cultivo es llenar y vaciar el estanque dependiendo de las temporadas de cultivo de los peces que se desean cultivar, y mantener el agua en condiciones aptas para los peces.

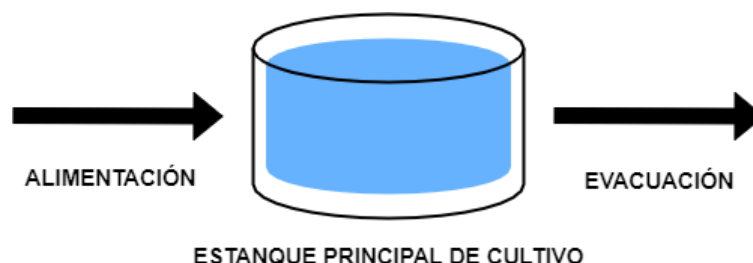


Ilustración 12. Esquema sistema abierto (Fuente: Elaboración propia)

1.5.3 ELECCIÓN DEL SISTEMA

A la hora de elegir el sistema que se va a desarrollar se han tenido en cuenta distintos factores relevantes. La principal restricción existente a la hora de elegir el sistema es el presupuesto, para lo que se busca que el monto total del proyecto sea lo menor posible. Por otra parte, el sistema debe ser lo más sencillo posible, y debe tener un mantenimiento fácil para que la población de Kazai sea capaz de solventar cualquier tipo de avería en el funcionamiento de la piscifactoría.

El sistema de recirculación de agua se contempla como una muy buena opción, ya que el gasto de agua es mínimo y la calidad del cultivo es muy alta debido a que se filtra el agua del estanque en todo momento. Los costes iniciales de desarrollo de este tipo de sistema son superiores a los que se precisarían para llevar a cabo un sistema abierto, ya que además del estanque (común en los dos sistemas), se debe disponer de una bomba, y otros estanques para los tratamientos del agua.

Para instalar un sistema cerrado de estas características se precisa de una toma de corriente y una potencia para el funcionamiento de la bomba de manera constante. Además, en caso de

avería en un sistema de este tipo, la reparación sería complicada, ya que se precisan de conocimientos hídricos fundamentales para conocer el foco del problema y como solucionarlo.

Dado que no está garantizada la disposición de suministro eléctrico en la región donde se va a desarrollar el proyecto, y las facilidades de operación que conlleva la utilización de un sistema abierto frente a uno cerrado, se elegirá el sistema abierto como diseño final para la piscifactoría.

1.5.4 ELECCIÓN DE ESPECIE PARA EL CULTIVO

Las principales especies de pescado cultivadas y consumidas en Zimbabue son la tilapia del Nilo y la trucha arcoíris, por lo que se estudia la posibilidad de cultivar cualquiera de estas dos especies en la piscifactoría. No se contempla ninguna otra especie debido a que las crías o alevines para comenzar el cultivo serían complicadas de obtener, y además no se desea introducir ningún tipo de especie invasora en el país ni fomentar su cría.

En Zimbabue se encuentra uno de los mayores productores de tilapia en todo África, la piscifactoría Lake Harvest Aquaculture, que produce alrededor del noventa por ciento de toda la tilapia del Nilo del país.

Se sabe que la tilapia y la trucha tienen un mercado muy marcado en el país, por lo que la venta de estas especies se podría hacer al precio de ese mercado, y estos precios serán clave para llevar a cabo una comparativa para determinar la elección de la especie a utilizar.

Se ha elaborado una tabla comparativa para las dos especies de cultivo con las principales características de cada especie. (Rakocy, 2009) (Cowx, 2009)

Especie	Tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Trucha arco Iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)
Rango de temperaturas	20°-36°	< 21°
Tiempo de cría (alevines)	2-3 meses	distinción según tamaño
Tiempo de engorda	5-8 meses	9-20 meses
Densidad de siembra (alevines)	20-25 peces/m ²	25-50 peces/m ²
Densidad de siembra (engorda)	1-3 peces/m ²	distinción según tamaño
Alimentación (alevines)	3-4 veces/día	10% peso del pez diariamente
Alimentación (engorda)	abonos y fertilizantes (hasta 3 meses), y alimento complementario, pellets (a partir de los tres meses)	Dietas peletizadas compactas, pellets
Tamaño final	500-800 gr	hasta 3000 gr
Costes de producción (promedio)	0,55-0,65 US \$/kg	1,20-2,00 US \$/kg

Tabla 1. Comparativa de especies de cultivo (Fuente: Elaboración propia)

La Tilapia del Nilo presenta unos costes de producción mucho menores que la trucha arcoíris. Además, el tiempo de engorde en la tilapia es considerablemente menor que el de la trucha, lo que permite una producción más rápida. Además, el rango de temperaturas favorables para la primera especie es mucho más amplio y fácil de mantener dado el clima de la región que el precisado para el cultivo de la trucha arcoíris.

Por otra parte, las técnicas e infraestructuras para el cultivo de la tilapia son mucho menos complejas que las que se precisan para el cultivo de la trucha. Para el cultivo de los alevines de trucha se precisa de tanques preferiblemente de fibra de vidrio cilíndricos, donde se mantiene una corriente constantemente en circulación. Para la tilapia, sin embargo, serviría cualquier tipo de estanque donde el vaciado del 5 a al 15% del estanque al día podría garantizar unos niveles adecuados de oxígeno disuelto en agua.

A la vista de las comparativas anteriores, se elegirá la Tilapia del Nilo como cultivo final para esta piscifactoría.



Ilustración 13. Tilapia del Nilo (Fuente: Ittiofauna.org)

Capítulo 2. CÁLCULOS

En este capítulo se detallan los cálculos principales para el desarrollo de la piscifactoría. Esto incluye la infraestructura junto con los desarrollos y cálculos de los fluidos por el sistema de distribución. En el último epígrafe se incluyen una guía de implementación y un plan de mantenimiento para la piscifactoría.

2.1 DISEÑO CONCEPTUAL

El fin principal de este proyecto es el de servir a los integrantes de la población de Kazai como medio para la educación en la sostenibilidad y en el autoconsumo, por ello, se plantea la idea de contar con varios estanques para poder llevar a cabo no solo la ceba, sino también la cría y producción de alevines de tilapia. De esta manera contando con una cantidad inicial de alevines de esta especie se puede conseguir una primera cosecha, así como machos y hembras de tilapia para poder llevar a cabo la cría y reproducción de estos.

Se contará por tanto con tres estanques de distintas dimensiones cada uno con un fin específico, un primer estanque de cría de no muy gran tamaño, un estanque de pre ceba donde se separarán los machos de las hembras, y un estanque final de mayor tamaño donde se procederá a la ceba de los machos ya pre-cebados, y se recolectarán al final de su crecimiento para su consumo y venta.

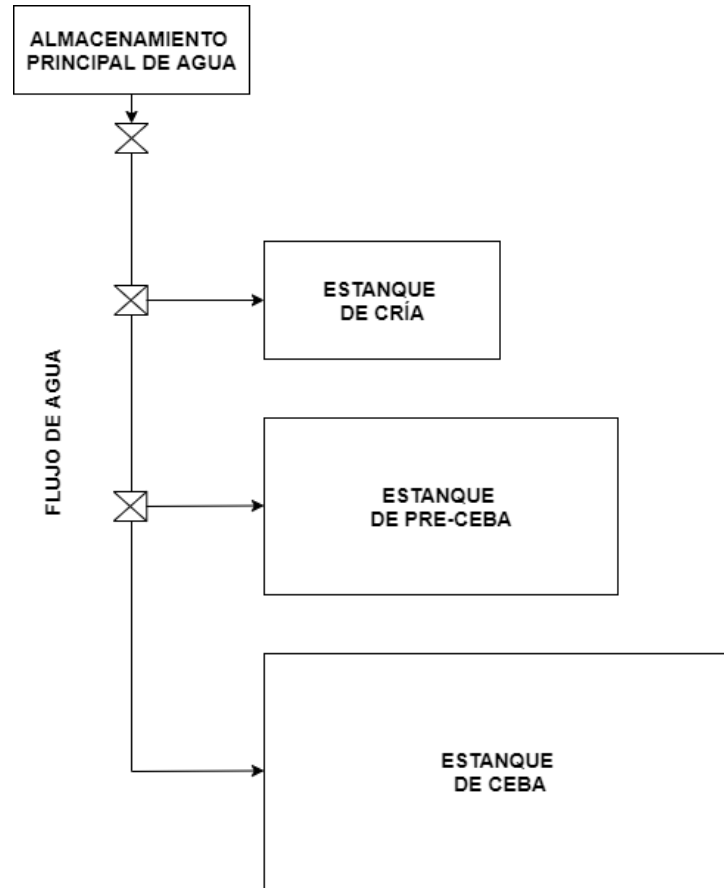


Ilustración 9. Diseño conceptual de la alimentación de los estanques (Fuente: Elaboración propia)

Para la alimentación principal de agua de los estanques se cuenta con un depósito de agua en altura al que se bombea por medio de una electrobomba sumergida agua de un pozo que ya se ha excavado.

La distribución de agua hasta los estanques se realizará por lo tanto aprovechando la altura de este depósito por gravedad. De esta manera se prescinde de un sistema de bombeo que necesitaría de corriente eléctrica para funcionar, y por ende de un alto gasto de energía a la hora de llenar los estanques tras cada etapa de recolección. Por medio del accionamiento de

un grifo principal a la salida del embalse se dispondrá del caudal principal de agua que alimentará los distintos estanques.

Para poder separar la canalización de cada estanque del flujo principal de agua se dispondrá de bifurcadores de grifo o distribuidores de doble salida a la entrada de los dos primeros estanques como se puede observar en el diseño. Más adelante en el epígrafe sobre la alimentación se discutirá la posible utilización de estos aparatos, o en su defecto la colocación de válvulas en los puntos de unión de las tuberías en caso de no disponer de estos.

Cada estanque se diseñará de manera que se favorezca su llenado, y la evacuación de agua cuando sea necesario. Para ello, el fondo del estanque dispondrá de cierta pendiente, y se contará en cada estanque con una canalización principal por donde llegará el suministro de agua, un canal de vaciado para poder vaciarse después de cada etapa de cultivo, y un canal de desbaste necesario para evacuar el agua de los estanques en caso de que se llenen a causa de las precipitaciones.

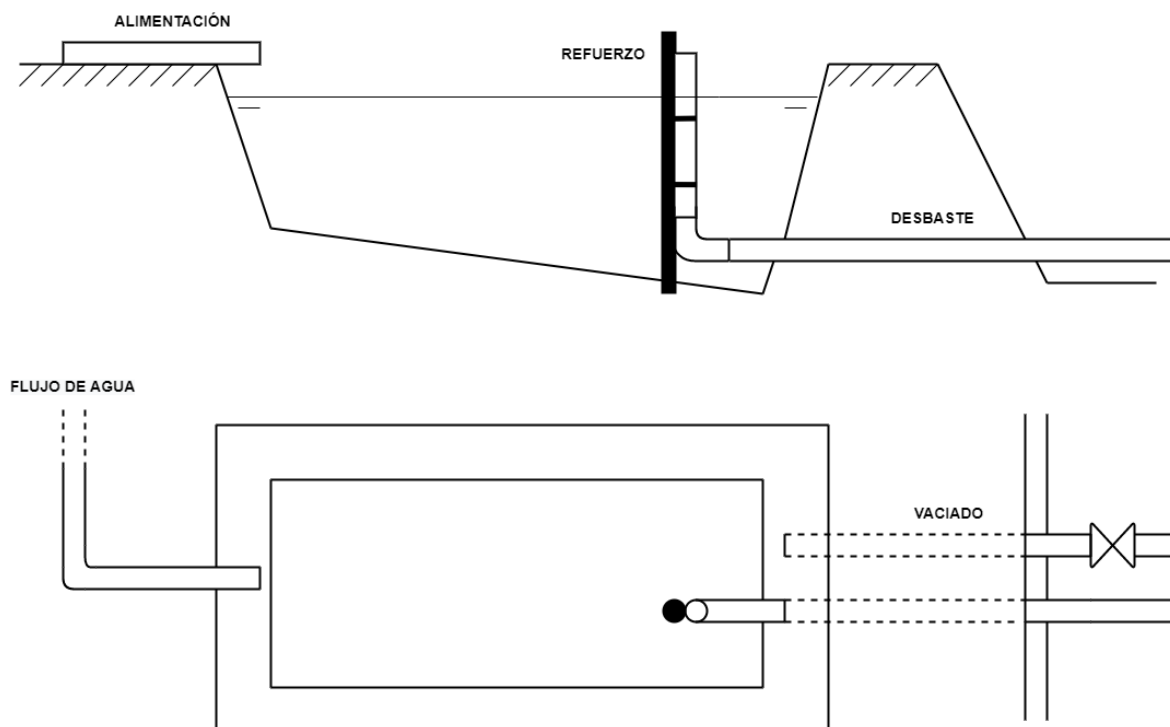


Ilustración 10. Diseño conceptual de los estanques (Fuente: Elaboración propia)

Para sostener el canal de desbaste se contará con un refuerzo al que se unirá por medio de un soporte apropiado la tubería vertical para poder sostenerse.

El canal de vaciado contará con una válvula o compuerta para poder controlar el caudal de agua y la cantidad de volumen de agua que se desea vaciar.

Ambos canales de desbaste y vaciado deberán estar mallados en su extremo en contacto con el estanque para evitar que se cuelen objetos que puedan obstruir las tuberías, o que los peces se escapen por los conductos.

El drenaje del agua del estanque se dirigirá a una canalización secundaria para poder utilizarse esta agua residual como riego para campos de cultivo, o dirigirse a un proceso de tratamiento para su consumo o reutilización.

2.2 DISTRIBUCIÓN

El terreno donde se construirán los estanques no es perfectamente llano, ya que se localiza en terreno de campo, pero se puede asumir que es llano ya que la pendiente no será en ningún caso suficientemente pronunciada como para interferir en la construcción ni la disposición de los embalses.

La colocación de los estanques será en paralelo, con una separación suficiente de manera que se eviten los derrumbamientos por la fuerza ejercida por los distintos volúmenes de agua. Para ello la separación entre estanques será de dos metros entre los laterales de los estanques.

La disposición en paralelo y sin excesivo distanciamiento entre estanques permite una mayor facilidad en el traslado de los peces entre estanques, de manera que pasan el menor tiempo en cubos de plástico o bolsas donde se les trasladará. Esta colocación también facilita que el

agua que se drene de los estanques converja en un mismo canal para poder llevarse donde se desee, y hace que se precise de menos metros de tuberías en la alimentación principal de agua.

El orden de colocación de los estanques será en relación con sus capacidades y con los tiempos de duración de las etapas de crecimiento en cada uno. Ya que la distribución de agua se realiza por gravedad, y se asume un terreno con pendiente nula en toda el área de excavación, el estanque colocado más cerca del tanque de alimentación será el que reciba el agua a mayor velocidad y por lo tanto se llene en menos tiempo, debido a que existirán menos pérdidas en el circuito de alimentación a menor distancia recorrida por el agua en las tuberías.

Por ello, el estanque de cría será el más cercano a la fuente de alimentación, ya que se debe vaciar y llenar después de cada etapa de cría, que es la etapa de menor duración (de 2 a 3 meses), seguido del estanque de pre-ceba, y el más lejano será el de ceba, que permanecerá activo durante 5 a 8 meses hasta el completo desarrollo de los peces.

Los tres estanques estarán alineados de manera que la salida de los canales de vaciado y desbaste de los tres evacúen en un canal común de recirculación del agua desechada.

El plano de disposición de los estanques se muestra en el Anexo I.

2.3 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Para alimentar los estanques, se dispone de dos depósitos de 5000 litros de agua que se encuentran a una altura de 10 metros. Los depósitos tienen una altura de 1,5 metros, y un diámetro de 2,32 metros. A estos depósitos se bombea agua desde un pozo en las proximidades a razón de $2,1 \text{ m}^3/\text{h}$.

La salida de agua de los depósitos se encuentra en el punto de menor altura de los estanques, de manera que estará colocada a 10 metros de altura, y está conectada a una tubería de Polietileno de 32 mm de diámetro.

Para los tramos más largos de tuberías, se utilizarán tuberías de Polietileno (PE), dada su flexibilidad que permitirá una mejor adaptación al terreno rugoso que otro tipo de tubería más rígida. Para los tramos de entrada y salida de los estanques se utilizará tubería de PVC o cloruro de polivinilo, que ofrece mayor rigidez, y por lo tanto mayor comodidad para acoplar a los estanques.

La utilización de materiales plásticos frente a otro tipo de materiales como pueden ser metálicos reduce considerablemente los costes del proyecto, y a su vez son más fáciles de manejar, cortar, acoplar e instalar.

Estos dos tanques se unirán en una misma conexión, de manera que se disponga de un punto común para controlar la salida del agua con un mismo grifo funcionando la alimentación del sistema principal de manera independiente para cada tanque.

Para poder controlar la velocidad de salida del agua, antes del grifo se dispondrá de una válvula reductora de presión. La limitación de presión P_S en el grifo situado en el suelo se hará a la presión mínima según la altura de los depósitos. De esta manera se garantiza el funcionamiento y la limitación de velocidad para todos los casos posibles, desde que el tanque está completamente lleno hasta que se vacía, ya que para presiones inferiores a p_s no se producirá salida del fluido por la tubería.

$$p_S = \rho \cdot g \cdot h = 997 \cdot 9,81 \cdot 10 = 97805,7 \text{ Pa}$$

Se adjunta una tabla con las propiedades del agua necesarias para resolver las ecuaciones de comportamiento del fluido:

Densidad (ρ)	997 [kg/m ³]
Viscosidad dinámica (μ)	0,001 [N·s/m ²]
Viscosidad cinemática (ν)	1,003·10 ⁶ [m ² /s]

Tabla 1. Propiedades del agua (temperatura ambiente)

La presión de las tuberías será la normalizada en cada caso, que deberá ser mayor de 1 bar, ligeramente superior al punto de mayor presión. Todas las tuberías utilizadas no tendrán ningún problema con la presión, ya que soportan presiones superiores a 4 bar en el menor de los casos.

Para conocer la velocidad en el punto en el que se ha limitado la presión, se utilizará la ecuación de Bernoulli, que describe el comportamiento del fluido, en este caso agua, a lo largo de una línea de fluido entre dos puntos 1 y 2.

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + h_{BOMBA} - h_{TURBINA} = \frac{p_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \sum h_{TOT}$$

- p = Presión en el punto 1 o 2
- v = Velocidad en el punto 1 o 2
- z = Altura del punto 1 o 2
- $h_{TURBINA}$ = Altura proporcional de turbina
- h_{BOMBA} = Altura proporcional de bomba
- h_{TOT} = Pérdidas de carga totales
- g = Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)
- ρ = Densidad del agua

Donde en este caso no se dispondrá ni de turbinas ni de bombas que aporten energía al sistema, y las pérdidas de carga totales h_{TOT} , se descomponen en pérdidas primarias h_f , en las tuberías del sistema que se calculan con la fórmula de Darcy-Weisbach, y en pérdidas secundarias o localizadas h_m , donde se tienen en cuenta las conexiones de las tuberías como codos o bifurcaciones, así como las válvulas en el sistema.

$$h_f = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

- f = Coeficiente de fricción

- L = Longitud de la tubería (10,2 metros aproximado entre altura y uniones)
- v = Velocidad del agua en el tramo de conducto
- D = Diámetro de la tubería
- g = Aceleración de la gravedad

$$h_m = \frac{k \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

- k = coeficiente de pérdidas secundarias

Se aplica entonces la ecuación de Bernoulli a la línea de fluido desde el punto 1 que es la superficie libre del fluido en el tanque de almacenamiento de agua, y el punto 2 que será el grifo de salida del agua, donde se conoce la presión P_s , fijada con la válvula reductora de presión. Al trabajar con presiones relativas, la presión en el punto 1 es nula, ya que el tanque está abierto a presión atmosférica, y la velocidad de este punto se supone nula ya que el diámetro del tanque es mucho mayor que el diámetro de salida de la tubería (2,32 m frente a 32 mm).

$$z_1 = \frac{p_s}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + h_f + h_m$$

La altura del punto 1 será la altura del depósito más la altura a la que se encuentra el tanque, con el estanque completamente lleno, y la capa libre del fluido a la máxima altura (11,5 metros).

Para el cálculo de las pérdidas primarias y secundarias será necesario conocer los coeficientes f y k .

El factor k de las pérdidas secundarias se encuentra tabulado, y para la salida de un depósito a una tubería toma el valor de 0,5 y para la válvula se encuentra tabulado.

Component	K_L	
a. Elbows		
Regular 90°, flanged	0.3	 90° elbow
Regular 90°, threaded	1.5	
Long radius 90°, flanged	0.2	
Long radius 90°, threaded	0.7	
Long radius 45°, flanged	0.2	
Regular 45°, threaded	0.4	
b. 180° return bends		
180° return bend, flanged	0.2	 45° elbow
180° return bend, threaded	1.5	
c. Tees		
Line flow, flanged	0.2	 180° return bend
Line flow, threaded	0.9	
Branch flow, flanged	1.0	
Branch flow, threaded	2.0	
d. Union, threaded		
	0.08	 Tee
*e. Valves		
Globe, fully open	10	 Tee
Angle, fully open	2	
Gate, fully open	0.15	
Gate, $\frac{1}{2}$ closed	0.26	
Gate, $\frac{1}{4}$ closed	2.1	
Gate, $\frac{3}{4}$ closed	17	 Union
Swing check, forward flow	2	
Swing check, backward flow	∞	
Ball valve, fully open	0.05	
Ball valve, $\frac{1}{2}$ closed	5.5	
Ball valve, $\frac{3}{4}$ closed	210	

Ilustración 11. Coeficientes de pérdidas secundarias (Fuente: Mecánica de Fluidos ICAI)

El factor de fricción se calcula de forma distinta si el flujo es laminar o turbulento, dependiendo del valor del número de Reynolds Re , que es función del diámetro D , la velocidad v , y la viscosidad cinemática ν o dinámica μ .

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

$$Re < 2300 \text{ Laminar} \quad f = \frac{64}{Re}$$

$$Re > 2300 \text{ Turbulento}$$

Con un régimen turbulento se utilizará la ecuación de Colebrook, en función del número de Reynolds, la rugosidad de la tubería $\mathcal{E}$, conocido para una tubería de Polietileno (PE) de valor 0,0015 mm, y el diámetro de la tubería D .

$$\frac{1}{f^{\frac{1}{2}}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3,7} + \frac{2,51}{Re \cdot f^{\frac{1}{2}}} \right)$$

Al no conocerse la velocidad en la tubería, se debe realizar un proceso iterativo suponiendo para comenzar un flujo turbulento, y utilizando un factor de fricción inicial aceptable de por ejemplo 0,02.

Introduciendo este valor en la ecuación de Bernoulli se obtiene la velocidad v , con la que se calcula el número de Reynolds, comprobándose si la hipótesis de régimen turbulento es correcta, en cuyo caso se vuelve a calcular el factor de fricción f por medio de la ecuación de Colebrook. Se repite el proceso iterativo hasta que se obtiene un valor de f parecido al obtenido en la iteración anterior.

	Primera iteración	Segunda iteración
f	0,02	0,0204
v [m/s]	1,82	1,808
Re	58065,28 (Turbulento)	57690,57 (Turbulento)
f	0,0204	0,0204

Tabla 2. Proceso iterativo del desarrollo de Bernoulli

Por lo tanto, en el grifo de salida de agua situado en la superficie del terreno, se tienen los siguientes datos:

$v=1,81$ [m/s]
$p=97805,7$ Pa

Los calanes de alimentación llegarán a cada estanque de manera que el agua que viene por la tubería tenga recorrido de altura al caer, facilitando así la oxigenación del agua del estanque con el llenado. Esto es importante dado que el agua viene un pozo, y se necesita disponer de oxígeno suficiente disuelto en el agua para que los peces puedan vivir en los estanques.

Las conexiones de las tuberías para la alimentación de los distintos estanques se realizarán por medio de válvulas de tres salidas, que permitirán dirigir el flujo en un sentido o en otro según convenga llenar un estanque u otro.

En caso de que no se disponga de este tipo de válvula, se utilizarán válvulas corrientes de PVC pasada la unión entre la canalización principal de agua y la tubería de PVC de entrada en cada estanque. La unión en este caso sería en T encontrándose en un extremo la tubería con canalización principal de agua, en otro extremo la tubería de entrada al estanque, y en el otro la válvula de conexión.

Estas conexiones pueden observarse en los planos de distribución en el Anexo I.

2.4 ESTANQUES

Según el tipo de estanque se calculará y dimensionará la superficie de este, así como los canales de vaciado y desbaste adaptándose cada estanque a las necesidades y características de los peces que contendrá.

Para garantizar que no existen fugas de agua al terreno, se colocará una lona aislante en el fondo de cada embalse. El material que se utilizará será lona de PVC de 0,5 mm de espesor, un material que ya ha sido utilizado anteriormente en un proyecto de desarrollo de piscifactoría para la escuela del distrito de Kazai, resultando útil dada su versatilidad y su bajo coste. (Herrera, 2019)



Ilustración 12. Lona de PVC 0,5 mm (Fuente: Brycus.es)

Las dimensiones de los estanques variarán dependiendo de su finalidad, pero el diseño y la forma será el mismo para todos. Los estanques serán de forma rectangular con una pendiente en los bordes suficiente para facilitar el vaciado de los estanques elegida del 2 por ciento, así como la colocación de la lona impermeabilizante del terreno, y contarán con un canal de vaciado y uno de desbaste con salida a una canalización del agua desechada.

Para llevar a cabo el dimensionamiento se calculará la sección de cada cara transversal en los dos extremos de la excavación y con la sección transversal promedio y la longitud promedio se calculará el volumen de cada estanque. De esta forma se tienen en cuenta los taludes laterales y la pendiente en el fondo de los estanques. (FAO, s.f.)

Los taludes laterales serán de relación 2:1 de tal forma que no será necesario utilizar ningún factor de corrección para tener en cuenta estas pendientes en los cálculos.

La superficie inferior del estanque contará con una pendiente no muy pronunciada que facilite el vaciado completo de los estanques entre etapas de cultivo para la cosecha.

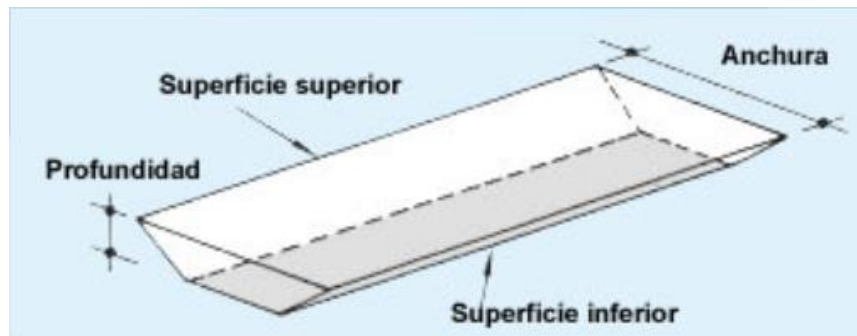


Ilustración 13. Dimensiones de los estanques (Fuente: FAO)

2.4.1 ESTANQUE DE CRÍA

El estanque de cría será el de menor tamaño. Esto favorecerá que la temperatura del agua del estanque sea mayor en menos, favoreciendo así la cría de las tilapias.

La finalidad principal de este estanque es la de juntar machos y hembras de tilapia para que críen, y en un tiempo estimado de 2 o 3 meses que dura la reproducción, incubación y cría, recoger por medio de una red estas crías que se agrupan en un extremo del estanque y que se trasladarán al estanque de pre-ceba pasando a la siguiente etapa de su crecimiento.

El proceso de reproducción de las tilapias consiste en primer lugar en el desove de las hembras, seguida por la fecundación de los machos de los huevos, que más tarde son recogidos por las hembras de nuevo. Las hembras conservarán los huevos hasta que eclosionen en su boca, y después las crías crecerán hasta alcanzar un tamaño adecuado para su recolección.

2.4.1.1 Dimensionamiento

El estanque de cría o desove tendrá un área superior de 150 m² (15m x 10m) dispondrá de taludes laterales como ya se ha especificado, con una profundidad en el menor tramo de 0,5 m, y en el mayor tramo siguiendo una pendiente lineal del 2%, se define la mayor profundidad.

$$h2 = m \cdot (Linf) + h1$$

Siendo $h2$ la profundidad que se busca calcular, m la pendiente de la recta, $Linf$ la longitud de la base del estanque que equivale a la longitud del área superior restándole los tramos horizontales de los taludes (el doble de la profundidad), y $h1$ la profundidad menor.

$$h2 = 0,02 \cdot (15 - 2 \cdot 0,5 - 2 \cdot h2) + 0,5$$

$$h2 = 0,75 \text{ m}$$

Taludes laterales de 1:0,5 ; 1,5:0,75 (m)

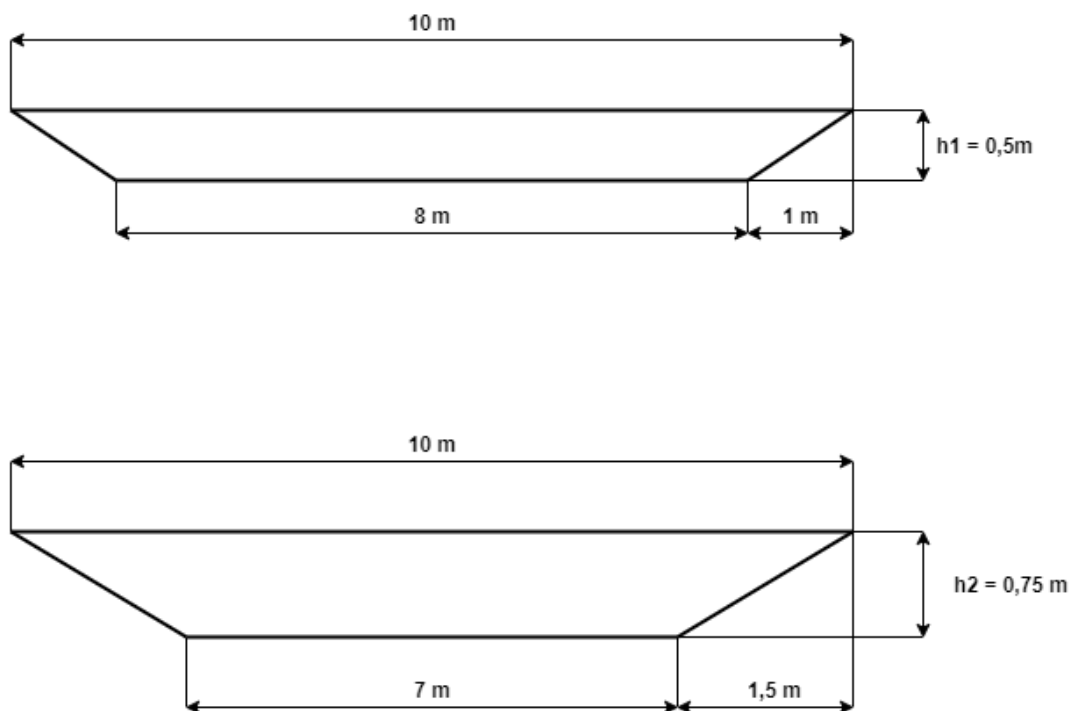


Ilustración 14. Secciones transversales del estanque de cría (Fuente: Elaboración propia)

El volumen total de agua en el estanque se calcula por medio del área media entre las secciones transversales y la longitud media.

$$A = \left[\frac{d1 + d2}{2} \right] \cdot h$$

Donde A es el área de la sección transversal, $d1$ y $d2$ son las longitudes de las bases mayor y menor del trapecioide, y h la altura o profundidad.

$$A1 = \left[\frac{d1 + d2}{2} \right] \cdot h1 = \left[\frac{10 + 8}{2} \right] \cdot 0,5 = 4,5 \text{ m}^2$$

$$A2 = \left[\frac{d1 + d2}{2} \right] \cdot h2 = \left[\frac{10 + 7}{2} \right] \cdot 0,75 = 6,375 \text{ m}^2$$

La longitud intermedia se determina identificando dos longitudes $L1$ y $L2$, entre los puntos medios de las secciones transversales 1 y 2.

$$L1 = 15 \text{ m}$$

$$L2 = \frac{h2 - h1}{m} = \frac{0,75 - 0,5}{0,02} = 12,5 \text{ m}$$

Se obtiene entonces el volumen V máximo del estanque con el área y la longitud intermedias (A , L).

$$A = \frac{A1 + A2}{2} = \frac{4,5 + 6,375}{2} = 5,44 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{L1 + L2}{2} = \frac{15 + 12,5}{2} = 13,75 \text{ m}$$

$$V = A \cdot L = 5,44 \cdot 13,75 = 74,77 \text{ m}^3 \approx 75 \text{ m}^3 = 75.000 \text{ L de agua}$$

La superficie de lona necesaria para cubrir el estanque será la del área de excavación, teniendo en cuenta un margen en los bordes para servir de apoyo y sujeción de la lona. Se calcula por lo tanto el área de cada superficie lateral del estanque. Los planos detallados de las distintas áreas se incluyen en el Anexo I.



SUPERFICIES LATERALES



SUPERFICIE FRONTAL



SUPERFICIE TRASERA



SUPERFICIE INFERIOR

Ilustración 15. Desglose de superficies de los estanques (Fuente: Elaboración propia)

Se calcula por medio de los planos con las diferentes medidas el área de los tramos frontal (A_f), trasero (A_t), inferior (A_i) y laterales (A_l) como superposición de áreas. La superficie total A se calcula como la suma de estas áreas con un extra de 0,5 metros por cada tramo de área superficial para poder sujetar la lona exteriormente al estanque.

$$A_f = 13,5 \text{ m}^2 \quad A_t = 19,13 \text{ m}^2 \quad A_i = 93,75 \text{ m}^2 \quad A_l = 25,88 \text{ m}^2$$

$$A = A_f + A_t + A_i + 2 \cdot A_l + 10 + 15 = 203,13 \text{ m}^2$$

El área que se debe cubrir con la lona de PVC es por lo tanto de $203,13 \text{ m}^2$.

La densidad de siembra recomendada es de 0,2-0,3 kg/m². Disponiendo este estanque de 150 m², entonces se dispondrá de una capacidad de 30 a 45 kg de peces. Ya que el estanque no se llenará al cien por cien de su capacidad, se multiplicará por un factor de 0,8, resultando una capacidad de 24 a 36 kg. Teniendo en cuenta que los ejemplares serán de peso medio 100 gramos, se obtiene una cantidad de 240 a 360 peces en el estanque. Se optará por un término intermedio de 280 peces.

Para llevar a cabo una reproducción eficiente y funcional se debe sembrar a razón de 2 a 3 hembras por macho en este estanque. La producción estimada de crías es de 20 a 60 crías por kilogramo de hembras al día, por lo que se producirán en promedio 40 crías por kilogramo de hembras al día, durante 8 a 10 semanas. Se obtendrá una producción aproximada de 500 alevines durante una cosecha.

2.4.1.2 Alimentación

Para conocer el caudal de agua que llega al estanque de cría, se utilizará la ecuación de Bernoulli desde un punto 1 conocido, que será el grifo principal calculado en el epígrafe ‘Sistema de Alimentación’, hasta el punto 2 que será la salida de la tubería que llega al estanque.

La presión en el punto 2 será nula trabajando con presiones relativas teniendo en cuenta que el extremo se encuentra abierto a presión atmosférica. Las dos alturas serán iguales a cero, despreciando cualquier pendiente que pudiera haber, aunque esta favorecería la llegada del agua a los estanques.

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + hf + hm$$

Para el cálculo de pérdidas primarias se distinguen dos tramos de pérdidas hf_1 y hf_2 . El primer tramo de tubería desde el grifo hasta la válvula de tres salidas será de PE con una

longitud de 11 metros, y el segundo tramo hasta el estanque será de PVC con una longitud de 8 metros. La rugosidad de las dos tuberías es la misma: $\epsilon=0,0015$ mm, y los diámetros también, iguales al que conecta el tanque de alimentación hasta el grifo, de 32 mm, por lo que el coeficiente de fricción será el mismo para las dos, y se tratará como una sola pérdida de carga primaria conjunta hf .

El coeficiente de pérdidas secundarias k , se tomará como el equivalente a un codo en el punto de conexión.

Se lleva a cabo un proceso iterativo suponiendo un factor de fricción inicial de valor 0,02.

	Primera iteración	Segunda iteración	Tercera iteración
f	0,02	0,0175	0,0173
v [m/s]	3,89	4,13	4,15
Re	128073,82	131829,66	132401,6
f	0,0175	0,0173	0,0173

Tabla 3. Proceso iterativo de Bernoulli para la alimentación del estanque de cría

Se calcula con la velocidad obtenida el caudal que circula por la sección de tubería, A:

$$A = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = 8,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = v \cdot A = 0,0033 \text{ m}^3/\text{s} = 12 \text{ m}^3/\text{h}$$

El volumen total de llenado del estanque será del 87% sin llegar a llenarlo por completo evitando derrames de agua, que se controlarán por medio del canal de desbaste con unas profundidades máximas de 0,45 metros y 0,7 metros.

En total se debe llenar un total de 65,5 metros cúbicos de agua, con el caudal de agua obtenido de la alimentación, el tiempo de llenado de esta capacidad del estanque será de 5,5 horas, y el 15 por ciento del estanque, recomendado para mantener una correcta oxigenación del agua, se llenará en 57 minutos. Sin embargo, existe la limitación de la capacidad de los tanques de alimentación con capacidad de 5 metros cúbicos de agua cada uno que se llenan cada 2,4 horas por bombeo desde el pozo. Como los tanques tienen una capacidad de 5

metros cúbicos, se vaciarán al cabo de 21 minutos cada uno. Será necesario esperar a que se llene el estanque de nuevo para repetir el proceso de vaciado.

2.4.1.3 Vaciado

Para poder vaciar el estanque al completo tras las etapas de cultivo se contará con una canalización de vaciado colocada en el punto de mayor profundidad. Este consiste en una tubería de PVC, a la que se colocará una válvula o compuerta de PVC a la salida de la tubería para poder controlar el drenaje de agua que se desea hacer del estanque.

El diámetro de salida será de 100 mm, un tamaño suficientemente grande como para evacuar el agua de forma rápida y que no se produzca ningún tipo de atasco por ramas, hojas o residuos de los peces. El tamaño está normalizado de manera que su disponibilidad en el mercado de Zimbabwe esté garantizada.

Con el objetivo de conocer el tiempo de vaciado del estanque se utiliza la ecuación de Bernoulli, siendo el punto 1 la superficie libre del agua en el estanque, y 2 la salida de la tubería del canal de vaciado.

Las presiones en los dos puntos son iguales a la atmosférica, por lo que se anulan en la ecuación. La altura de la superficie libre de fluido de altura z_1 es de 0,7 metros, y la salida del canal se sitúa en la parte baja del estanque, con cota de altura cero. La velocidad del punto 1 se supondrá cero, ya que la superficie del estanque es mucho mayor que el diámetro de salida del canal de vaciado.

$$z_1 = \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$v = 3,71 \text{ m/s}$$

$$Q = v \cdot A = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,029 \text{ m}^3/\text{s}$$

El total del estanque tardará en ser evacuado 38 minutos. El 15 por ciento del estanque, cantidad recomendada de vaciado para mantenerse una correcta oxigenación en el estanque, tardará en vaciarse 5 minutos.

El extremo de la tubería en contacto con el estanque deberá estar mallado para evitar que la tubería no se bloquee con algún objeto voluminoso, o que los peces del estanque se puedan escapar. Se optará por una red mallada de plástico fácilmente adherible a la tubería de PVC mediante bridas.



Ilustración 16. Red mallada de plástico (Fuente: Brycus.es)

La excavación del canal de vaciado a donde irá el agua del estanque se realizará con la distancia suficiente para evitar derrumbamientos teniendo en cuenta los taludes laterales en las paredes del estanque. Esta distancia influirá en la longitud total de la tubería. Se dimensionará en el estanque de mayor tamaño para garantizar la validez en todos los tamaños de estanque.

2.4.1.4 Desbaste

La existencia de un canal para el desbaste es necesario para evitar que el estanque se llene por encima de su capacidad en las épocas con mayores precipitaciones. Por ello, para saber el diámetro mínimo necesario de evacuación, se utilizará el dato máximo de precipitaciones recogido en la región de Mt. Darwin, que es de 246 mm en enero. Este dato registrado es un promedio en todo el mes de enero, por lo que se multiplicará por dos para cubrir el posible caso más desfavorable, en el que las precipitaciones puedan ser mucho más elevadas.

Se dimensionará por lo tanto el canal de desbaste para el caso más desfavorable, garantizando su funcionamiento de este en todas las épocas del año.

Para llevar a cabo los cálculos se utilizará esta medida de precipitaciones en litros por metro cuadrado.

$$492 \text{ mm} = 492 \text{ L/m}^2$$

El caudal que será necesario evacuar según el área del estanque S_E , es:

$$Q = \frac{492 \text{ L/m}^2}{30 \text{ días} \cdot 24 \text{ h}} \cdot S_E = \frac{492 \text{ L/m}^2}{30 \cdot 24 \text{ h}} \cdot 150 \text{ m}^2 = 102,5 \text{ L/h}$$

Para conocer el diámetro mínimo necesario de evacuación, se calcula por medio de la ecuación de Bernoulli la velocidad a la que circula el agua por la tubería, aplicándose entre los dos extremos del circuito, la superficie del estanque y la salida.

La altura a la que estará el extremo de la tubería será menor a la máxima admisible del estanque, y mayor a la de la superficie libre del fluido. En este caso, será de 0,7 m, por lo que aplicando Bernoulli, teniendo en cuenta que las presiones relativas en los dos puntos en los que se aplica es cero, y que la altura de la tubería de desbaste será de 0,72 metros, entre la superficie libre del fluido y la altura máxima del estanque. No se tendrán en cuenta las pérdidas de carga para estos cálculos, para obtener la velocidad máxima.

$$z1 = \frac{v2^2}{2 \cdot g}$$

$$v2 = 3,76 \text{ m/s}$$

Conocido el caudal de evacuación, y la velocidad, se puede saber el diámetro mínimo de la tubería.

$$Dmin = \sqrt{\frac{Q \cdot 4}{v \cdot \pi}} = 3,11 \text{ mm}$$

Está garantizado para el diámetro mínimo normalizado que se vaciará el caudal debido a lluvias. Se optará por utilizar el mismo diámetro que en el canal de vaciado, 100 mm, para garantizar el correcto funcionamiento del desbaste sin que se atasque la tubería. El extremo superior del canal deberá estar mallado de la misma forma que el canal de vaciado.

La tubería contará con una longitud de 0,7 metros en vertical conectada a un codo de 90 grados y a un tramo horizontal con salida al canal de vaciado. Para sostener la tubería vertical será necesario utilizar un soporte rígido como puede ser un tubo de PVC compacto, al que se unirá por medio de bridas la tubería para evitar que se caiga. La tubería será de PVC, ya que se precisa rigidez en los dos tramos vertical y horizontal.

Se puede observar la canalización de desbaste en los planos de los estanques, en el Anexo I.

2.4.2 ESTANQUE DE PRE-CEBA

El estanque de pre-ceba servirá para que los alevines recogidos en el estanque de cría se desarrollen hasta un tamaño intermedio. Una vez han crecido lo suficiente será necesario sexar a los distintos ejemplares para poder hacer una distinción y trasladar a los machos al estanque de ceba, y reservar las hembras para poder llevar a cabo la cría de nuevos alevines.

Tan solo se trasladarán los machos al estanque de ceba dado que en esta especie los machos crecen el doble de rápido que las hembras, por lo que son idóneos para la ceba. Además, si se contara con un excesivo número de hembras en el estanque se correría el riesgo de sufrir una reproducción descontrolada. (Rakocy, 2009)

De esta manera se dispone de una piscifactoría autosostenible por medio de la cría y la reproducción de tal forma que con una primera compra de alevines será posible mantener una producción sin la necesidad de comprar alevines de tilapia en el mercado cada vez que se quiera cultivar.

La etapa de crecimiento de esta especie se encuentra en torno a los 4 meses, hasta que se han desarrollado completamente los peces. Pasado este tiempo se procederá por tanto a la colecta de ejemplares para poder ser clasificados.

2.4.2.1 Dimensionamiento

El estanque de pre-ceba tendrá una superficie de 180 metros cuadrados (10 m x 18 m). Teniendo en cuenta una pendiente inferior del 2 por ciento, con una profundidad inicial de 0,7 metros, y una profundidad en el mayor tramo de 1 metro.

El volumen total del estanque calculado por medio del área y la longitud medias por medio de las secciones transversales es de 115,665 m³, 115.665 litros de agua.

La longitud total de lona de PVC necesaria para recubrir la excavación del estanque se calcula por medio de división de áreas con la suma de todas las áreas de las paredes del estanque, obteniéndose una superficie total de 249,82 m².

Se puede observar el plano de despiece de áreas en el Anexo I.

La densidad de siembra en este estanque debe ser de 20-25 peces/m². Dado que se dispone de una superficie de 180 metros cuadrados, se podrá sembrar un máximo de 4.500 peces en

el estanque. Al cosecharse en promedio 500 alevines por cosecha de peces en el estanque de cría, el dimensionamiento de este estanque permite el crecimiento de los peces perfectamente durante la etapa entera de crecimiento incorporándose nuevos alevines tras su cosecha en el estanque de cría.

2.4.2.2 Alimentación

La tubería de entrada al estanque será de la misma forma que en estanque de cría una tubería de PVC, dada su rigidez, conectada a la canalización principal de agua por medio de una válvula de tres salidas.

Se calculará el caudal de agua que llega al estanque de pre-ceba por medio de la ecuación de Bernoulli desde el grifo de alimentación principal, de presión y velocidad conocidas, hasta la salida de la tubería de alimentación del estanque con presión relativa nula.

Para el cálculo de las pérdidas primarias se tendrán en cuenta dos tramos de tubería, uno de PE de 23 m y otro de PVC de 5 m como se puede observar en los planos adjuntos en el Anexo I. Dado que su diámetro y su rugosidad son iguales, se tendrá un solo tramo de tubería equivalente de longitud 28 m.

Las pérdidas de carga secundarias contarán con un codo en la conexión de la tubería del estanque de pre-ceba, y una válvula abierta en la conexión de las tuberías del canal de cría.

	Primera iteración	Segunda iteración	Tercera iteración
f	0,02	0,018	0,01795
v [m/s]	3,24	3,4	3,41
Re	103368,96	108473,6	108792,64
f	0,018	0,01795	0,018

Tabla 4. Proceso iterativo de Bernoulli para la alimentación del estanque de pre-ceba

El caudal que llega al estanque de pre-ceba es de $0,0027 \text{ m}^3/\text{s}$, que equivale a $9,87 \text{ m}^3/\text{h}$.

El estanque se llenará al 92 por ciento de su capacidad de tal manera que las profundidades máxima y mínima del depósito serán 0,95 m y 0,65 m.

Teniendo en cuenta este caudal, el volumen que se desea llenar tardará un tiempo de 10,8 horas, y el 15 por ciento del estanque se llenará en 2,4 horas. Será necesario tener en cuenta la limitación por los tanques de almacenamiento de la misma forma que se tenía en cuenta para el estanque de cría.

2.4.2.3 Vaciado

La tubería de vaciado del estanque de pre-ceba será de PVC, con 100 mm de diámetro. El extremo interior de la tubería también deberá estar mallado para evitar fugas de peces del estanque.

Se calculará el caudal de vaciado utilizando la ecuación de Bernoulli entre la superficie libre del fluido en el estanque y la salida de la tubería. La superficie libre del fluido en el estanque se encuentra a una altura de 0,95 metros, y las hipótesis utilizadas serán las mismas que se utilizaron para calcular el vaciado del estanque de cría.

La velocidad de vaciado a la salida de la tubería es de $4,32 \text{ m/s}$, y el caudal de vaciado es de $0,034 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que el estanque entero se vaciará en 52 minutos, y el 15 por ciento del estanque tardará en vaciarse 8,5 minutos.

2.4.2.4 Desbaste

El canal de desbaste contará con una tubería de PVC con dos tramos, uno vertical y otro horizontal. El tramo vertical será de 0,97 metros de altura, cota intermedia entre la superficie libre del fluido y la profundidad total del estanque.

Por medio del caudal evacuación de precipitaciones y la superficie del estanque, se obtiene el diámetro mínimo de la tubería con la ecuación de Bernoulli entre la superficie libre del estanque y la salida, obteniéndose un diámetro mínimo de 5,99 mm. La tubería utilizada será también de 100 mm de diámetro, con el extremo vertical. Será necesario un soporte rígido de altura igual al tramo vertical, en este caso 0,97 metros, al que se sujetará la tubería.

2.4.3 ESTANQUE DE CEBA

El estanque de ceba será el de mayor tamaño, dada la distribución recomendada de densidad de peces por metro cuadrado. Será en este estanque donde los ejemplares alcancen los mayores tamaños, por lo que se precisará de un volumen de agua adecuado.

Al cabo de 5 o 6 meses se estima que los ejemplares introducidos en este estanque serán de un peso medio aproximado de 400 a 500 gramos, por lo que deberán ser recolectados y podrán ser consumidos o vendidos.

2.4.3.1 Dimensionamiento

El estanque de ceba tendrá una superficie total de 200 metros cuadrados (20 m x 10 m), con unas profundidades de 0,8 metros, y de 1,12 metros en el tramo más profundo, siguiendo la misma pendiente que se ha utilizado en los demás estanques del dos por ciento.

La densidad de siembra en este estanque se estima en 1 a 3 peces por metro cuadrado, ya que la superficie total es algo inferior a 200 metros cuadrados, teniendo en cuenta que no se llenará al máximo de su capacidad, se utilizará una densidad de siembra de 2 peces por metro cuadrado, que equivalen a un total de 400 peces.

El volumen total del estanque calculado con las secciones transversales y las longitudes medias es de 138,7 m³.

El área total necesaria de lona de PVC de 0,5 mm calculada por medio del desglose de áreas adjunto en planos es de un total de 280,23 m².

2.4.3.2 Alimentación

Por medio de la ecuación de Bernoulli desde el grifo principal hasta la salida del estanque de ceba, se calcula la velocidad con la que llega el agua por la tubería.

La longitud de los tramos de tubería de sección 32 mm, tendrán una longitud total de 38 metros como se puede observar en el plano de disposición de los estanques, y las pérdidas secundarias incluirán el coeficiente de las dos válvulas hasta el último tramo, y un codo de 90 grados hasta la salida de la tubería al estanque.

	Primera iteración	Segunda iteración	Tercera iteración
f	0,02	0,0186	0,0185
v [m/s]	2,81	2,9	2,91
Re	89495,51	92521,6	92840,64
f	0,0186	0,0185	0,0185

Tabla 5. Proceso iterativo de Bernoulli para la alimentación del estanque de ceba

El caudal de agua que llega al estanque es por lo tanto de 8,42 m³/h. Se llenará al 85 por ciento de su capacidad, de manera que las profundidades máxima y mínima sean aproximadamente 0,78 m y 1,1 m.

Se tardará en llenar la capacidad deseada un tiempo de 14 horas. El 15 por ciento del estanque se llenará en 2,5 horas.

2.4.3.3 Vaciado

La tubería que se utilizará para el canal de vaciado del estanque de ceba será similar a la utilizada en el resto de los estanques, de PVC con un diámetro de 100 mm. Por medio de la ecuación de Bernoulli, con la superficie libre de fluido a una altura de 1,1 metros, se obtiene la velocidad de salida del agua por la tubería, que será de 4,65 m/s. El caudal de salida es por tanto de 0,037 m³/s. El total del estanque tardará en ser vaciado un total de 53 minutos, y el 15 por ciento de este tardará en vaciarse 9,4 minutos.

Para garantizar que no existen derrumbamientos, se dimensionará el extremo lateral del estanque con las tuberías de desbaste y vaciado con una anchura en la base mayor del dique de dos metros, de tal manera que exista un volumen de tierra suficiente para que la fuerza que ejerza el agua en el lateral del estanque no derrumbe esta pared.

El talud lateral en el extremo en vacío será de relación 1,5:1 m. De esta manera, el canal de vaciado tendrá una profundidad total de 1,12 metros, al igual que la profundidad mayor de los tres estanques.

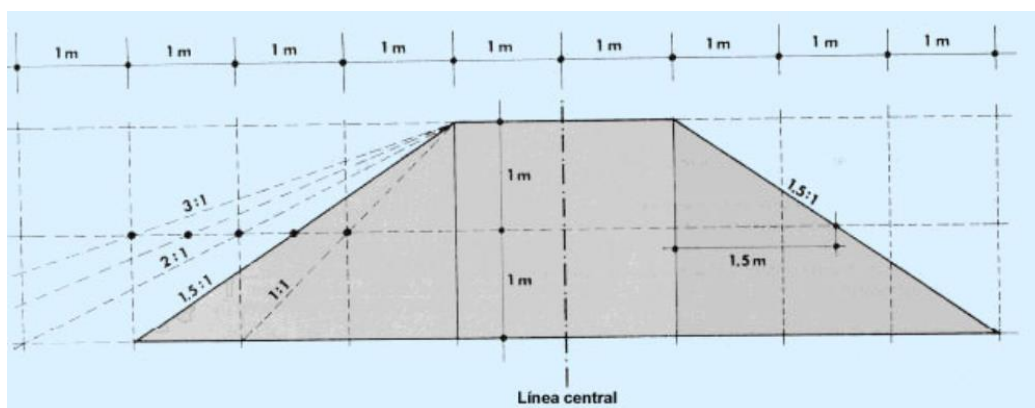


Ilustración 17. Dimensiones del dique de contención de los estanques (Fuente: FAO)

2.4.3.4 Desbaste

El diámetro mínimo de evacuación para el canal de desbaste calculado en este estanque es de 6,1 mm, teniendo en cuenta que se dispondrá de una altura del tramo vertical del canal de desbaste de 1,11 metros de altura. Por ello, también se utilizará como tubería la de PVC de diámetro 100 mm, utilizada para el desbaste en el resto de los estanques.

Será necesario fijar la tubería en el tramo vertical por medio de una guía rígida, así como conectarla con el tramo horizontal por medio de un codo y mallar su extremo, como ya se ha especificado para los dos estanques previos.

2.5 RESUMEN DE LOS CÁLCULOS

Se adjunta a continuación una tabla con el resumen de los cálculos obtenidos para tener una idea general y orientativa del proyecto.

		Capacidad utilizada [m ³]	Superficie de lona [m ²]	Tiempo de llenado [h]	Diámetro de alimentación [mm]	Diámetro de desbaste [mm]	Diámetro de vaciado [mm]
ESTANQUES	CRÍA	65,5	203,13	5,5	32	100	100
	PRE-CEBA	106,4	249,82	10,8			
	CEBA	124,8	280,23	14			

Tabla 6. Resumen de los cálculos de los estanques

2.6 IMPLEMENTACIÓN

Para llevar a cabo el desarrollo de la piscifactoría será necesario disponer de un plan de implementación. Para ello se seguirán los siguientes pasos:

- 1- Limpieza y allanamiento del terreno: En primer lugar, se deberá quitar de toda la superficie donde se excavarán los estanques todo tipo de obstáculos para su desarrollo como piedras de gran tamaño, arbustos o incluso árboles.
- 2- Excavación y aplanado de los tres estanques: Por medio de picos y palas o incluso con la disposición de maquinaria pesada se excavarán los estanques cada uno con sus profundidades, siguiendo los planos de distribución y de cada estanque. Será necesario apisonar el terreno para aplanarlo lo máximo posible dándole resistencia a la base de los estanques y a los laterales.
- 3- Excavación de los canales de vaciado y desbaste y colocación de las tuberías de PVC: Se instalarán las tuberías a las alturas debidas, con salida al canal de vaciado y circulación del agua vaciada de los estanques. También se instalarán las guías para las tuberías verticales del canal de desbaste.

- 4- Recubrimiento de los estanques: Una vez excavados, se deberá colocar la lona de PVC de 0,5 mm previamente unida por medio de una pistola de calor que garantice un sellado sin fugas, siguiendo los planos de desgloses de áreas para cada estanque. En los extremos con tuberías se pegará la lona a las tuberías evitando que quede ningún hueco por donde se fugue el agua.
- 5- Cultivo de los estanques: Antes de llenar los estanques de agua, será necesario cultivarlos con estiércoles para que existan nutrientes suficientes en el agua que favorezcan el crecimiento de los peces. Se seguirá la recomendación de biomasa indicada en el plan de mantenimiento.
- 6- Llenado de los estanques: Se procederá a llenar el primer estanque que se utilizará en el proceso de cultivo inicial que es el de pre-ceba, y comprobar que no existen fugas, y su correcto funcionamiento.
- 7- Cultivo de los primeros alevines. Se introducirán en el estanque de pre-ceba alevines que crecerán hasta que puedan ser sexados para trasladarse al estanque de cría o de ceba.

2.7 PLAN DE MANTENIMIENTO

Una vez excavados los estanques, es necesario plantear una guía de mantenimiento para facilitar a la población que se hará cargo del cuidado y del funcionamiento de la piscifactoría.

I. Sistema de alimentación

Será necesario comprobar cada cierto tiempo, o en caso de fallo en la alimentación:

-Presión de la válvula reductora de presión, que debe tener un valor de 97805,7 Pa, o 0,98 bar.

-Fugas en las tuberías o fallos en las conexiones con válvulas.

-Bloqueo del canal de alimentación por hojarasca, sólidos en el tanque de alimentación, o alguna piedra en el recorrido de las tuberías de Polietileno.

II. Estanques

-Tras cada etapa de cultivo de un estanque será necesario proceder al vaciado completo de este, para garantizar que queda limpio. Los tiempos de cultivo de los estanques se muestran a continuación.

ESTANQUE	TIEMPO DE CULTIVO
CRÍA	2-3 meses
PRE-CEBA	4-5 meses
CEBA	5-6 meses

Tabla 7. Tiempos de cultivo de los estanques

- Tras vaciar los estanques se debe comprobar que no existen fugas al terreno, y que los canales de vaciado y desbaste están correctamente mallados.
- Es necesario antes de llenar los estanques cultivarlos con biomasa para producir fitoplancton en el agua que servirá de alimento a los peces. Se utilizará una media de cultivo de fertilizante orgánico de 1000 kg por hectárea para no eutrofizar el agua, lo que deja unas cantidades máximas de 15 kg para el estanque de cría, 18 kg para el estanque de pre-ceba, y 20 kg para el estanque de ceba.
- Se proporciona en el Anexo II, una tabla con la información referente a la nutrición de la tilapia en sus etapas de cultivo.
- En particular en el estanque de cría se recolectarán los alevines en cubos o bolsas de plástico para ser trasladados al estanque de pre-ceba, que debe estar completamente lleno para cuando esto ocurra, a partir de los 15 días de su siembra.
- En el estanque de pre-ceba, pasados aproximadamente 4 meses, se sexarán los alevines desarrollados para poder pasar al estanque de cría o de ceba. En el Anexo II se incluye una guía para el correcto sexado de los peces.

Capítulo 3. MODELO ECONÓMICO

En este capítulo se detalla el presupuesto del proyecto, así como su viabilidad y la financiación para poder desarrollarse.

3.1 PRESUPUESTO

El presupuesto para el desarrollo de la piscifactoría se compone de cuatro partes, la canalización de agua, los estanques, los peces con la alimentación y la mano de obra, y por último gastos o imprevistos donde se incluyen por ejemplo defectos de materiales, pérdida de alevines por el transporte, o necesidad compra de materiales que sustituyan a los buscados según su disponibilidad.

Se añade a continuación una tabla de costes unitarios con el cálculo del coste total del proyecto.

	Producto	Unidad	Precio unitario [\$]	Cantidad	Precio
Canalización de agua	Tubería PE D=32 mm	m	0,37	100	37
	Tubería PVC D=32 mm	m	0,93	19	17,67
	Tubería PVC D=100 mm	m	3,65	36	131,4
	Válvula reductora de presión	-	13,58	1	13,58
	Válvula/Compuerta PVC	-	10,99	3	32,97
	Válvula de tres salidas	-	7,83	2	15,66
	Codo de PVC 90 grados	-	0,94	4	3,76
Estanques	Palas/Picos	-	-	-	-
	Alquiler de apisonadora	h	25	5	125
	Lona PVC 0,5 mm	m ²	3,97	780	3096,6
	Bridas	-	0,0034	100	0,34
	Red mallada	m ²	0,94	18	16,92
	Soportes rígidos de PVC para el desbaste	m	1,7	4	6,8
Peces	Alevines de Tilapia	-	0,051	2000	102
	Sacos de alimento (pellets 1, 2, 3 y 5 mm)	kg	0,68	300	204
Mano de obra	Mano de obra personal cualificado	h	20	5	100
	Mano de obra personal no cualificado	-	-	0	0
Otros	Gastos de sustitución e inesperados	-	400	1	400
TOTAL					4303,7 \$

Se supone que se contará con palas y picos para poder llevar a cabo la excavación del estanque, en cuyo defecto sería necesario comprarlas o alquilar maquinaria capaz de excavar, gastos incluidos como imprevisto.

En algunos casos se ha comprado más material del que se precisa debido a que se venden los materiales en lotes de por ejemplo 26x5 m² en el caso de la lona de PVC, que servirá también para disponer de recambio en caso de fallo o rotura de algún material.

Para calcular el presupuesto, se ha utilizado un el precio de los materiales, mano de obra, y precios de los peces tanto de venta como de compra en el mercado español, ya que los precios en Zimbabwe son similares o incluso inferiores, de manera que se obtenga un presupuesto ligeramente superior al real contemplando cualquier variación en los precios.

Los precios aparecen en dólares con cambio de euros, con una equivalencia de 1 € - 0,85 \$ (07/2021).

El coste total del proyecto es de 4.303,7 \$, equivalente a 3.658,15 €.

3.2 VIABILIDAD

De la venta de los peces completamente cultivados, de los que se estima un precio máximo en el mercado de Zimbabue de 4,5 \$ por cada kilo, con un cultivo medio de 400 peces adultos por cosecha, es decir cada 7 u 8 meses una vez que la piscifactoría se encuentra en pleno funcionamiento, se producirían unos ingresos de 1000 \$. Sin embargo, la piscifactoría también se explotará para su autoconsumo, por lo que los ingresos serán proporcionales a las ventas que se decidan realizar de los peces completamente cultivados.

Peces cultivados por cosecha	400
Peso medio de los peces adultos	500 g
Precio de venta	5 \$/kg
Ingresos por etapa de cultivo	1000 \$

Tabla 8. Ingresos por la venta de tilapias

El mantenimiento de la piscifactoría será responsabilidad de los habitantes de la comunidad, por lo que no se precisará de ningún gasto de sueldos para el mantenimiento ni para el cultivo de los peces.

Este es un proyecto de ayuda humanitaria, por lo que más allá de los beneficios que se pueden obtener de la venta de los peces cultivados, contribuirá a educar a la población de Mt. Darwin de manera que se conviertan en una sociedad capaz de autoabastecerse de manera sostenible.

3.2.1 FINANCIACIÓN

La financiación del proyecto se logrará consiguiendo fondos para este y otros proyectos parte del ‘Project Zimbabwe’, por medio de la recaudación con distintos eventos.

Se llevaron a cabo torneos de pádel solidarios donde se aprovechó para realizar la venta de camisetas y pulseras sobrantes de otros años, en los que los premios se consiguieron de manera gratuita por distintos patrocinadores.

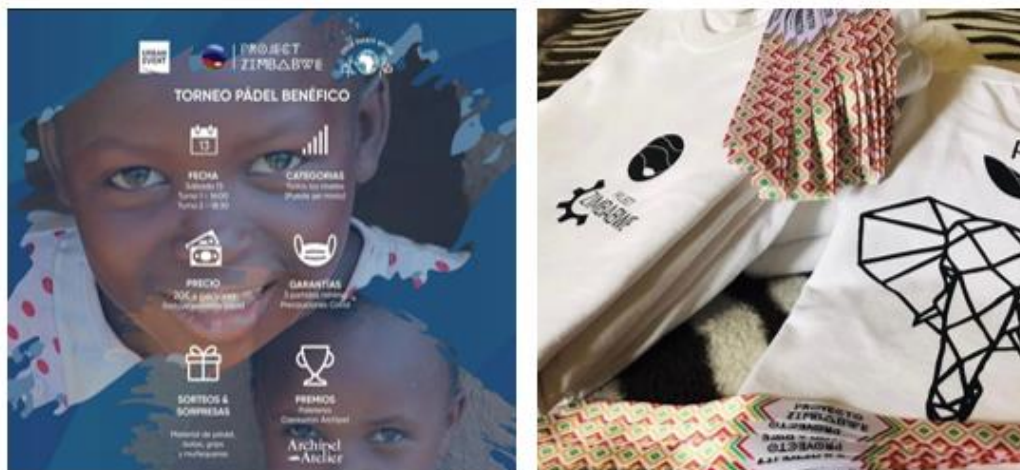


Ilustración 18. Torneo de pádel camisetas y pulseras (Fuente: Instagram project zimbabwe)

Se organizó también una rifa benéfica de distintos productos de diferentes marcas colaboradoras, y se participó también en un concurso de la MUTUA, cuyo premio se dirigiría directamente a la realización de todos los proyectos en el colegio de formación profesional de Dotito en Mt.Darwin.

SORTEO BENÉFICO

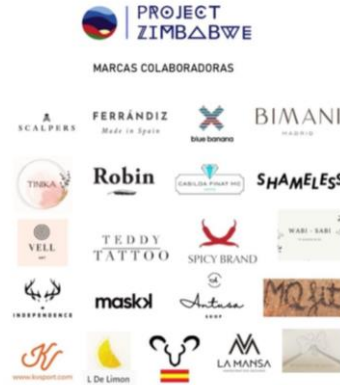


Ilustración 19. Sorteo benéfico (Fuente: Instagram project zimbabwe)

Es por todo ello por lo que la viabilidad de este proyecto está garantizada.

Capítulo 4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Con el desarrollo de este proyecto se pueden concluir dos ideas principales. En primer lugar, la importancia del desarrollo de este proyecto para la ayuda a una población con limitaciones entre otras de educación y alimentación, que será capaz de llevar a cabo un incremento notable en la calidad de vida de las personas que habitan la región.

En segundo lugar, llevar a cabo el proyecto es una operación viable, dado que se trata de un proyecto de ayuda humanitaria cuya financiación se logra por medio de obras solidarias, y una vez construida, la piscifactoría generará ingresos y trabajos para la población de Mount Darwin.

Este proyecto deja abiertas posibilidades para el desarrollo de una comunidad sostenible por medio de la reutilización del agua desechada. Esta agua podrá ser utilizada para proyectos de riego, mediante su canalización y filtrado en caso de que fuera a ser almacenada para su futura utilización.

Para lograr un llenado más rápido de los estanques diseñados, se plantean dos opciones aumentar el tamaño de los tanques de los que se dispone para el sistema de alimentación, o conectar el circuito de alimentación por medio de una bomba a un pozo del que abastecerse.

Por otra parte, se plantea la posibilidad de enfocar un proyecto como es una piscifactoría por medio de un sistema cerrado, contando con la disposición de suministro eléctrico. Este desarrollo se llevaría a cabo por medio de unos estanques o piscinas artificiales elevadas, y un sistema adecuado de bombeo, oxigenación y recirculación con biofiltros como se ha comentado en el capítulo introductorio en este trabajo.

En definitiva, con este proyecto se ha diseñado una piscifactoría sostenible y funcional de manera que con la limitación de recursos existente se consiga disponer de una fuente de alimentación y educación que colaborará con los demás proyectos diseñados por el ‘Project Zimbabwe’ en la formación del colegio de formación profesional de Mount Darwin.

Capítulo 5. BIBLIOGRAFÍA

Dirección General de Comunicación, Diplomacia Pública y Redes (Abril, 2021). *Ficha País Zimbabwe, República de Zimbabwe*. Recuperado de:

http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/Zimbabwe_FICHA%20PAIS.pdf

Ikuska Libros (1997-2013). *Historia de Zimbabwe*. Recuperado de:

<http://www.ikuska.com/Africa/Paises/zimbabwe/historia.htm>

The Heritage Foundation (2021). *2021 Index of Economical Freedom-Zimbabwe*. Recuperado de:

<https://www.heritage.org/index/country/zimbabwe>

Global EDGE-Michigan State University (2021).

<https://globaledge.msu.edu/>

USaid (27/032021). *Zimbabwe*. Recuperado de:

<https://www.usaid.gov/zimbabwe>

One World Nations Online (2021). *_Zimbabwe*. Recuperado de:

<https://www.nationsonline.org/oneworld/zimbabwe.htm>

Eckstein, D., Künzel, V., Schäfer, L. (2021). *Global Climate Risk Index 2021*. Recuperado de:

<https://germanwatch.org/en/19777>

Climate-Data.org (2021). *Mount Darwin Clima _ Zimbabwe*. Recuperado de:

<https://es.climate-data.org/africa/zimbabue/mashonaland-central/mount-darwin-924398/>

CORDIS EU research results, European Commission (17/07/2019). *Making fish farming in eastern Africa's Lake Victoria sustainable*. Recuperado de:

<https://cordis.europa.eu/article/id/125502-making-fish-farming-in-eastern-africas-lake-victoria-sustainable/es>

ONG-AIDA (Diciembre, 2018). *Evaluación final del proyecto: 'Mejora de la Seguridad Alimentaria en la línea transfronteriza entre Guinea-Bissau y Senegal a través de un modelo integrador de huertas comunitarias y acuicultura gestionado por mujeres campesinas'*.

Recuperado de:

https://www.ong-aida.org/wp-content/uploads/2019/03/InformeEvaluacionDEF_AIDA_Xunta2017..pdf

Muwaniri, R. (07/04/2016). *Muunganirwa Fish Project*. Recuperado de:

<http://sustainzim.org/muunganirwa-fish-project/>

CC ONG (2019). *Piscicultura*. Recuperado de:

<http://ccong.ccong.es/proyectos/africa/mali/agricultura/piscicultura-2>

Nkala, I. (05/01/2018). *Unlocking Zimbabwe's pond aquaculture potential*. Recuperado de:

<https://thefishsite.com/articles/unlocking-zimbabwes-pond-aquaculture-potential>

Aquafeed. (12/04/2016). *Launch of the Zimbabwe Fish Producers' Association brings aquaculture into agriculture*. Recuperado de:

<https://www.aquafeed.com/af-article/6564/Launch-of-the-Zimbabwe-Fish-Producers39-Association-brings-aquaculture-into-agriculture/>

Aquatic Network – Resources for Aquaculture & Aquaponics. (s.f.). *Zimbabwe Fish Producers Association (ZFPA)*. Recuperado de:

<https://www.aquanet.com/aquaculture-aquaponics/zimbabwe-fish-producers-association-zfpa>

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., Lovatelli, A. (2014). *Small-scale aquaponic food production*. Recuperado de:

<http://www.fao.org/3/i4021e/i4021e.pdf>

FAO. (2021). *Zimbabwe – FISH4ACP, Unlocking the potential of sustainable fisheries and aquaculture in Africa, the Caribbean and the Pacific*. Recuperado de:

<http://www.fao.org/in-action/fish-4-acp/where-we-work/africa/zimbabwe/es/>

Rakocy, J. (2009). *Oreochromis niloticus*. Recuperado de:

http://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_nile_tilapia.htm

Cowx, I. (2009). *Oncorhynchus mykiss*. Recuperado de:

http://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_rain_bowtrout.htm

Herrera Téllez, J. (2019). *Diseño de instalación de piscicultura*. Recuperado de:

<https://repositorio.comillas.edu/xmlui/>

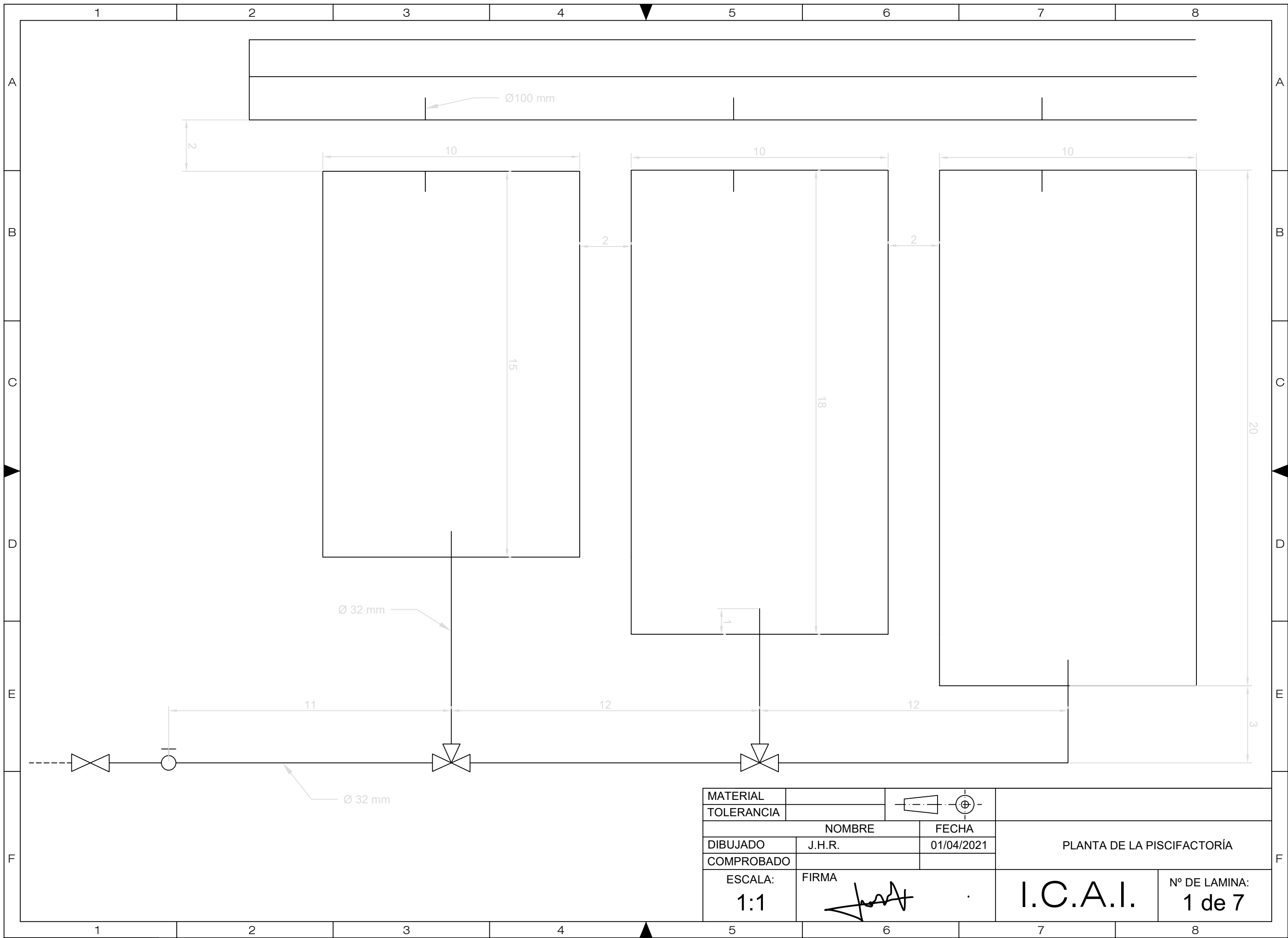
FAO. (s.f.). *Métodos sencillos para la acuicultura*. Recuperado de:

http://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/SPA_MENU.htm

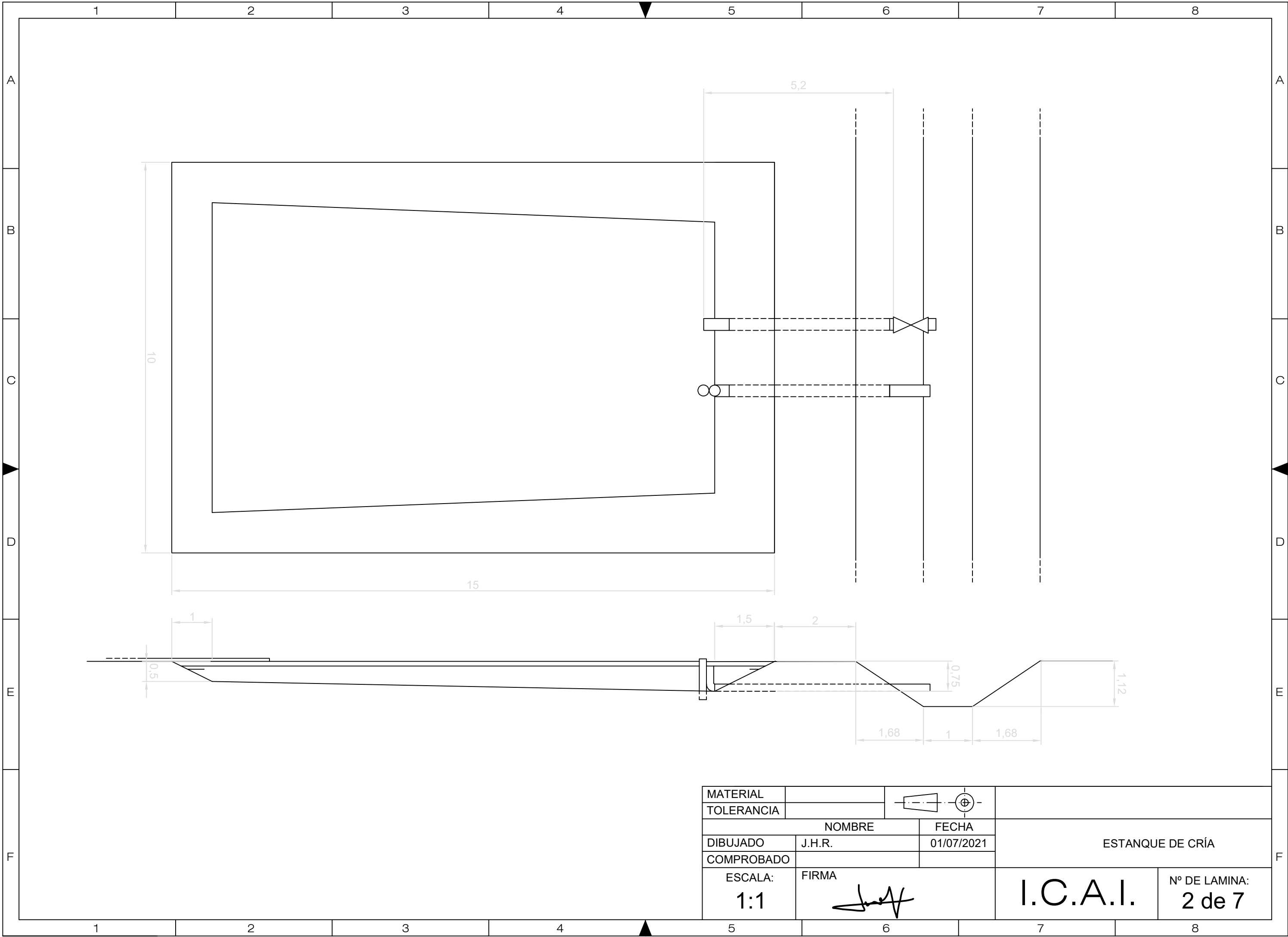
Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá. (2007). *Acuicultura Rural: 'Cría de peces, camarones y moluscos'*. Recuperado de:

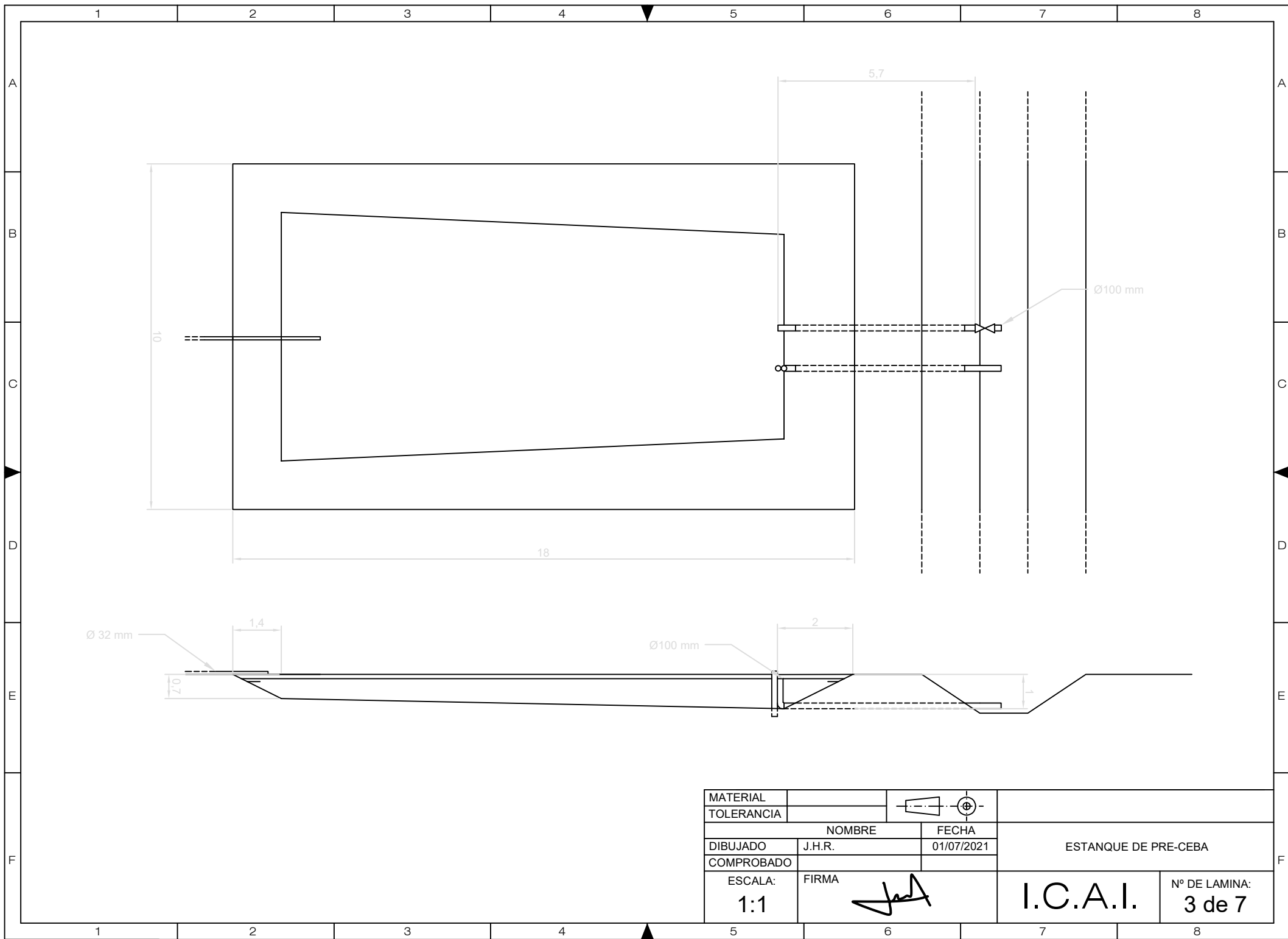
<https://aquadocs.org/handle/1834/8118>

ANEXO I. PLANOS

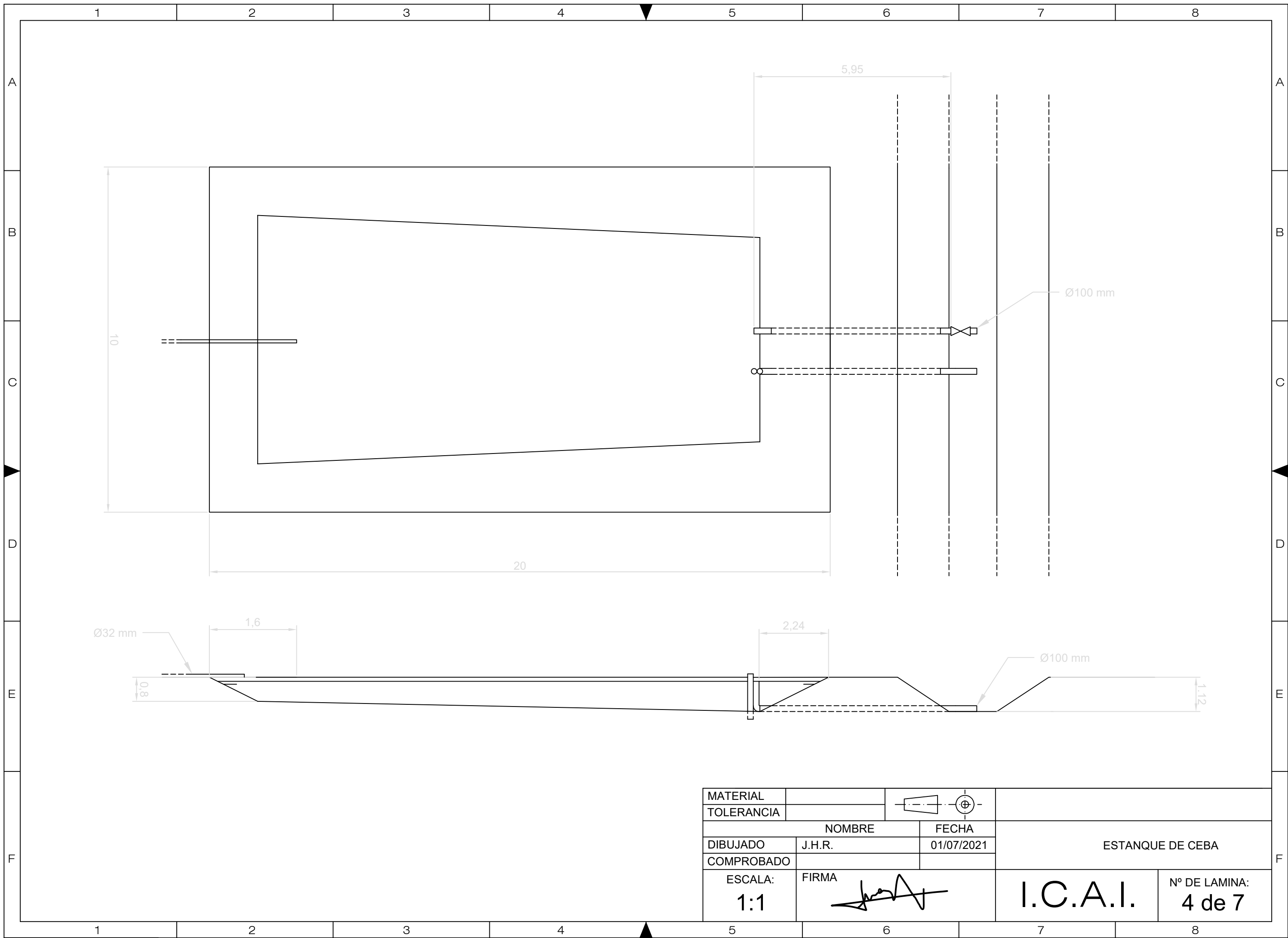


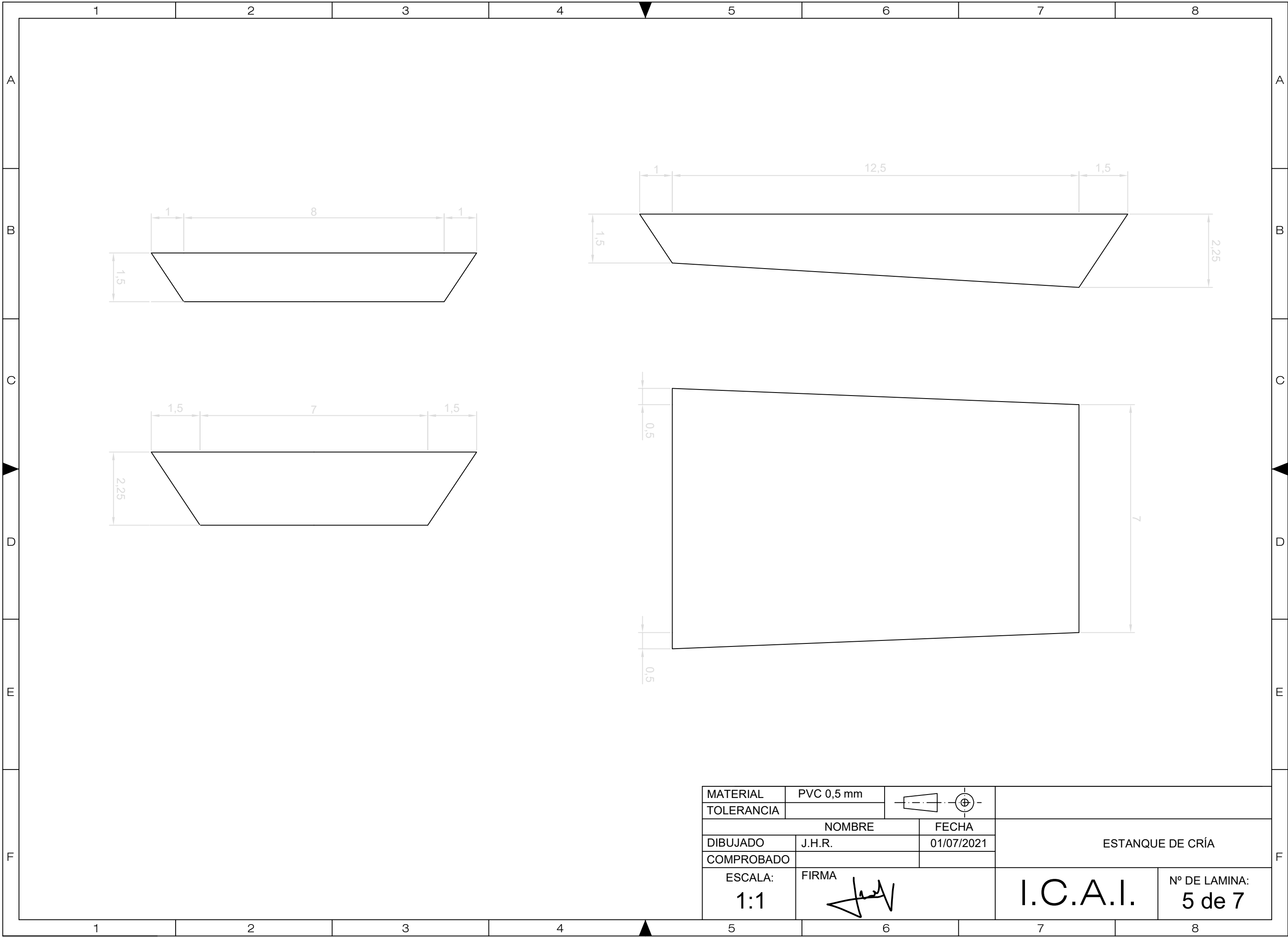
MATERIAL			PLANTA DE LA PISCIFACTORÍA	
TOLERANCIA				
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	I.C.A.I.	
COMPROBADO	J.H.R.	01/04/2021		
ESCALA:	FIRMA		Nº DE LAMINA:	
1:1				
			1 de 7	

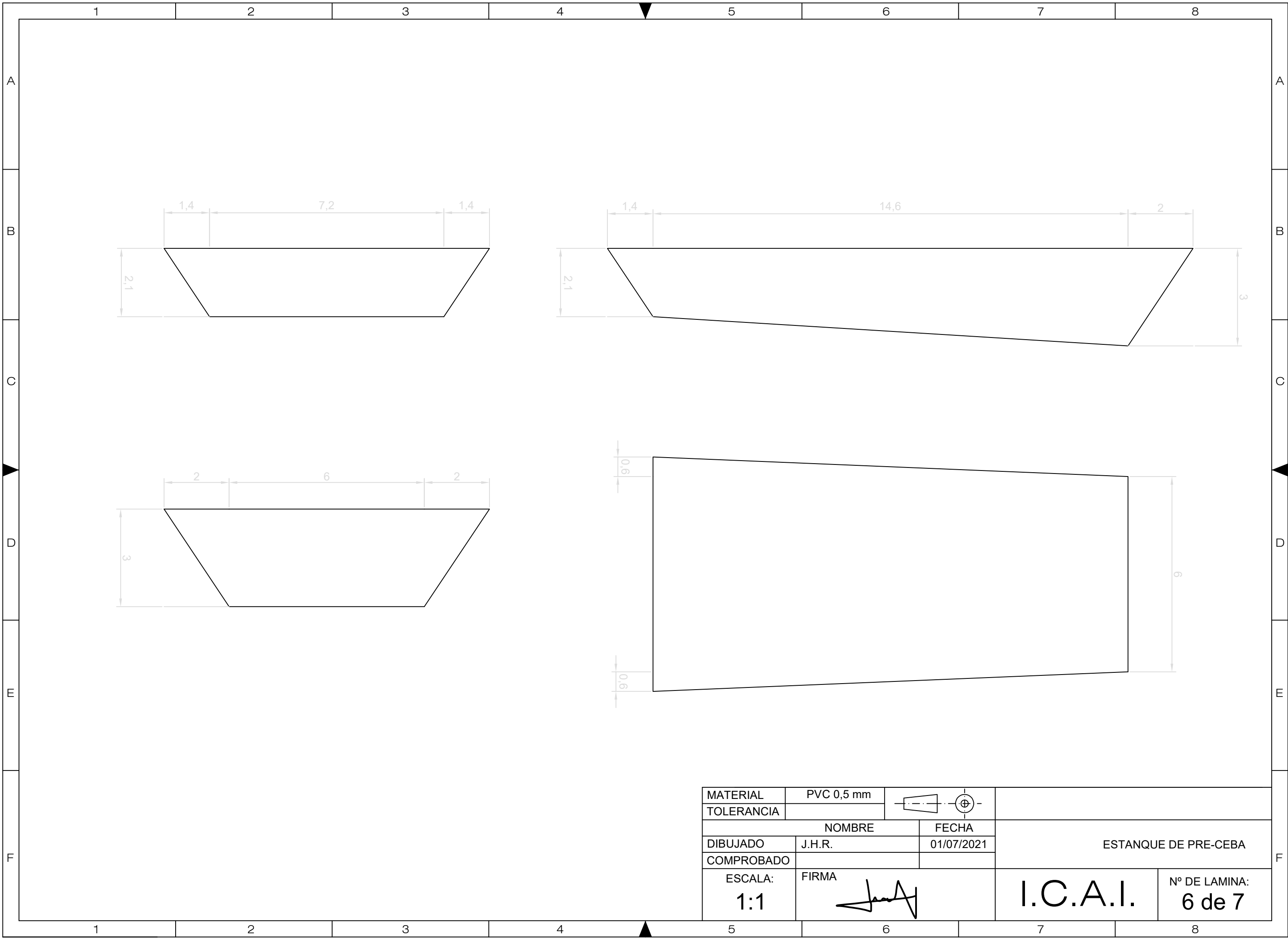


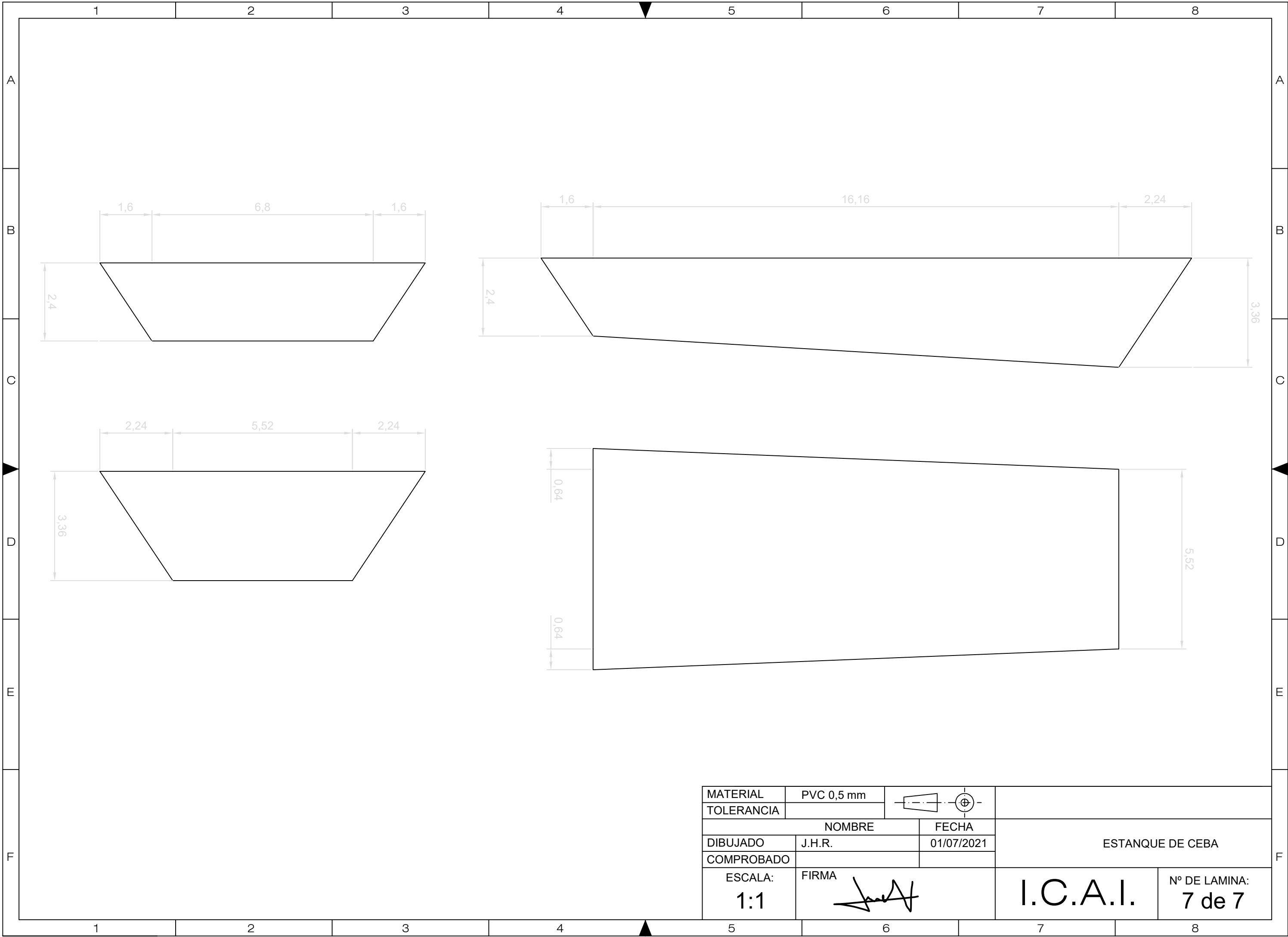


MATERIAL			ESTANQUE DE PRE-CEBA	
TOLERANCIA				
NOMBRE		FECHA	I.C.A.I.	
DIBUJADO	J.H.R.	01/07/2021		
COMPROBADO			Nº DE LAMINA: 3 de 7	
ESCALA: 1:1	FIRMA 			









ANEXO II. TABLAS

5.1 TABLAS DE ALIMENTACIÓN

Tipo de alimento	Talla del pez (g)	Tasa de alimentación (% de biomasa por día)	Tasa de crecimiento (g/día)	Duración de alimentación (semanas)
B-MEG Tilapia				
Pasta para crías	0.01-2.0	15-20	0.02±0.01	
Migajas de Iniciación	2-15	7-10	0.35±0.05	
Pellets de iniciación	16-37	5.9-7	0.47±0.07	
Pellets de Engorda	38-83	4.4-5.8	0.86±0.20	
Pellets de Finalización	91-1,000	1.5-4.1	1.8±0.40	
Vitarich				
Pasta para crías	3-15	6-13		1 - 3
Migajas para crías	22-62	5 - 6		4 - 7
Pellets extruídos para juveniles	77-105	3 - 4		8 - 9
Pellets extruídos para adultos	130-250	2 - 3		10 - 14

Tabla 9. Alimentos recomendados para tilapia. (Fuente: FAO)

Etapa	Rango de peso (g)	Frecuencia de alimentación
Alevín	1-5	6
Cría	5-50	6
Juveniles	50-100	5
Engorde	100-350	5
Engorde	>350	4

Tabla 10. Frecuencia de alimentación según el peso. (Fuente: Hernández et al, 2014)

Tamaño del pez	Tamaño pellet
0,4-0,8 g	1 mm
0,8-2,9 g	1,45 mm
2,9-10 g	1,65 mm
10-40 g	1,8 mm
40-100 g	2 mm
100-400 g	3 mm
>400g	5 mm

Tabla 11. Tamaño del pellet según el peso de la tilapia (Fuente: ONG AIDA, ongaida.org)

5.2 SEXADO DE LOS EJEMPLARES

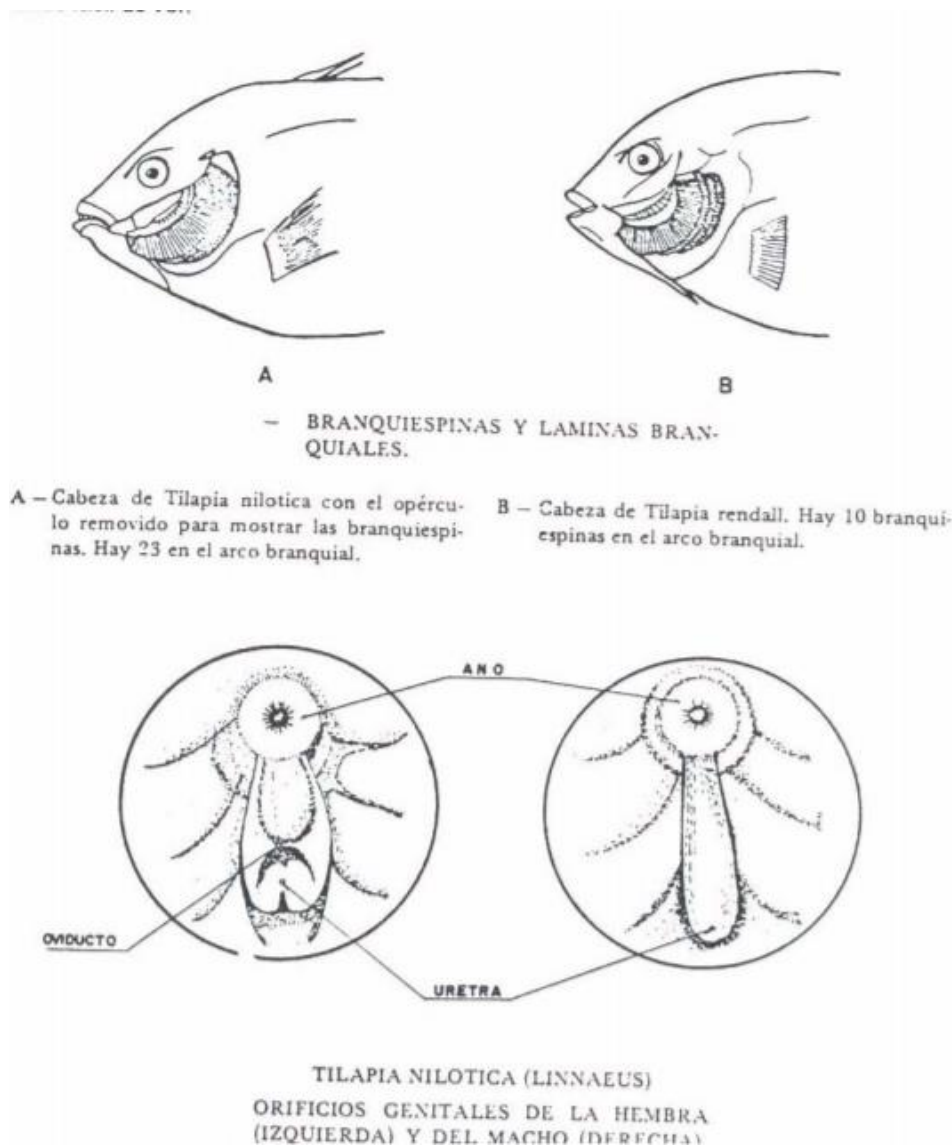


Ilustración 20. Distinciones para el sexado de las tilapias. (Fuente: SEPESCA, 1994)