



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO DE INSTALACIÓN DE PISCICULTURA

Autor: José Herrera Téllez

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Agosto de 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. **José Herrera Téllez**

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: “**DISEÑO DE INSTALACIÓN DE PISCICULTURA**”, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que

podieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a de de

ACEPTA

Fdo.....



Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
“DISEÑO DE INSTALACIÓN DE PISCICULTURA”
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2018/2019 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.: José Herrera Téllez

Fecha: 26/ 08/ 2019

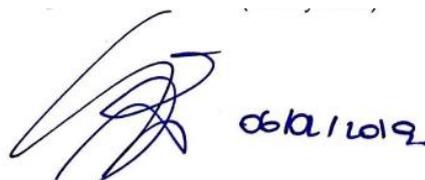


Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Miren Tellería Ajuriaguerra

Fecha: 26/ 08/ 2019





COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO DE INSTALACIÓN DE PISCICULTURA

Autor: José Herrera Téllez

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Agosto de 2019

DISEÑO DE INSTALACIÓN DE PISCICULTURA

Autor: Herrera Téllez, José

Director: Tellería Ajuriaguerra, Miren

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

El proyecto consiste en el diseño de una instalación de piscicultura en fase piloto, que permita comenzar la producción de pescado en una comunidad rural al Norte de Zimbabue, sin que suponga una presión excesiva a los recursos económicos e hídricos de ésta tanto a corto como a largo plazo.

Se estudiará la zona de ejecución del proyecto para desarrollar un modelo de instalación idóneo, así como se recopilarán datos sobre las variables estacionales que puedan afectar al diseño.

Se procederá al dimensionamiento de los principales elementos del circuito cerrado de agua: tanques de cría, decantador, filtro y tanque de bombeo. Se respetará el compromiso entre la producción objetivo y la demanda hídrica.

Se desarrollará un diseño alternativo sin recirculación de agua, en caso de que el sistema de filtrado se vea comprometido por la inconsistencia del acceso a electricidad. Se redimensionará el tanque de cría y engorde. Finalmente se estudiará el aprovechamiento del agua desechada para evitar su malgasto, por ejemplo, usándola como agua de riego, adaptando la instalación para habilitar su uso.

Los modelos de explotación se diferencian principalmente en la utilización de los recursos hídricos disponibles:

- Acuicultura de circuito abierto: Se caracteriza por utilizar cuerpos de agua naturales de gran volumen durante todo el año, desde ríos y lagos a acuíferos, para suministrar un caudal constante a las instalaciones de cría. El agua pasa a través de la instalación una sola vez, para posteriormente volver al cuerpo de agua o ser usada para otros fines (por ejemplo, regadío).
- Acuicultura de circuito cerrado (RAS en inglés): Se intenta minimizar el consumo de agua mediante la introducción de elementos de filtrado en el sistema, que permitan recircular el mismo volumen de agua y mantener unos parámetros adecuados para la producción de pescado, con los mínimos aportes externos de agua al sistema destinados a reponer pérdidas por evaporación y otras causas.

El modelo a emplear dependerá de los condicionantes ambientales, como la estabilidad climatológica, el acceso al agua y la especie objetivo a reproducir, así como de factores económicos como el capital para la inversión inicial o los medios tecnológicos y logísticos disponibles.

El desafío principal al que se enfrenta en el diseño de la instalación es conseguir una instalación de mantenimiento mínimo, fácilmente operable por una persona y duradera. Todo esto con un presupuesto bastante reducido, la mayor cantidad de materiales locales posible y construyendo y poniendo en marcha en un mes, el tiempo dispuesto para realizar el proyecto en Zimbabwe. Mediante el diseño de una instalación de cría y engorde de tilapia (la especie de pez a usar), se intenta proveer de una fuente alternativa de proteínas y otros nutrientes a los habitantes de la zona, especialmente a los niños ya que el pescado contiene nutrientes esenciales para un correcto desarrollo. Dado que el objetivo es poder producir al menos media tonelada al año de pescado (cantidad superior a la que puede consumir un orfanato de máxima capacidad de 20 niños), también busca dotar de autosuficiencia no sólo alimentaria sino también económica. El pescado no consumido puede ser vendido en la comunidad, logrando así una fuente de ingresos extra.

Metodología

Tras calcular las dimensiones iniciales, se calculará el caudal de agua a circular por las diferentes conexiones, tomando como base la tasa de reposición de agua necesaria para mantener los parámetros óptimos (niveles de oxígeno, NH_3 , PH, etc. ...). Se dimensionará la fontanería y con ello se elegirá una bomba “tipo” de dimensiones y potencia adecuadas a las necesidades anteriormente especificadas, o se establecerán los recambios necesarios de agua periódicos en caso de ser de circuito abierto.

Se hará un estudio de viabilidad económica del diseño, pudiendo retocar elementos y materiales de este mientras se respeten los parámetros de producción, como el tipo de drenaje o el medio de filtrado.

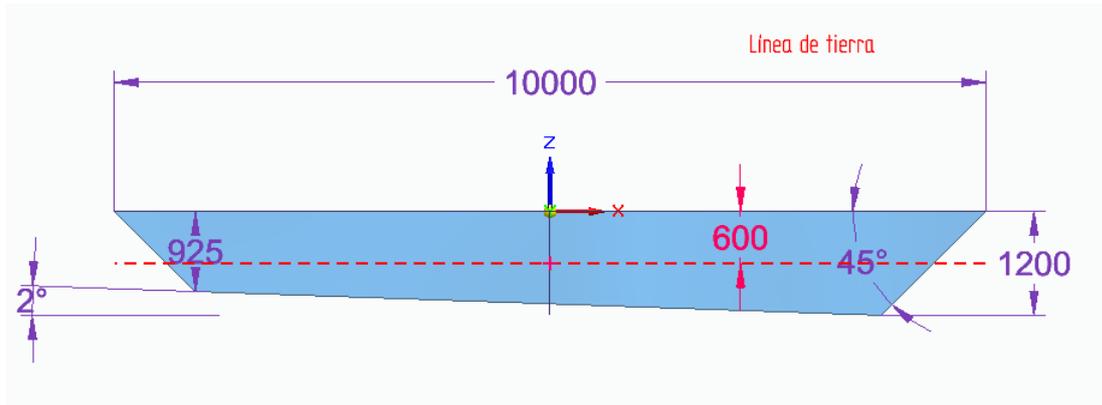
Resultados

Circuito abierto

El diseño de circuito abierto constará de un estanque de engorde y cría de amplias dimensiones, mayores que si fuera un circuito cerrado al no existir la circulación constante de agua y ser menor la oxigenación mecánica. El tanque estará situado en una zona soleada para favorecer el desarrollo del fitoplancton que ejercerá de fuente de oxígeno principal y de alimento base de los peces. El suelo del tanque constará de pendiente para favorecer el drenaje y se realizarán un dique de contención para formar parte de la pared, así no se excavará tanto y la instalación ganará altura para la circulación del agua drenada. La impermeabilización se logrará mediante una lona de PVC, EPDM o goma ajustada al fondo y las paredes del tanque. Se dispondrá de una entrada de agua en altura para facilitar esa aireación mecánica, de 110 mm de diámetro y 3,83 L/s de caudal, y de un sistema de drenaje de 110 mm de diámetro que permita controlar el nivel del agua hasta poder dejarlo completamente seco, para poder realizar desinfecciones después de un ciclo de producción y remover los limos resultantes en el fondo. El drenaje desembocará en un depósito de agua desde el cual se bombeará para su uso en la irrigación del huerto y los campos de cultivo.

El tanque de engorde tendrá una superficie rectangular de 20×10m y la profundidad máxima será de 1,2m en el punto más profundo. La superficie se eligió en base a la densidad de peces de un estanque de circuito abierto y la capacidad de producción objetivo (0,5 toneladas). La profundidad permite una mayor retención de calor del estanque, reduciendo las oscilaciones de temperatura. El volumen total de agua será de 180,52 m³. Las dimensiones de la lona serán de 23×13 m, explicándose la superficie en la sección de cálculos.

El perfil del estanque será el siguiente, con las 4 paredes formando 45° con el fondo:



Circuito cerrado

El diseño está inspirado en los modelos de acuaponía, donde la labor de filtrado recaerá en parte en un bancal relleno de un medio poroso, donde se compaginará el crecimiento de verduras, hortalizas e incluso frutales con el desarrollo de bacterias nitrificantes. Ambas comunidades biológicas usarán simbióticamente los desechos de los peces transportados por el agua a los bancales como nutrientes, depurando el agua que volverá al recinto piscícola. Mediante este método se usa hasta el 10% del agua necesaria para irrigar un cultivo tradicional de vegetales (SOME14).

El volumen del tanque de engorde será de 25 m³ para poder soportar la cantidad límite de producción (0,5 toneladas de pescado) en una situación de inseguridad de la red eléctrica, por más de una hora. El tanque de engorde tendrá una altura total de 0,9 m y un radio de 3 m. El grosor de las paredes del tanque será similar al usado en el proyecto del depósito de agua de Project Zimbabwe del año anterior, reservándose a la disposición de materiales su concreción. El tanque será construido de manera similar también, mediante el uso de ladrillos, hormigón y un refuerzo mallado, como se puede observar en la siguiente ilustración:



El volumen del decantador sería de $2,5 \text{ m}^3$ o menor, contando con que necesitaremos bancales de cultivo rellenos de grava de 5 m^3 , con una superficie de cultivo de 20 m^2 o menor, dependiendo de los vegetales a plantar. La bomba debería ser capaz de movilizar 33.000 l/h , con una potencia de $304,3 \text{ W}$ y el tanque de bombeo debería ser capaz de contener al menos $7,25 \text{ m}^3$ de agua.

Conclusiones

Desde el 8 de julio hasta el 25 de agosto de 2019 se llevó a cabo la implantación del diseño de instalación piloto de piscicultura de circuito abierto en la localización exhibida en el anejo A. Tras la llegada a Harare, capital del Zimbabue, se mantuvo una reunión con el fundador y director de la fundación Child Future Africa, George Seremwe. Se descarta por completo el diseño acuapónico en la ubicación, alegando que no hay limitaciones de volumen de agua ni superficie de terreno disponible para el diseño de circuito abierto y sin embargo bastante problemática con el suministro eléctrico.

El estanque de piscicultura empezó a operar el 25 de agosto de 2019:



PISCICULTURE INSTALLATION DESIGN

Author: Herrera Téllez, José

Director: Tellería Ajuriaguerra, Miren

Collaborating Entity: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

Introduction

The project consists of the design of a fish farming facility in the pilot phase, which will allow fish production to begin in a rural community in northern Zimbabwe, without it posing excessive pressure on the fish and water resources of this both in the short and long-term.

The project execution area will be studied to develop an ideal installation model, as well as data on seasonal variables that may affect the design.

The main elements of the closed water circuit will be sized: fattening tank, decanter, filter and pumping tank. The compromise between target production and water demand will be respected.

An alternative design without water recirculation will be developed, in case the filtration system is compromised by the inconsistency of access to electricity. The breeding and fattening tank will be resized. Finally, the use of discarded water will be studied to avoid wasting, for example, using it as irrigation water, adapting the facility to enable its use.

The operating models differ mainly in the use of available water resources:

- Open-circuit aquaculture: It is characterized by using natural bodies of water of high volume throughout the year, from rivers and lakes to aquifers, to provide a constant flow to the breeding facilities. Water passes through the facility only once, then return to the body of water or be used for other purposes (e.g. irrigation).
- Closed-circuit aquaculture (RAS): An attempt is made to minimize water consumption by introducing filter elements into the system, which allow the same volume of water to be recirculated and suitable parameters for fish production maintained, with minimal external water inputs to the system intended to replenish evaporation losses and other causes.

The model to be used will depend on environmental conditions, such as climate stability, access to water and the target species to be reproduced, as well as economic factors such as capital for initial investment or technological means and available logistics.

The main challenge you face in the design of the facility is to achieve a minimal maintenance facility, easily operable by one person and durable. All this with a fairly small budget, as many local materials as possible and building and putting in place in a month, the time ready to carry out the project in Zimbabwe. By designing a tilapia breeding and fattening facility (the species of fish to use), an attempt is made to provide an alternative source of protein and other nutrients to the inhabitants of the area, especially children as the fish contains essential nutrients for proper development. Since the goal is to be able to produce at least half a tonne of fish a year (more than that which can be consumed by an orphanage with a maximum capacity of 20 children), it also seeks to provide self-sufficiency not only food but also economic. Unconsumed fish can be sold in the community, thus achieving an extra source of income.

Methodology

After calculating the initial dimensions, the water flow to be circulated by the different connections will be calculated, based on the water replenishment rate necessary to maintain the optimal parameters (oxygen levels, NH_3 , PH, etc. ...). The plumbing will be sized and this will choose a "type" pump of dimensions and power appropriate to the above-specified needs, or the necessary periodic water spare parts will be established if it is open circuit.

An economic feasibility study of the design will be made, being able to retouch elements and materials of this while respecting the production parameters, such as the type of drainage or the filtering medium.

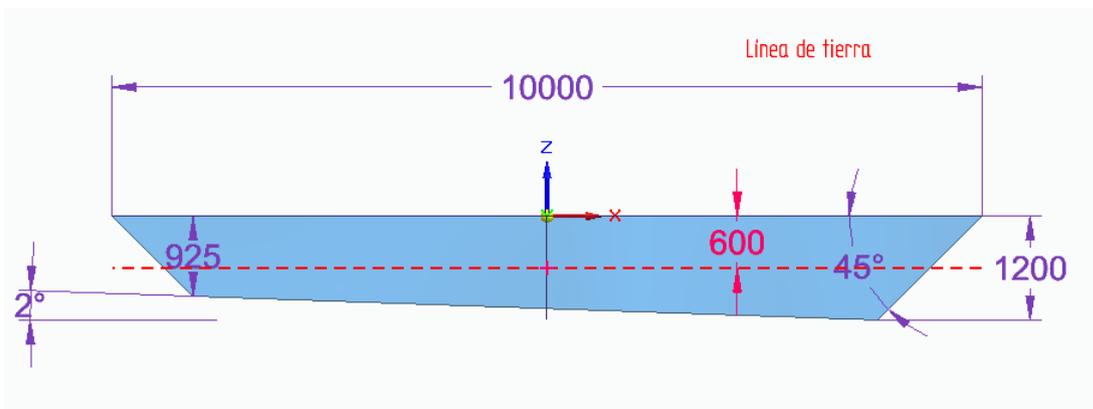
Results

Open circuit

The open circuit design will consist of a large fattening and breeding pond, larger than if it were a closed circuit in the absence of constant water circulation and less mechanical oxygenation. The tank will be located in a sunny area to promote the development of phytoplankton which will act as the main oxygen source and fish base feed. The floor of the tank will consist of slope to favor drainage and a containment dam will be made to form part of the wall, so that not so much will be dug and the installation will gain height for the circulation of the drained water. Waterproofing will be achieved by a PVC, EPDM or rubber liner at the bottom and walls of the tank. A water inlet shall be available in height to facilitate this mechanical aeration, 110 mm in diameter and 3.83 L/s of flow, and a drainage system of 110 mm in diameter that allows to control the water level until it can be completely dry, to be able to perform deinfections after a production cycle and remove the resulting sands in the background. The drainage will lead to a water reservoir from which it will be pumped for use in the irrigation of the orchard and farm fields.

The fattening tank will have a rectangular surface of 20 x 10m and the maximum depth will be 1.2m at the deepest point. The surface was chosen based on the fish density of an open-circuit pond and the target production capacity (0.5 tonnes). The depth allows for greater heat retention of the pond, reducing temperature fluctuations. The total volume of water will be 180.52 m^3 . The dimensions of the canvas will be 23-13 m, explaining the surface in the calculations section.

The profile of the pond will be as follows, with the 4 walls forming 45° with the background:



Closed circuit

The design is inspired by the models of aquaponics, where the filtering work will fall partly on a media bed filled with a porous environment, where the growth of vegetables, vegetables and even fruit with the development of nitrifican bacteria will be combined. Both biological communities will symbiotically use the waste of fish transported by water to the terraces as nutrients, purifying the water that will return to the fishery enclosure. This method uses up to 10% of the water needed to irrigate a traditional vegetable crop (SOME14).

The volume of the fattening tank will be 25 m³ to be able to withstand the limit amount of production (0.5 tons of fish) in a situation of insecurity of the electricity grid, for more than an hour. The fattening tank shall have a total height of 0.9 m and a radius of 3 m. The thickness of the tank walls will be like that used in Project Zimbabwe water tank the previous year, with its concreteness being used. The tank will be built similarly as well, using bricks, concrete and a mesh reinforcement, as can be seen in the following illustration:



The volume of the decanter would be 2.5 m³ or less, with the need for cultivation terraces filled with gravel of 5 m³, with a growing area of 20 m² or less, depending on the

vegetables to be planted. The pump should be able to mobilize 33,000 l/h, with a power of 304.3 W and the pumping tank should be able to contain at least 7.25 m³ of water.

Conclusions

From 8 July to 25 August 2019, the design of the pilot installation of open-circuit fish farming was implemented at the location exhibited in annex A. After the arrival in Harare, capital of Zimbabwe, a meeting was held with the founder and director of the Child Future Africa Foundation, George Seremwe. The aquaponic design at the location is completely discarded, claiming that there are no water volume or ground surface limitations available for open circuit design and yet quite problematic with the power supply.

The fish farming pond began operations on 25 August 2019:



DOCUMENTO N°1, MEMORIA

ESTE PROYECTO CONTIENE LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS

Documento nº1, Memoria

1.1 Memoria	pág. 5 a 33	28 páginas
1.2 Cálculos	pág. 35 a 54	19 páginas
1.3 Impacto ambiental	pág. 55 a 61	6 páginas
1.4 Anejos	pág. 63 a 73	10 páginas

Documento nº2, Presupuesto

4.1 Presupuesto General	pág. 77 a 83	6 páginas
-------------------------	--------------	-----------

Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1. LOCALIZACIÓN DE CFA. FUENTE: PROPIA. RECURSO: GOOGLE MAPS.....	10
ILUSTRACIÓN 2. LOCALIZACIÓN FUTURA DE LA INSTALACIÓN EN CFA. FUENTE: PROPIA. RECURSO: GOOGLE MAPS.....	12
ILUSTRACIÓN 3. TILAPIA DE MOZAMBIQUE. FUENTE: IUCN RED LIST.....	14
ILUSTRACIÓN 4. TILAPIA DEL NILO. FUENTE: FAO	14
ILUSTRACIÓN 5. PRINCIPALES TIPOS DE INSTALACIÓN DE ACUICULTURA. FUENTE: GGN ACUICULTURA CERTIFICADA.....	16
ILUSTRACIÓN 6. INSTALACIÓN DE VERMI-ACUAPONIA Y PRODUCTOS. FUENTE: HARARE INSTITUTE OF TECHNOLOGY Y SHIFT ORGANIC TECHNOLOGIES.....	17
ILUSTRACIÓN 7. PERFIL DEL VOLUMEN DE AGUA DEL ESTANQUE. FUENTE: PROPIA. RECURSO: SOLIDEDGE.....	20
ILUSTRACIÓN 8. TERMINACIONES DE ALIMENTACIÓN DE ESTANQUES (EN 90º, 90º CON PERFORACIONES O CANALETA HORIZONTAL PERFORADA). FUENTE: FAO	22
ILUSTRACIÓN 9. EJEMPLO DE MONJE DE HORMIGÓN, SIN LAS TABLAS QUE MARCAN EL NIVEL MÁXIMO DE AGUA. FUENTE: FAO	23
ILUSTRACIÓN 10. DRENAJE DE TUBERÍA FLEXIBLE CON GUÍA. FUENTE: FAO	24
ILUSTRACIÓN 11. INSTALACIÓN ACUAPÓNICA DE BANCALES. FUENTE: FAO	26
ILUSTRACIÓN 12. CONSTRUCCIÓN DEL DEPÓSITO DE AGUA DEL AÑO ANTERIOR. FUENTE: PROJECT ZIMBABWE	27
ILUSTRACIÓN 13. TANQUE DE PISCICULTURA CON DRENAJE DE SIFÓN, FUNCIONANDO POR GRAVEDAD. FUENTE: PISCICULTURA CABELE MELO.....	28
ILUSTRACIÓN 14. DECANTADOR CON FLUJO TANGENCIAL. FUENTE: FAO	28
ILUSTRACIÓN 15. ESQUEMA DE UN SIFÓN DE CAMPANA. FUENTE: WIKIHOW	29
ILUSTRACIÓN 16. CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL MODELO DEL ESTANQUE. FUENTE:PROPIA. RECURSO: SOLIDEDGE	40
ILUSTRACIÓN 17. DIAGRAMA DE MOODY. FUENTE: WIKIPEDIA	46
ILUSTRACIÓN 18. REPRESENTACIÓN RELACIÓN VOLUMEN TANQUE- CAUDAL DE LA BOMBA. FUENTE: PROPIA. DATOS: FAO	51
ILUSTRACIÓN 19. REPARTO DE LAS FUENTES DE ENERGÍA EN ZIMBABUE. FUENTE: ENERGOPEDIA.....	60
ILUSTRACIÓN 20. DRENAJE EN T, CON OPCIÓN DE MANTENER EL NIVEL MÁXIMO DE AGUA O VACIAR EL ESTANQUE. FUENTE: FISH ACADEMY	69
ILUSTRACIÓN 21. EXCAVACIÓN DEL TERRENO AL 50% DEL PROGRESO. NÓTESE LA SUPERFICIE DESPEJADA QUE MARCA EL PERÍMETRO DEL ESTANQUE.	70
ILUSTRACIÓN 22. INUNDACIÓN DEL FONDO DEL ESTANQUE PARA APISONAR EL TERRENO.....	71
ILUSTRACIÓN 23. COMIENZO DEL MARGEN DESPEJADO EN EL PERÍMETRO PARA CAVAR LA ZANJA DE LA TUBERÍA DE DRENAJE. EL FONDO DEL ESTANQUE YA SE ENCUENTRA APISONADO.	71
ILUSTRACIÓN 24. ZANJA DE 30 CM EN EL TERRENO PARA LAS CONEXIONES DEL DRENAJE CON EL DEPÓSITO EN LOS CAMPOS DE CULTIVO. EL MISMO PROCEDIMIENTO SERÁ USADO PARA INSTALAR LA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN.	72
ILUSTRACIÓN 25. LLENADO INICIAL DE LA PISCINA. OBSÉRVESE COMO LA CAPA DE TIERRA DESTINADA A PROTEGER DE RAYOS UV A LA LONA SE RETIRA CONFORME SE VIERTE EL AGUA Y UNA PARTE DE LA LONA SE DESPRENDE.....	73
ILUSTRACIÓN 26. PROYECTO DE INSTALACIÓN DE PISCICULTURA FINALIZADO.....	73

Índice de tablas

TABLA 1. TABLA CLIMÁTICA HISTÓRICA DE MOUNT DARWIN. FUENTE: CLIMATE DATA	11
--	----

TABLA 2. COMPARATIVA CUALITATIVA DE LOS TIPOS DE LONAS COMERCIALES. FUENTE: PROPIA (DATOS DE POND INFORMER)	21
TABLA 3. CRONOGRAMA DE TAREAS	33
TABLA 4. DIMENSIONES NORMALIZADAS EN TUBOS PARA APLICACIONES DE LÁMINA LIBRE. FUENTE: ARÍSTEGUI MAQUINARIA	43
TABLA 5. PARÁMETROS Y PROPORCIONES DE DISEÑO EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS. FUENTE: FAO.....	50
TABLA 6. PLANIFICACIÓN INICIAL DE TAREAS Y REALIZACIÓN FINAL. FUENTE: PROPIA	69

CAPÍTULO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

Índice

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Planteamiento inicial	9
1.2 Condiciones ambientales de la futura instalación	10
1.3 Selección de la especie de cultivo objetivo	12
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	15
2.1 Diseños generales	15
2.2 Caso particular local: Modelo vermi-acuapónico de Clive Nyapokoto	16
3. MOTIVACIÓN	17
4. OBJETIVOS.....	18
5. DISEÑOS	19
5.1 Diseño de circuito abierto.....	19
5.1.1 Dimensiones	19
5.1.2 Geometría del estanque	20
5.1.3 Impermeabilización.....	20
5.1.4 Entrada de agua	22
5.1.5 Drenaje	23
5.2 Diseño de circuito cerrado	24
5.2.1 Dimensiones	26
5.2.2 Tanque de engorde	26
5.2.3 Sistema de decantación	28
5.2.4 Bancales de cultivo/biofiltro	29
5.2.5 Tanque de homogenización y bombeo	30
6. COMPLEMENTOS ALTERNATIVOS	30
6.1 Drenaje de fertilizante	30
6.2 Instalación de vermicultura adyacente	31
6.3 Biodigestor	31
7. RECURSOS A EMPLEAR	31
8. METODOLOGÍA DE TRABAJO	32
9. ESTUDIO ECONÓMICO	33

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento inicial

El proyecto consiste en el diseño de una instalación de piscicultura en fase piloto, que permita comenzar la producción de pescado en una comunidad rural al Norte de Zimbabue, sin que suponga una presión excesiva a los recursos económicos e hídricos de ésta tanto a corto como a largo plazo.

Se estudiará la zona de ejecución del proyecto para desarrollar un modelo de instalación idóneo, así como se recopilarán datos sobre las variables estacionales que puedan afectar al diseño.

Se procederá al dimensionamiento de los principales elementos del circuito cerrado de agua: tanques de cría, decantador, filtro y tanque de bombeo. Se respetará el compromiso entre la producción objetivo y la demanda hídrica.

Se desarrollará un diseño alternativo sin recirculación de agua, en caso de que el sistema de filtrado se vea comprometido por la inconsistencia del acceso a electricidad. Se redimensionará el tanque de cría y engorde. Finalmente se estudiará el aprovechamiento del agua desechada para evitar su malgasto, por ejemplo usándola como agua de riego, adaptando la instalación para habilitar su uso.

Tras calcular las dimensiones iniciales, se calculará el caudal de agua a circular por las diferentes conexiones, tomando como base la tasa de reposición de agua necesaria para mantener los parámetros óptimos (niveles de oxígeno, NH_3 , PH, etc. ...). Se dimensionará la fontanería y con ello se elegirá una bomba "tipo" de dimensiones y potencia adecuadas a las necesidades anteriormente especificadas, o se establecerán los recambios necesarios de agua periódicos en caso de ser de circuito abierto.

Se hará un estudio de viabilidad económica del diseño, pudiendo retocar elementos y materiales de este mientras se respeten los parámetros de producción, como el tipo de drenaje o el medio de filtrado. Se estudiará el uso de alimentos comerciales para el engorde y cría, o su sustitución por métodos de alimentación extensivos o de origen casero (véase fertilización de los estanques de cría o alimentación con subproductos vegetales).

El proyecto se implantará a lo largo del verano de 2019 en la comunidad, incluyendo un manual de operación. La existencia de diseños alternativos permitirá conseguir la instalación más adecuada a las condiciones ambientales en su localización definitiva, así como margen de maniobra en caso de imprevistos.

1.2 Condiciones ambientales de la futura instalación

La instalación de piscicultura planteada en este proyecto será construida en los terrenos del orfanato de *Child Future Africa*, una organización voluntaria privada fundada en 2002 con el objetivo de ayudar a niños huérfanos y en situación vulnerable (el 47% de la población de Zimbabwe está comprendida por niños menores de 15 años; de estos 1 de cada 3 ha quedado huérfano, principalmente a causa de la epidemia de VIH) en los alrededores de Mount Darwin, ofreciendo un entorno familiar que satisfaga sus necesidades básicas, además de asegurarles educación con el objetivo de mejorar sus perspectivas de futuro¹.

El orfanato se encuentra cerca de Mount Darwin, población al norte de Zimbabwe perteneciente a la provincia de Mashonaland Central. Está a aproximadamente 2 horas de la capital, Harare, de donde procederán los materiales necesarios para la construcción. En la siguiente ilustración se puede observar la ubicación exacta.



Ilustración 1. Localización de CFA. Fuente: Propia. Recurso: Google Maps

¹ <http://childfutureafrica.org/>

Zimbabue es un país africano situado en el hemisferio sur, compartiendo frontera al norte con Zambia, al este con Mozambique, al sur con Sudáfrica y al oeste con Botsuana. Carece de costa y sus principales masas de agua se sitúan en la frontera con Zambia: el río Zambezi y el lago Kariba; que causan la dificultad de acceso a la mayoría de la población a un suministro constante de pescado.

El clima del país es subtropical, pues pese a estar situado en una región tropical tiene una elevación media sobre el nivel del mar alta, con dos estaciones distinguibles: la estación seca desde mayo hasta octubre, con temperaturas diurnas en Mount Darwin en torno a los 24 °C y nocturnas de hasta 6 °C, y la estación húmeda de noviembre a abril, con temperaturas diurnas en Mount Darwin de hasta 31 °C y nocturnas en torno a los 18 °C. Las precipitaciones varían desde los 210mm mensuales registrados de media en enero a los 0mm en julio y agosto².

Tabla 1. Tabla climática histórica de Mount Darwin. Fuente: Climate Data

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temp med. (°C)	22.9	22.7	22	20.3	17.4	14.9	14.6	16.7	20.1	23.4	23.8	23.3
Temp min. (°C)	18.1	17.9	16.3	13.7	9.5	6.4	5.8	7.8	11.7	15.8	17.6	18
Temp máx. (°C)	27.8	27.6	27.7	26.9	25.3	23.5	23.4	25.6	28.6	31	30	28.6
Temp. med. (°F)	73.2	72.9	71.6	68.5	63.3	58.8	58.3	62.1	68.2	74.1	74.8	73.9
Temp. min. (°F)	64.6	64.2	61.3	56.7	49.1	43.5	42.4	46.0	53.1	60.4	63.7	64.4
Temp. máx. (°F)	82.0	81.7	81.9	80.4	77.5	74.3	74.1	78.1	83.5	87.8	86.0	83.5
Precip. (mm)	210	178	92	25	5	2	0	0	2	11	72	184

El conocimiento de las variaciones de temperatura permitirá diseñar los estanques con el volumen y profundidad suficiente como para conservar calor y no caer su temperatura por debajo de unos 13 °C (en caso de utilizar la tilapia del Nilo como especie de cultivo, en vez de la autóctona tilapia de Mozambique). La distribución de las precipitaciones ayudará a controlar el acceso a agua estacional y a calcular los caudales mínimos del sistema de drenaje en la estación húmeda.

La localización exacta donde se implantará la instalación será en una parcela a aproximadamente 400m del orfanato, de donde provendría el suministro eléctrico, así como a 290m cuesta abajo de un tanque de almacenamiento de agua de irrigación de 40 m³ previamente desarrollado en un proyecto del año pasado, que puede ser usado como depósito de agua de emergencia en caso de fallo eléctrico (el desnivel

² <https://es.climate-data.org/africa/zimbabue/mashonaland-central/mount-darwin-924398/>

permitiría circular el agua por gravedad). Esta parcela es colindante con una pocilga de cerdos, un huerto de hortalizas y 5 ha de cultivo de trigo (cultivo de regadío durante la estación seca). Ello facilitará su operación por el trabajador de las instalaciones agropecuarias, así como las sinergias que se quieran desarrollar entre las explotaciones. En la siguiente ilustración se detalla la localización sobre el terreno.



Ilustración 2. Localización futura de la instalación en CFA. Fuente: Propia. Recurso: Google Maps

1.3 Selección de la especie de cultivo objetivo

Atendiendo a las condiciones ambientales, específicamente el clima subtropical, la falta de recursos económicos y el espacio disponible, la selección de una especie piscícola deberá responder a las siguientes exigencias:

- Ser de agua dulce.
- Tolerar amplios rangos de temperatura, específicamente entre los 13-28 ° C, con tendencia hacia más altas temperaturas.
- Tolerar altas densidades de cultivo.
- Amplia tolerancia de parámetros del agua como niveles de oxígeno disuelto,

PH, alcalinidad, dureza total y niveles de nitritos y nitratos.

- Buena capacidad reproductiva, con pocas exigencias específicas que faciliten la repetición de ciclos de producción sin tomar excesivas precauciones.
- Crecimiento y madurez sexual rápidos que permitan completar ciclos de producción en un periodo anual, incluso llevarlo al completo durante la estación favorable (húmeda). En la estación seca se entendería una ralentización de la producción.
- Dieta omnívora, que facilite el acceso a dietas comerciales asequibles, así como a otros recursos alimenticios naturales o procedentes de desechos agropecuarios o del consumo humano.
- Fácil acceso en el mercado local ya sea por ser una especie autóctona o ya implantada en alguna instalación comercial, que permita la adquisición inicial, reponer stock en caso de catástrofe, consultar a otros productores locales en busca de asesoramiento y posteriormente asegurar que tiene salida comercial.

Teniendo todos estos condicionantes en cuenta, el espectro de especies se reduce al uso de carpas comunes (principalmente herbívoras, de gran tamaño, pero alóctonas y con poca implantación comercial en el país) y tilapias: preferiblemente la tilapia del Nilo por su tamaño de comercialización de 500g y la facilidad y rapidez con la que lo alcanza (mínimo 6 meses), o la tilapia de Mozambique como especie autóctona y de fácil producción³.

Premiando el carácter más versátil y comercial, se optará por diseñar la instalación para la producción de cualquiera de las 2 especies de Tilapia, al tener requerimientos muy similares. En el apartado de anejos se detallará sus condiciones de producción y características.

³ <https://thefishsite.com/articles/zimbabwe-embarks-on-ambitious-tilapia-programme>



Ilustración 3. Tilapia de Mozambique. Fuente: IUCN Red List



Figura 2. Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Talla comercial producida en el Complejo de Granjas Kumah, Kumasi, Ghana (cortesía de FAO/Mohammad R. Hasan) (izquierda) y filetes de tilapia del Nilo producidos por Lake Harvest, Zimbabue (fuente: Lake Harvest) (derecha)

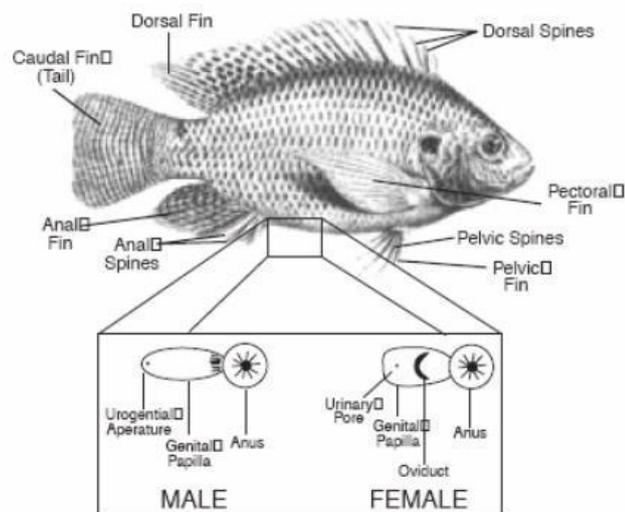


Figura 3. Dimorfismo sexual en la tilapia del Nilo (fuente: Popma y Masser, 1999)

Ilustración 4. Tilapia del Nilo. Fuente: FAO

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 Diseños generales

Las instalaciones de piscicultura llevan permitiendo la cría artificial de peces para el consumo humano desde la Edad Antigua, datando las primeras del año 4.000 AC en China⁴, pero extendiéndose a varias culturas euroasiáticas y americanas.

Aunque en un principio los estanques de cría se empleaban aprovechando el paso de cauces fluviales para el engorde de especies propias de esos mismos cauces, hoy en día la piscicultura se desarrolla desde en pequeñas instalaciones tradicionales con pocos medios técnicos, análogas a sus predecesoras, hasta en piscifactorías industriales deslocalizadas en cualquier punto geográfico, con un férreo control de los parámetros ambientales y los tiempos de reproducción y engorde.

Los modelos de explotación se diferencian principalmente en la utilización de los recursos hídricos disponibles:

- Acuicultura de circuito abierto: Se caracteriza por utilizar cuerpos de agua naturales de gran volumen durante todo el año, desde ríos y lagos a acuíferos, para suministrar un caudal constante a las instalaciones de cría. El agua pasa a través de la instalación una sola vez, para posteriormente volver al cuerpo de agua o ser usada para otros fines (por ejemplo, regadío).
- Acuicultura de circuito cerrado (RAS en inglés): Se intenta minimizar el consumo de agua mediante la introducción de elementos de filtrado en el sistema, que permitan recircular el mismo volumen de agua y mantener unos parámetros adecuados para la producción de pescado, con los mínimos aportes externos de agua al sistema destinados a reponer pérdidas por evaporación y otras causas.

El modelo a emplear dependerá de los condicionantes ambientales, como la estabilidad climatológica, el acceso al agua y la especie objetivo a reproducir, así como de factores económicos como el capital para la inversión inicial o los medios tecnológicos y logísticos disponibles.

⁴ *Historia de la acuicultura FAO*

https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/archivos/000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/170424_Historia%20de%20la%20Acuicultura%20FAO.pdf

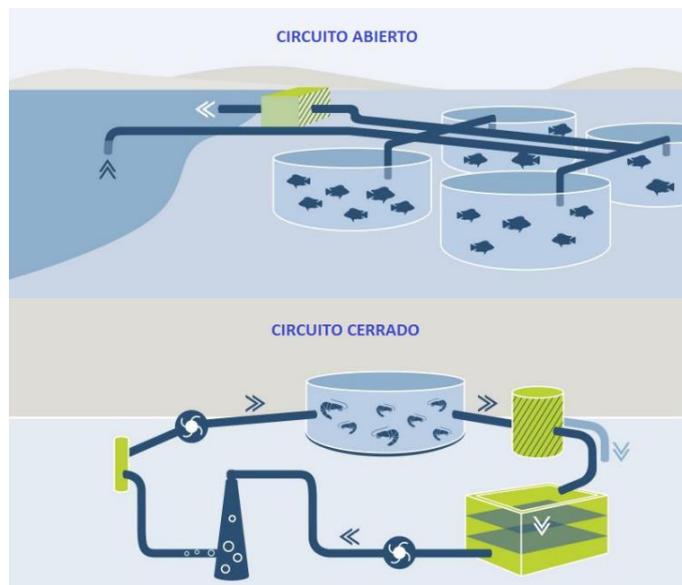


Ilustración 5. Principales tipos de instalación de acuicultura. Fuente: GGN Acuicultura Certificada

2.2 Caso particular local: Modelo vermi-acuapónico de Clive Nyapokoto

Un modelo de exitosa implantación reciente en Zimbabwe, galardonado con varios premios como el *Energy Global Award* de Sudáfrica o el primer puesto en el *Zimbabwe ICT Innovation Fund Showcase*, el sistema desarrollado por Clive Nyapokoto reúne varias disciplinas agropecuarias con relaciones sinérgicas entre sí.

Es un modelo de explotación mixto de piscicultura, vermicultura (crianza de lombrices de tierra), agricultura hidropónica y ganadería avícola con aprovechamiento de residuos orgánicos del hogar. Todos ellos con una monitorización exhaustiva de los parámetros mediante ICTs (*Information and Communication Technologies*, o Tecnologías de la Información y Comunicaciones) con conexión a internet, posibilitando incluso el control remoto de la alimentación de los peces, la activación o desactivación de las bombas sumergibles, etc.

El sistema recicla el estiércol aviar, los desechos vegetales y del hogar en la compostera donde se crían las lombrices de tierra, consiguiendo así compost como fertilizante por un lado y lombrices que sirven de alimento a peces y aves. Los vegetales son cultivados en camas de medio inerte que actúan de filtro biológico y mecánico del agua de los estanques de piscicultura, aprovechando los desechos de los peces como nutrientes. Todo ello en un espacio más reducido y con un 10% del uso de agua que lo necesario por métodos tradicionales.

La complejidad de las interacciones ha permitido añadir a la tradicional producción avícola a pequeña escala de la zona hasta ahora pepinos, tomates, peces e incluso mejorar las prestaciones de la apicultura. Clive ha empezado a desarrollar con su

empresa Shift Organic Technologies su sistema a escala comercial en terrenos comunales en Wedza⁵.



Ilustración 6. Instalación de vermi-acuaponia y productos. Fuente: Harare Institute of Technology y Shift Organic Technologies

3. MOTIVACIÓN

El desafío principal al que se enfrenta en el diseño de la instalación es conseguir una instalación de mantenimiento mínimo, fácilmente operable por una persona y duradera. Todo esto con un presupuesto bastante reducido, la mayor cantidad de materiales locales posible y construyendo y poniendo en marcha en un mes, el tiempo dispuesto para realizar el proyecto en Zimbabue.

Dado que es un proyecto de carácter humanitario, para favorecer el desarrollo de una zona rural con condiciones adversas como periodos de sequía de varios meses y con comunidades sin mucha infraestructura, se han reunido varios proyectos de fin de grado para llevar a cabo varias obras como pozos y sistemas de distribución de agua, la construcción de un centro de formación profesional y el propio proyecto de piscifactoría. Esto implica una distribución del presupuesto recaudado entre todos los integrantes del equipo y aunar esfuerzos para lograr no sólo que cada uno de los proyectos salga adelante; en éxito en la implantación del proyecto forma parte de un objetivo más grande.

Mediante el diseño de una instalación de cría y engorde de tilapia (la especie de pez a usar), se intenta proveer de una fuente alternativa de proteínas y otros nutrientes a los habitantes de la zona, especialmente a los niños ya que el pescado contiene

⁵ <http://www.hit.ac.zw/news/clive-nyapokoto-s-vermi-aquaponics-system-goes-commercial.html>

nutrientes esenciales para un correcto desarrollo. Dado que el objetivo es poder producir al menos media tonelada al año de pescado (cantidad superior a la que puede consumir un orfanato de máxima capacidad de 20 niños), también busca dotar de autosuficiencia no sólo alimentaria sino también económica. El pescado no consumido puede ser vendido en la comunidad, logrando así una fuente de ingresos extra.

4. OBJETIVOS

1. El diseño de la piscifactoría debe ser capaz de producir al menos media tonelada al año de pescado, sin necesidad de recurrir a piensos comerciales, por si el usuario no puede hacer frente a estos costes. El propio diseño debe permitir la reproducción y el engorde de esa cantidad de peces, sin requerir la adquisición de alevines para cada ciclo de producción, y contribuir de forma sustancial a la producción del alimento. Los piensos comerciales
2. El coste de construcción total no debe sobrepasar los 3.000 euros, y el material para la construcción debe poder ser adquirido en Zimbabwe. El presupuesto fue definido y limitado antes de la recaudación, para fijar costes y asegurar la viabilidad del total de los proyectos.
3. El diseño debe tener en cuenta las condiciones ambientales de su localización para hacerlo adaptable, como calcular el caudal del drenaje con las peores previsiones de precipitación en la estación de lluvias, la tasa de reposición en la estación seca o la prevención del efecto de riadas o corrimientos de tierra. También intentará homogeneizar lo máximo posible la temperatura del agua.
4. La instalación debe ser lo más duradera posible, con una longevidad de los elementos que permita viabilidad a largo plazo. Se deben tomar medidas contra el efecto de la erosión, la radiación UV y la acumulación de sólidos en toda la fontanería del sistema.
5. La instalación permitirá un mantenimiento y operación sencillos, con la posibilidad de ser realizados a diario por una sola persona sin un excesivo consumo de tiempo. Los conocimientos técnicos para operarla deberán ser los mínimos; en todo caso se entregará un manual de operación y una lista de parámetros a vigilar.

5. DISEÑOS

En este apartado se valorarán distintos diseños que satisfagan los objetivos y necesidades del proyecto. Se propondrán 2 diseños de instalación de piscicultura, uno de circuito abierto y otro de circuito cerrado, para dotar de versatilidad a la hora de la implantación del proyecto, dadas las incógnitas resultantes de no haber recabado toda la información sobre el terreno, sin cuestionar la veracidad de la información transmitida desde los responsables de proyectos anteriores. En la sección de “Cálculos” se profundizará sobre los métodos de obtención de las medidas y parámetros de la instalación.

5.1 Diseño de circuito abierto

El diseño constará de un estanque de engorde y cría de amplias dimensiones, mayores que si fuera un circuito cerrado al no existir la circulación constante de agua y ser menor la oxigenación mecánica. El tanque estará situado en una zona soleada para favorecer el desarrollo del fitoplancton que ejercerá de fuente de oxígeno principal y de alimento base de los peces. El suelo del tanque constará de pendiente para favorecer el drenaje y se realizarán un dique de contención para formar parte de la pared, así no se excavará tanto y la instalación ganará altura para la circulación del agua drenada. La impermeabilización se logrará mediante una lona de PVC, EPDM o goma ajustada al fondo y las paredes del tanque.

La impermeabilización y la realización de un dique perimetral también evitarán incidencias por riadas en la estación húmeda, ya que la instalación estará situada ladera abajo.

Se dispondrá de una entrada de agua en altura para facilitar esa aireación mecánica y de un sistema de drenaje que permita controlar el nivel del agua hasta poder dejarlo completamente seco, para poder realizar desinfecciones después de un ciclo de producción y remover los limos resultantes en el fondo. El drenaje desembocará en un depósito de agua desde el cual se bombeará para su uso en la irrigación del huerto y los campos de cultivo.

5.1.1 Dimensiones

El tanque de engorde tendrá una superficie rectangular de 20×10m y la profundidad máxima será de 1,2m en el punto más profundo. La superficie se eligió en base a criterios de diseño explicados en los cálculos y los anexos. La profundidad permite

una mayor retención de calor del estanque, reduciendo las oscilaciones de temperatura. El volumen total de agua será de 180,52 m³.

5.1.2 Geometría del estanque

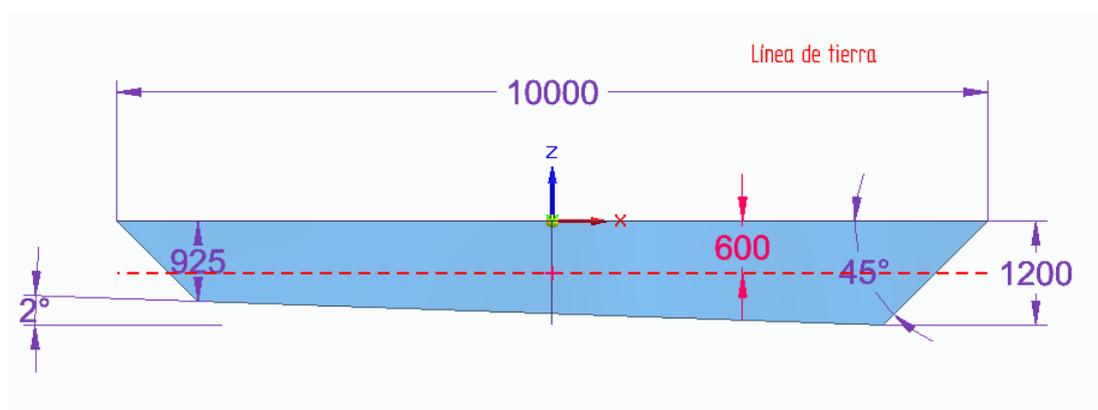


Ilustración 7. Perfil del volumen de agua del estanque. Fuente: Propia. Recurso: SolidEdge

Las 4 paredes del tanque tendrán una inclinación de 45 ° para permitir un mejor acoplamiento de la lona plástica y facilitar la circulación del agua, evitando la creación de zonas anóxicas donde se acumulen los desechos orgánicos.

Para facilitar el drenaje se procurará dar una pendiente de 2 ° a lo ancho del estanque (es decir, el ancho de 10m será el que desarrolle la pendiente) situándose la entrada de agua en el extremo más superficial y el drenaje en el más profundo.

Se procurará cavar hasta 0,6m en el sustrato y elevar las paredes con el dique otros 0,6m para lograr la profundidad deseada.

5.1.3 Impermeabilización

Tras realizar la excavación del terreno y colocar el sistema de drenaje, se procederá a retirar las rocas con aristas y demás elementos que puedan perforar una lona de impermeabilización. Dependiendo de la calidad de la lona, se exigirá un

apisonamiento y la colocación de una cama de arena fina homogénea para evitar desgarros⁶.

La elección del tipo de lona se verá condicionada principalmente por la disponibilidad en el mercado zimbabuense y los precios de ésta. Los tipos de lona plástica se pueden dividir en 3:

- PVC: Las lonas de policloruro de vinilo suelen ser de 0,5 mm de grosor, fáciles de manejar, pero salvo que lleven tratamiento se degradan fácilmente por los rayos UV. Su inconveniente principal es la facilidad con la que se desgarran.
- LPDE: El polietileno de baja densidad (LPDE en sus siglas en inglés) es un sustituto todavía económico del PVC, mejorando todas sus prestaciones. Su principal inconveniente es que sigue siendo un material bastante menos duradero que el caucho.
- Caucho EPDM o de Butilo: Es el material de lona más fiable del mercado, con una enorme resistencia al desgarro y gran adaptabilidad (aun siendo menos flexible, se adapta a todos los contornos del terreno). Es más difícil de instalar que los otros dos pues es bastante pesado. Su duración comercialmente se especifica con garantías superiores a los 25 años⁷.

Tabla 2. Comparativa cualitativa de los tipos de lonas comerciales. Fuente: Propia (datos de Pond Informer)

Tipo de lona	PVC	LDPE	Caucho EPDM o de Butilo
Precio	Muy barato	Barato	Caro
Flexibilidad	Alta	Muy alta	Baja
Peso	Ligero	Ligero	Pesado
Resistencia a desgarro	Mínima	Alta	Total
Durabilidad	Media/baja	Media	Muy alta

Las dimensiones de la lona serán de 23×13 m, explicándose la superficie en la sección de cálculos. Dado que será difícil obtenerla de una sola pieza, se unirán los rollos de menor tamaño mediante pistola de calor por un profesional acreditado. Tras colocar la lona se cubrirá con una capa de tierra fina para protegerla de los rayos UV.

⁶ <https://www.everything-ponds.com/installing-a-pond-liner.html>

⁷ <https://pondinformer.com/best-fish-pond-liners/>

5.1.4 Entrada de agua

El suministro de agua del estanque provendrá del depósito de agua realizado el año pasado en un proyecto de similares características. Dado que es un depósito cilíndrico de hormigón de unos 40 m³ de capacidad, situado ladera arriba con más de 6 m de diferencia de altura, permitirá el suministro de agua, aunque no haya suministro eléctrico (razón principal del diseño de circuito abierto). En los periodos con electricidad disponible se bombeará desde un acuífero cercano el agua al depósito.

Las conexiones desde el depósito hasta el estanque medirán en torno a las 290-300 m, dependiendo de lo abrupta que sea la pendiente que los une. Aunque las dimensiones del tanque están calculadas como para aportar la mayoría de la oxigenación necesaria mediante la fotosíntesis del fitoplancton, se agregará una terminación a la tubería con perforaciones que facilite la aireación por mayor superficie de contacto entre el aire y el agua, con una cierta altura para que la rotura de la superficie y la agitación contribuyan al intercambio de oxígeno. Los modelos a estudiar son los siguientes:

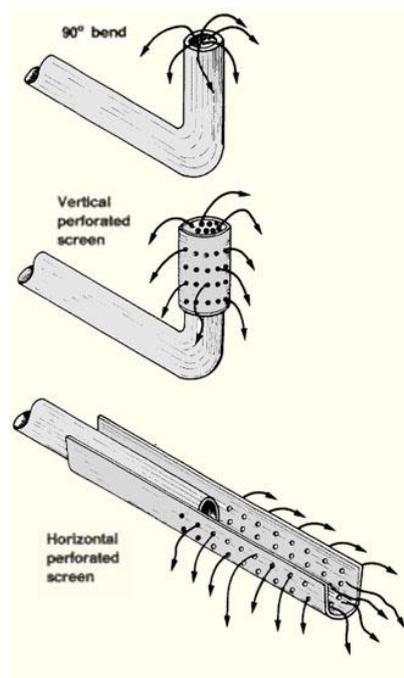


Ilustración 8. Terminaciones de alimentación de estanques (en 90°, 90° con perforaciones o canaleta horizontal perforada). Fuente: FAO

5.1.5 Drenaje

El sistema de drenaje del estanque debe permitir tanto secar por completo el estanque para tareas de mantenimiento o limpieza, como modular el nivel máximo del agua eficazmente.

Dado que el tiempo disponible para la implementación es escasamente un mes, no se optará por sistemas de drenaje que requieran de hormigón (debe dejarse fraguar), como puede ser un monje.

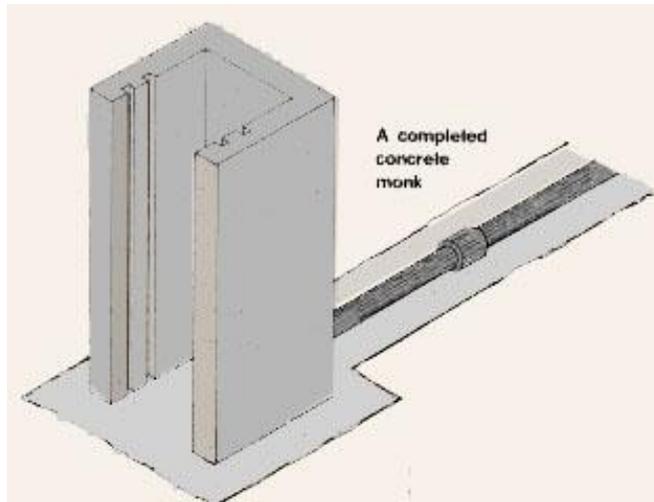


Ilustración 9. Ejemplo de monje de hormigón, sin las tablas que marcan el nivel máximo de agua. Fuente: FAO

Las opciones se limitan a sistemas de tuberías. Se utilizarán tuberías de PVC o polietileno dependiendo de si requieren de rigidez o flexibilidad. Ambas alternativas son compatibles con el uso de la lona plástica, al ser posible la unión con siliconas y pistolas de calor.

Se usará un sistema de tubería flexible erguida con una guía. Este sistema permite conectar a la tubería principal de drenaje de PVC una extensión de una flexible de polietileno, que mediante su unión a una guía rígida mediante ataduras se puede modular la altura de su entrada, estableciendo la altura del agua. En su posición de máxima extensión también sirve para prevenir posibles inundaciones. El extremo de la tubería flexible debe tener una malla fina fuertemente unida para evitar el posible atasco de la tubería por sólidos o el escape de los peces. La guía puede incluir puntos de apoyo prediseñados para facilitar el control del nivel del agua.

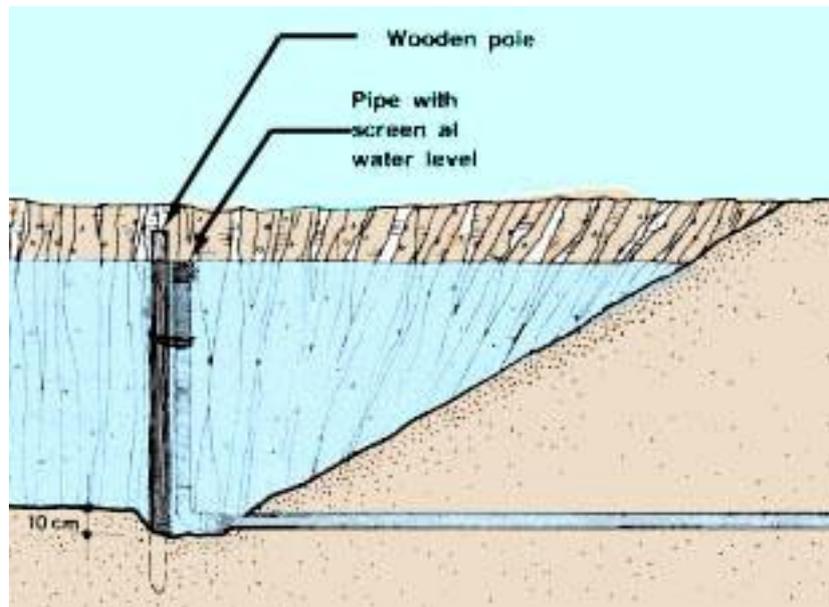


Ilustración 10. Drenaje de tubería flexible con guía. Fuente: FAO

Se observa la inclusión de una pequeña depresión en el estanque donde se coloca la tubería de drenaje, simplemente para asegurar la posibilidad del vaciado completo.

El drenaje conducirá a un tanque de homogeneización desde donde se pueda bombear puntualmente para su uso en la irrigación de los cultivos.

5.2 Diseño de circuito cerrado

El diseño está inspirado en los modelos de acuaponía, donde la labor de filtrado recaerá en parte en un bancal relleno de un medio poroso, donde se compaginará el crecimiento de verduras, hortalizas e incluso frutales con el desarrollo de bacterias nitrificantes. Ambas comunidades biológicas usarán simbióticamente los desechos de los peces transportados por el agua a los bancales como nutrientes, depurando el agua que volverá al recinto piscícola. Mediante este método se usa hasta el 10% del agua necesaria para irrigar un cultivo tradicional de vegetales (SOME14). En este caso, interesa que la mayor parte de la instalación se encuentre a la sombra para evitar la proliferación de algas que puedan obstruir la fontanería del circuito.

Este diseño es dependiente de aportes externos de alimento comercial o desperdicios del hogar, sin poder recurrir a fertilizantes de origen agropecuario al

no presentarse el volumen de agua como para evitar concentraciones tóxicas de residuos. Asimismo, se dependerá de un suministro estable de electricidad que permita la circulación del agua en todo momento. Para reducir la potencia necesitada, la mayor parte del circuito funcionará por gravedad. Por el contrario, las necesidades hídricas se reducen sustancialmente, factor útil en caso de sequía, como la actual sufrida en la mayor parte de Zimbabue⁸.

La instalación constará de cinco elementos principales:

- Tanque de engorde circular, realizado en hormigón armado con mallado de acero y ladrillos. Llevará un tipo de mezcla de cemento impermeable y resistente a la corrosión, con una proporción entre el agua y el material cementante (a/mc) de 0,4-0,5⁹. El sistema de drenaje será central para favorecer la remoción de los residuos, su extracción y evitar zonas anóxicas.
- Sistema de decantación para separar los sólidos más voluminosos, evitando su descomposición el filtro biológico o en el bancal de cultivo. Se dispondrá de vaciado para retirar los lodos, que podrán ser utilizados como fertilizante en el huerto colindante.
- Filtro biológico primario capaz de procesar gran parte de los amonios y nitritos.
- Bancales de cultivo que en mayor o menor proporción realizarán la labor de filtro biológico y usarán los nitratos y otros desechos como fertilizante.
- Tanque de homogeneización y bombeo desde donde se bombeará el agua filtrada de vuelta al tanque de engorde. Será un tanque prefabricado plástico para reducir costes y tiempo de ejecución.

Todos estos elementos permiten un rendimiento óptimo en el mínimo espacio, pero sin restricciones de tamaño se puede prescindir del filtro biológico primario e incluso del decantador.

Un ejemplo visual a menor escala de cómo podría ser la instalación es el siguiente:

⁸ <https://www.nytimes.com/es/2019/08/03/crisis-agua-zimbabue/>

⁹ <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/recomendaciones-para-construccion-de-tanques>



Ilustración 11. Instalación acuapónica de bancales. Fuente: FAO

5.2.1 Dimensiones

El volumen del tanque de engorde será de 25 m³ para poder soportar la cantidad límite de producción (0,5 toneladas de pescado) en una situación de inseguridad de la red eléctrica, por más de una hora. El volumen del decantador sería de 2,5 m³ o menor, contando con que necesitaremos bancales de cultivo rellenos de grava de 5 m³, con una superficie de cultivo de 20 m² o menor, dependiendo de los vegetales a plantar. La bomba debería ser capaz de movilizar 33.000 l/h y el tanque de bombeo debería ser capaz de contener al menos 7,25 m³ de agua. Todas las magnitudes y su obtención serán explicadas en la sección “Cálculos”.

5.2.2 Tanque de engorde

El tanque de engorde tendrá una altura total de 0,9 m y un radio de 3 m. El grosor de las paredes del tanque será similar al usado en el proyecto del depósito de agua de Project Zimbabwe del año anterior, reservándose a la disposición de materiales su concreción. El tanque será construido de manera similar también, mediante el uso de ladrillos, hormigón y un refuerzo mallado, como se puede observar en la siguiente ilustración:



Ilustración 12. Construcción del depósito de agua del año anterior. Fuente: Project Zimbabwe

El tanque tendrá una ligera pendiente hacia el centro (fondo cónico) para facilitar la evacuación del agua a filtrar. Se situará un drenaje de sifón con malla mediana que absorberá el agua sucia y la pasará al decantador por gravedad. La salida del sifón estará a la altura de agua deseada del tanque, que al estar continuamente relleno por la bomba, seguirá sifonando.



Ilustración 13. Tanque de piscicultura con drenaje de sifón, funcionando por gravedad. Fuente: Piscicultura Cabele Melo

5.2.3 Sistema de decantación

El decantador se construirá a partir de un contenedor plástico cilíndrico, en el que el sifón del drenaje del tanque principal desemboque incidiendo perpendicularmente sobre la pared. Esto provocará un flujo tangencial, que por fuerza centrípeta conducirá los residuos sólidos abajo y al centro del decantador, al ir el agua más despacio en esos lugares. Desde ahí se podrán drenar los lodos acumulados.

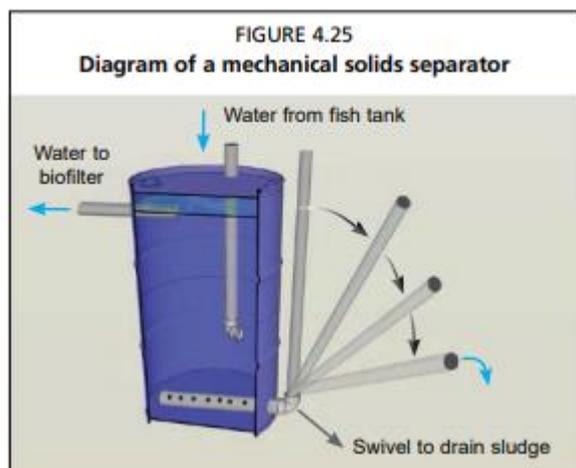


Ilustración 14. Decantador con flujo tangencial. Fuente: FAO

Se puede buscar un contenedor plástico con el fondo de forma cónica que facilite ese drenaje mediante un grifo simple.

5.2.4 Bancales de cultivo/biofiltro

Se construirán bancales con contenedores plásticos cortados a medida, pudiendo incluso adaptar bañeras desechadas para tal propósito. Se buscará tener al menos 30 cm de sustrato para el crecimiento de las plantas, y los bancales más grandes posibles con los que llegar a los 5 m³ de medio filtrante. Este medio filtrante será grava porosa, que resulta fácilmente accesible y poco costosa. La entrada del agua a los bancales debe ser en altura, pues la DBO de las bacterias nitrificantes es alta para llevar a cabo el proceso de nitrificación.

Se perforará un agujero en cada bancel para el drenaje. Para asegurarse de que las raíces de las plantas y las bacterias nitrificantes tienen tiempo de absorber los nutrientes y acotar el nivel del agua, es decir, la parte del sustrato que estará mojada (de 2 a 5 cm por debajo de la superficie) se usará un dispositivo de drenaje de sifón de campana. Este tipo de dispositivos dejan que los bancales se inunden periódicamente hasta su altura establecida, tras lo cual por un efecto sifón realizado por una camisa sobre la tubería de desagüe, se desaloja toda el agua. El tiempo de cada ciclo de llenado y vaciado dependerá del caudal de agua. En la siguiente ilustración se explica el funcionamiento básico de este tipo de drenaje, que cuenta además con un elemento separador del sustrato.

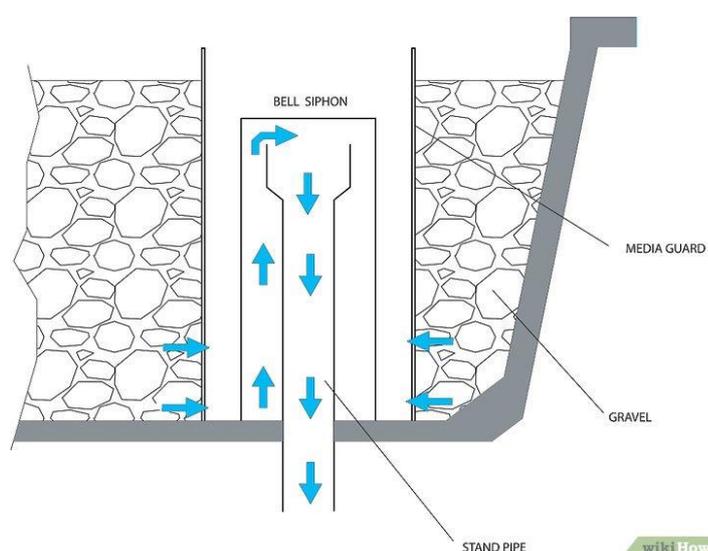


Ilustración 15. Esquema de un sifón de campana. Fuente: WikiHow

El drenaje de cada bancal se dirigirá al tanque de bombeo, el punto de altura relativa más bajo del sistema.

5.2.5 Tanque de homogenización y bombeo

El tanque de bombeo puede ser obtenido de diversas maneras, al ser su única restricción el caudal de la instalación, que lo marcarán la bomba y las conexiones, y que debe ser el punto más bajo de toda la instalación. Se podrá optar por cavar en el terreno un espacio de este volumen, retirar todo elemento punzante de paredes y suelo y cubrir con una lona plástica para impermeabilizarlo, cubriéndolo después con un pequeño murete perimetral y una placa metálica por meras razones de seguridad y conservar la limpieza del agua ya depurada.

Al instalar la bomba en este tanque nos aseguraremos además de que todas las pérdidas de agua sólo se manifestarán en el tanque de bombeo, sin afectar el volumen de agua del tanque de los peces con las fatales consecuencias que puede ocasionar, como un pico mortal en la concentración de amoníaco.

La bomba será sumergible y bombeará por una tubería flexible de polietileno el agua al tanque, donde será distribuida mediante las alimentaciones dispuestas en la ilustración 8 o mediante un sifón de Venturi para aumentar la oxigenación del agua.

6. COMPLEMENTOS ALTERNATIVOS

6.1 Drenaje de fertilizante

El conjunto de la instalación de piscicultura está asignado a una parcela que linda con la pocilga de la propiedad, con unos 12 cerdos. En caso de realizar el modelo de circuito abierto, se puede estudiar aprovechar los canalones individuales de cada cuadra, que ahora desembocan separados directamente a tierra. Se tirarían canaletas aprovechando la inclinación del terreno, que acabarían en un depósito excavado cercano al estanque de estiércol, para facilitar la fertilización semanal del estanque y mejorar la salubridad de las instalaciones.

6.2 Instalación de vermicultura adyacente

Siguiendo el modelo de Clive Nyapokoto, podría realizarse una compostera con cultivo de lombrices o larvas de mosca. Éstas descompondrán los desechos que no puedan ser aprovechados directamente como alimento por los peces, convirtiéndolo en compost a utilizar como fertilizante en el huerto o en el propio estanque. Ambos organismos además servirían como aporte proteico para los peces, agilizando su crecimiento.

6.3 Biodigestor

Para sacar un fertilizante mineralizado y de mejor calidad, se puede contemplar el diseño e instalación de un digestor anaeróbico que convirtiera el estiércol y los desechos vegetales de los cultivos en biogás y compost mineralizado. Es un proyecto ya planteado y en ejecución en la zona por Carlos Ruiz para Project Zimbabwe, haciendo más fácil su implantación.

7. RECURSOS A EMPLEAR

Los recursos materiales para implementar el proyecto serán comprados en el país, ayudando a estimular la economía local y ahorrando coste en el transporte. La única excepción sería la donación por parte de alguno de los patrocinadores del proyecto de equipos de alto coste económico y difícil adquisición en Zimbabue, como puede ser una bomba sumergible del caudal requerido. Las cantidades se detallarán en apartados posteriores.

Los elementos de construcción necesarios comunes son:

- Tuberías de diversos diámetros de PVC
- Tubería de diversos diámetros de polietileno
- Arena de grano fino
- Lona de plástico (ya sea de PVC, LPDE o EPDM)
- Malla fina para cubrir la entrada de los drenajes
- Válvulas

Si se desarrolla el diseño de circuito cerrado acuapónico, se necesitarán, además:

- Grava (preferiblemente volcánica ya que ofrece más superficie por unidad de volumen)

- Cemento
- Arena
- Mallado de acero
- Contenedores plásticos
- Bomba sumergible
- Grifos
- Lona o tela opaca para cubrir de la radiación solar.

Los proyectos requerirán de mano de obra local para su desarrollo, pudiendo subcontratar maquinaria específica como apisonadoras o tractores. La fontanería necesaria será llevada a cabo por un profesional cualificado asalariado de la fundación.

Para el diseño de las instalaciones se requerirán cálculos a realizar con calculadoras, que se llevarán también a la implantación para adaptar los parámetros según los imprevistos. Los modelos se realizarán con aplicaciones de diseño como SolidEdge, SketchUp o AutoCAD.

Al ser los circuitos de agua relativamente simples, no se requerirá el uso de simuladores de fluidos como Fluent, bastando con aplicar las ecuaciones de Bernoulli y comprobar Reynolds.

8. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La planificación realizada previamente en el anexo B sobre los pasos a seguir en la elaboración del diseño no se respetó en su totalidad, habiéndose generado modificaciones en la forma de trabajar en el proyecto.

La primera fase fue recabar información sobre las técnicas de piscicultura y los parámetros esenciales de diseño. El siguiente paso fue hablar con el director de la fundación destino del proyecto para conocer la zona de ejecución y reconocer las necesidades a satisfacer. Se decidió plantear varias alternativas de diseño que se adaptaran en un principio a las condiciones del entorno. Sobre esas alternativas se dimensionarían los elementos de sus sistemas.

Dado que la instalación de piscicultura necesita de movimiento de agua para su funcionamiento, hubo que calcular los volúmenes a usar en cada elemento del sistema, la tasa de renovación o filtrado y el nivel de oxígeno necesario aproximado en el agua. Para ello se necesitaron calcular los caudales de agua y usar tanto las

ecuaciones de Bernoulli de fluido, no siendo necesario el uso de Fluent. En el terreno la altura de los elementos que almacenen agua y su posible colocación influirán en el caudal, por lo que los cálculos deberán ser susceptibles a modificaciones.

Se hizo un presupuestado de los elementos del sistema para 2 posibles modelos de instalación, se realizó la media de coste al ser magnitudes similares de precio. El grado de precisión de los precios es incierto dada la inflación que afecta al país y la poca disponibilidad de venta online con la que elaborar la predicción. Se aplicará un factor de corrección de 1,5 a multiplicar para cubrir imprevistos o escasez de stock en Zimbabwe, dada la situación económica del país.

De estos 2 procedimientos dependerá el dimensionado de las tuberías del sistema.

Tabla 3. Cronograma de tareas

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Estudio de diferentes diseños conceptuales	■						
Cálculo de volúmenes de agua		■					
Cálculo de caudales		■					
Presupuestado de sistemas de piscicultura		■	■				
Informe preliminar de las condiciones del terreno			■				
Dimensionamiento de tuberías			■				
Cálculo de pérdidas de carga				■			
En caso de filtrado, cálculo de rendimiento					■		
Modificaciones sobre terreno del diseño							■
Ejecución del proyecto							■

9. ESTUDIO ECONÓMICO

Dada la situación de inflación de hasta el 200% en algunos productos en Zimbabwe, la crisis energética que provoca cortes prolongados del suministro eléctrico y la inestabilidad política en la que se ve sumido el país, cualquier estudio económico quedaría obsoleto a tiempo real. La dedicación de un capítulo entero de este proyecto a hacer conjeturas sería un ejercicio de cinismo.

Los únicos datos disponibles son los de los precios de agosto de 2019 en la moneda oficial del país, pero dado que el cambio con el dólar americano se actualiza cada semana desde la reciente prohibición de su uso oficial¹⁰.

¹⁰ <https://www.bbc.com/news/world-africa-48757080>

Capítulo II: Cálculos

Índice

10. DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES	39
10.1 Dimensionamiento del estanque de piscicultura en circuito abierto	39
10.2 Dimensionamiento de la instalación de piscicultura de circuito cerrado	49

10. DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES

Para dimensionar los estanques de engorde, se seleccionarán las densidades idóneas de cría en función del tipo de instalación. Otros factores se tomarán en consideración como tener la suficiente profundidad como para evitar grandes fluctuaciones de temperatura.

10.1 Dimensionamiento del estanque de piscicultura en circuito abierto

Al ser un estanque de circuito abierto sin un cauce natural cercano, la tasa de renovación de agua será mucho menor, dependiendo para la oxigenación del agua de la labor fotosintética del fitoplancton. Por ello requerirá de una mayor superficie.

Si la densidad de cultivo de tilapia en una explotación de estanque semi-intensiva es de 50.000 a 100.000 peces por ha (10.000 m²) (SAAV06) y la talla comercial a la que se recolecta el pescado es de 500 g, si tomamos los datos más conservadores y tenemos en cuenta la producción objetivo (0,5 t anuales), la superficie del estanque resultará de las siguientes fórmulas:

$$n^{\circ} \text{ peces} = \frac{\text{prod. anual}}{\text{peso comercial del pescado}}$$
$$A = \text{area del estanque} = \frac{n^{\circ} \text{ peces} \cdot 10.000\text{m}^2}{50.000 \text{ peces}}$$

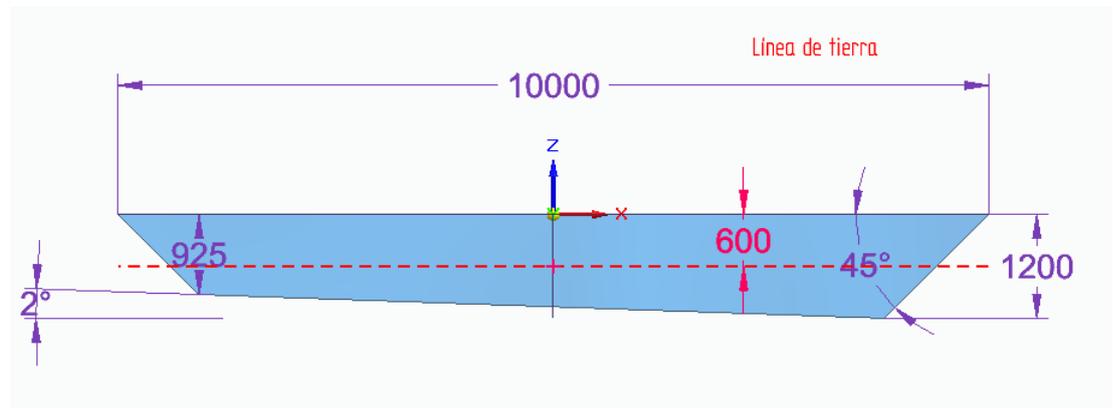
Entonces:

$$n^{\circ} \text{ peces} = \frac{500\text{kg}}{0,5\text{kg}} = 1.000$$
$$A = \frac{1.000 \cdot 10.000\text{m}^2}{50.000} = 200 \text{ m}^2$$

Siendo la superficie resultante de 200 m², se escoge una forma sencilla de estanque para facilitar su construcción, como un rectángulo de 20 m×10 m. La densidad de peces usada proviene de un informe de la universidad de Rhode Island sobre las posibilidades de la piscicultura de tilapia en Nicaragua. Dado que el clima nicaragüense es tropical, con medias de temperatura más altas que en Mount Darwin¹¹, la temperatura del agua es mayor y dichas densidades están calculadas para agua con menor capacidad de oxígeno disuelto. Este hecho deja un amplio margen de seguridad.

¹¹ <https://vianica.com/sp/nicaragua/informacion-practica/7-clima.html>

El problema de la menor temperatura media se solucionará estableciendo la parte del estanque más profunda en 1,2m. Como el diseño del estanque requiere paredes en 45 ° y el drenaje completo del fondo se logra con una pendiente de 2 °, volvemos a la ilustración 7 para calcular el volumen de agua necesario para llenar el estanque.



Para ello se descompondrá el volumen del estanque en volúmenes más sencillos de calcular:

$$V_{total} = V_{estanquesinpendientes} - V_{pendientes45} - V_{pediente2}$$

Para ahorrar cálculos manuales con geometrías complejas, como los volúmenes compartidos entre paredes de cada lado, se recurrió a un modelo en SolidEdge. La función “Propiedades físicas” determinó las características dimensionales del estanque, con un volumen de 180,52 m³.

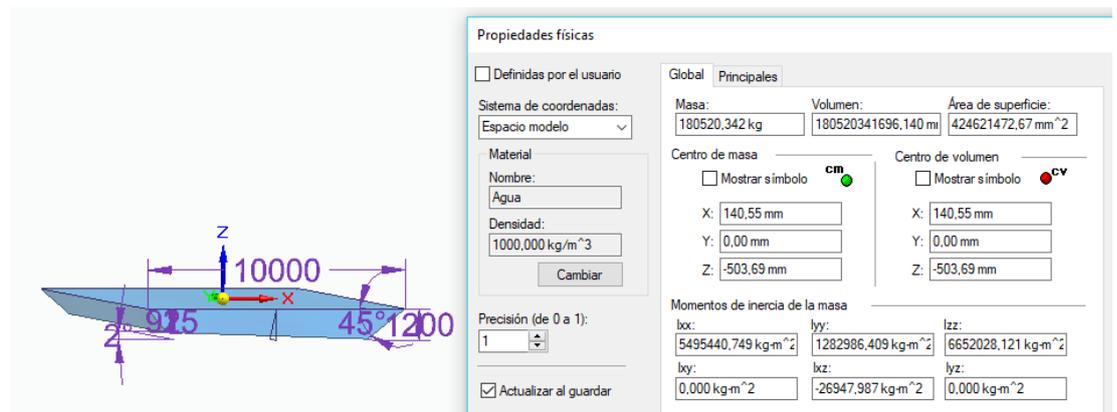


Ilustración 16. Cálculo del volumen del modelo del estanque. Fuente:Propia. Recurso: SolidEdge

Ahora quedan por calcular las dimensiones del drenaje y la alimentación del tanque. Para poder calcular las dimensiones óptimas de las conexiones deberemos ver cual es el caudal que necesitan transportar para el correcto funcionamiento de la instalación.

En el caso del drenaje, uno de los factores que marca el caudal necesario es la necesidad de poder mantener el nivel del agua en la época de lluvias, cuando las precipitaciones son máximas y el estanque corre el riesgo de rebosar. Para calcular el caudal necesario seguiremos los siguientes pasos:

1. Volver a la Tabla 1, que detalla la precipitación mensual media de los últimos 20 años en Mount Darwin, y seleccionar el mes con las precipitaciones más altas.
2. Asumiendo que las precipitaciones diarias en ese mes no son totalmente homogéneas, al dividir entre 30 días los mm de lluvia caídos por m² multiplicaremos el resultado por 4 al no tener datos de precipitaciones máximas en un día. Este factor de seguridad no ha sido muy alto ya que estudios en Harare (a 2 horas de Mount Darwin) muestran que las precipitaciones en la época de lluvias sí que tienen una distribución más o menos homogénea¹². Luego se divide entre 24 horas ese valor para ver el volumen por m² cada hora. Dado que en la realidad la intensidad pluvial no es constante, se asume que el dique levantado alrededor del estanque le dará suficiente margen como para soportar las horas de mayor intensidad y compensar en las siguientes, así como que la intensidad no varía tanto, como ilustra la pluviometría de Harare.
3. Teniendo los litros caídos cada hora por unidad de superficie, falta multiplicarlo por la superficie del estanque. Se presupone que los diques y la lona impermeabilizante evitan la entrada del agua de escorrentías o filtrada por el terreno. Con ello se dispone del caudal máximo de desagüe de precipitaciones.
4. Teniendo el caudal objetivo y sabiendo la diferencia de altura entre la superficie del estanque y los campos de cultivo donde desembocará el drenaje, se aplica Bernoulli para despejar la velocidad absoluta del agua en la conexión, pudiendo calcular el área de sección necesaria de la tubería.

¹² <https://weatherspark.com/m/96831/1/Average-Weather-in-January-in-Harare-Zimbabwe>

Se procede a revisar los datos de pluviometría de Mount Darwin, resultando las precipitaciones mensuales máximas 210mm en enero (210 L/m²). El caudal resultante es el siguiente:

$$Q_{\min} = \frac{210 \text{ L/m}^2}{30 \cdot 24 \text{ h}} \cdot 200 \text{ m}^2 \cdot 4 = 233,33 \text{ L/h}$$

Aplicamos ahora Bernoulli entre la superficie y el final del drenaje con las dimensiones y cotas conocidas del estanque ($\Delta z=1,2 \text{ m}$), asumiendo que el volumen de agua del estanque es lo suficientemente grande como para despreciar su velocidad absoluta y sabiendo que la presión en ambos extremos es la atmosférica, por lo que se anulan.

Bernoulli estanque-drenaje:

$$\Delta z = \frac{c_{\text{drenaje}}^2}{2 \cdot g}$$

$$1,2 = \frac{c_{\text{drenaje}}^2}{2 \cdot 9,81} \rightarrow c_{\text{drenaje}} = 4,85 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Teniendo el caudal y la velocidad del agua, podemos sacar el diámetro necesario:

$$Q_{\min} = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot c_{\text{drenaje}}$$

$$233,33 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}} \cdot \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot 4,85 \rightarrow d \geq 4,12 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo aceptable es muy pequeño, tanto que incluso acarrearía problemas de bloqueo por hojarasca o cualquier desecho suspendido en el agua muy fácilmente. Es por este riesgo de atasco por lo que se aumentará a un diámetro comercial normalizado que aporte seguridad. Si se toma como ejemplo la normativa española respecto al uso de tubos de polietileno en régimen de lámina libre, según la UNE-EN 12.666, estableceríamos el diámetro del drenaje en 315 mm¹³.

¹³ <https://www.aristegui.info/aplicaciones-normativa-y-clasificacion-de-los-tubos-de-polietileno/>

Tabla 4. Dimensiones normalizadas en tubos para aplicaciones de lámina libre. Fuente: Aristegui Maquinaria¹⁴

Diámetro (mm)		Espesor nominal mínimo (mm)			
DN	Tol.	S SDR SN	10 21 8	12,5 26 4	16 33 2
315	2,9		15,0	11,9	9,7
355	3,2		16,9	13,5	10,9
400	3,6		19,1	15,1	12,3
450	4,1		21,5	17,2	13,8
500	4,5		23,9	19,1	15,3
630	5,7		30,0	24,1	19,3
800	7,2		38,1	30,6	24,5
1.000	9,0		47,7	38,2	30,6
1.200	10,0		57,2	45,9	36,7
1.400	10,0			53,5	42,9
1.600	10,0			61,2	49,0

El problema de esas dimensiones para un tubo flexible es que dificultaría su manejo y torsión por parte de un operario a la hora de cambiar el nivel del agua, por lo que se establecerá el diámetro del tubo en 110 mm, medida que facilitará posteriormente las conexiones con tuberías de PVC.

Se comprueba la tasa de evaporación de la zona para estimar el caudal objetivo de alimentación. Al no haber datos concretamente de Mount Darwin recabados mediante el método de la cubeta clase A (a corregir en el caso de estanques con un factor de 0,75) o por la fórmula Penman¹⁵, se tomarán los datos de la agencia de la FAO *Aquastat* en el año 2010 de las zonas con menos y más evaporación de Zimbabue (las 2 únicas mostradas) y se hará la media. Esta estimación es la más aceptable ya que ninguna de las zonas medidas coincide climáticamente con Mount Darwin.

Las dos medidas obtenidas de evaporación (por método de la cubeta clase A) anuales son 1.400 mm y 2.200 mm¹⁶.

$$Ev_{media} = \frac{1400 + 2200}{2} = 1.800 \text{ mm}$$

Con esta medida se puede aproximar la tasa de reposición semanal de agua necesaria, mediante el siguiente procedimiento:

1. Se divide la tasa de evaporación anual entre 365 días y se multiplica por 7 para saber las pérdidas por evaporación por unidad de superficie semanales:

¹⁴ <https://www.aristegui.info/aplicaciones-normativa-y-clasificacion-de-los-tubos-de-polietileno/>

¹⁵

http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705s/x6705s02.htm#14a

¹⁶ http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ZWE/

$$Ev_{semanal} = 1800 \cdot \frac{7}{365} = 34,52mm$$

2. Se aplica el factor de corrección para estanques y lagos de 0,75 (se aplica porque se estipula que la evaporación es menor al no tener los laterales de metal y expuestos a la radiación solar) y se multiplica por el área superficial del estanque. El resultado se divide entre 1.000 para obtener los m³ perdidos por evaporación:

$$V_{evaporación} = Ev_{semanal} \cdot 0,75 \cdot \frac{200 \frac{m^2}{l}}{1000 \frac{m^3}{m^3}} = 5,18 m^3$$

La tasa de reposición semanal porcentual por tanto es de un 2,87 %. Es una magnitud totalmente asumible por el caudal de la alimentación, a la cual hay que fijar un tiempo máximo de reposición para que el operario no tenga que estar ni muy pendiente para cerrar la válvula ni se tarde un tiempo excesivo.

Para la alimentación del estanque se necesitarán al menos 290 m de tubería desde el depósito de agua de irrigación, ateniéndose a las medidas escaladas de la ilustración 2. Dado que la orografía exacta es desconocida asumiremos 300 m de tubería como estimación inicial y la diferencia de cota se situará en 8 m, deducida de la información consultada al director de la fundación *Child Future Africa*. Al ser dos depósito abierto a la atmósfera, la presión es igual en ambos extremos. Se procederán a calcular las pérdidas de carga también:

Bernoulli depósito (1)-estanque (2), sin contar las pérdidas de carga también para ver el caudal máximo al que puede aspirar la instalación sin instalar elementos de bombeo:

$$\Delta z + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + 0 = \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{c_2^2}{2 \cdot g} + h$$

$$8 = \frac{c_2^2}{2 \cdot 9,81} + h \rightarrow \text{si no contamos } h \rightarrow c_2 = 12,53 \frac{m}{s}$$

Para calcular las pérdidas en carga (h) haremos uso de la ecuación de Darcy-Weisbach¹⁷:

$$h = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{c_2^2}{2 \cdot g}$$

¹⁷ <http://hidraulicaucentral.blogspot.com/2012/02/calculo-de-perdidas-de-carga-en.html>

Donde “f” es el coeficiente de fricción, “L” la longitud de tubería, “D” su diámetro y “c₂” la velocidad del fluido.

Para hallar el coeficiente de fricción es necesario hallar el número adimensional de Reynolds, que dirime si el flujo dentro de la tubería tiene un comportamiento laminar o turbulento.

$$Re = \frac{D \cdot c \cdot \rho}{\mu}$$

Donde “ρ” es la densidad del fluido, en este caso agua, “μ” la viscosidad dinámica y “c” la velocidad en el conducto. Para el agua a 20 °C, los valores conocidos son los siguientes:

$$\rho = 998,2 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 1,002 \cdot 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

Otro dato fundamental para hallar “f” es la rugosidad absoluta “ε” del material y la relativa, “ε/D”. Su valor para PVC y PE es:

$$\varepsilon = 0,0015 \text{ mm}$$

La velocidad del fluido máxima se sitúa entonces en 12,53 m/s. Con una tubería de 60 mm de diámetro, que se acoplaría perfectamente a la salida de agua ya existente del depósito, el caudal máximo ideal resultante sería:

$$Q_{entrada} = \frac{c_2 \cdot \pi \cdot D^2}{4} = \frac{12,53 \cdot \pi \cdot 0,06^2}{4} = 35,42 \frac{l}{s}$$

Se calcula lo que este caudal tardaría en reponer las pérdidas semanales:

$$\frac{5,18 \text{ m}^3 \cdot 1000 \frac{l}{m^3}}{35,42 \frac{l}{s}} = 146,25 \text{ s}$$

El tiempo de relleno ideal sería de casi 2 minutos y medio. Ahora con esa estimación ideal se intuye la magnitud de valores a iterar para sacar las pérdidas de carga. Planteamos las ecuaciones iniciales:

$$Re = \frac{D \cdot c \cdot \rho}{\mu}$$

$$h = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{c^2}{2 \cdot g}$$

$$\Delta z + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + 0 = \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{c^2}{2 \cdot g} + h$$

El coeficiente de fricción lo hallaremos mediante el diagrama de Moody o la fórmula de Colebrook-White:

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

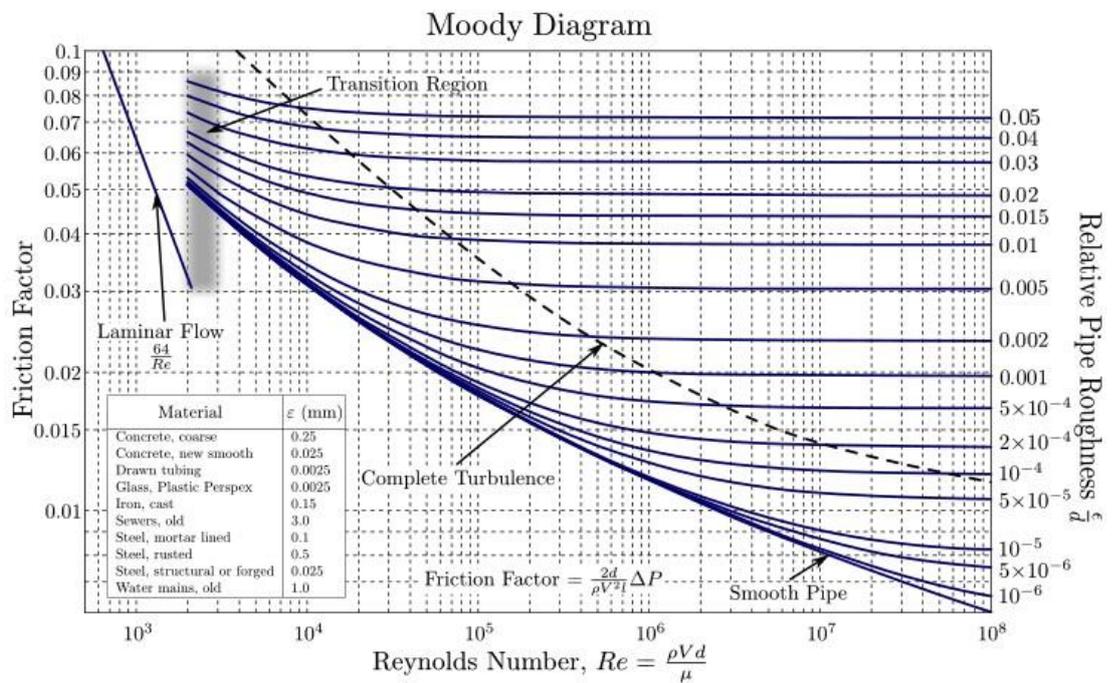


Ilustración 17. Diagrama de Moody. Fuente: Wikipedia

Primera iteración:

$$c = 12,53 \frac{m}{s}$$

$$D = 60 \text{ mm}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 2,5 \cdot 10^{-5}$$

$$Re = 7,49 \cdot 10^5$$

$$f = 0,013$$

$$h = 0,013 \cdot \frac{300}{0,06} \cdot \frac{12,53^2}{2 \cdot 9,81} = 520m$$

Se ve que las pérdidas son muy superiores a la diferencia de alturas entre conexiones, haciendo esos parámetros surrealistas. Se probará con otros parámetros, como cambiar el diámetro a 110mm para reducir pérdidas y bajar las expectativas de velocidad. Se prueba con los siguientes valores:

Segundo intento:

$$c = 0,3 \frac{m}{s}$$

$$D = 110 \text{ mm}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 1,36 \cdot 10^{-5}$$

$$Re = 3,29 \cdot 10^4$$

$$f = 0,359$$

$$h = 0,359 \cdot \frac{300}{0,11} \cdot \frac{0,3^2}{2 \cdot 9,81} = 4,49 \text{ m}$$

$$8 = \frac{c^2}{2 \cdot g} + 4,49 \rightarrow c = 8,30 \frac{m}{s}$$

Segunda iteración:

$$c = 8,30 \frac{m}{s}$$

$$D = 110 \text{ mm}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 1,36 \cdot 10^{-5}$$

$$Re = 9,09 \cdot 10^5$$

$$f = 0,314$$

$$h = 0,314 \cdot \frac{300}{0,11} \cdot \frac{8,3^2}{2 \cdot 9,81} = 3008 \text{ m}$$

Vuelve a salir un valor irracional, así que se usará una calculadora programable para iterar hasta sacar un resultado coherente.

El resultado final de la calculadora es:

$$c = 0,403 \frac{m}{s}$$

El caudal resultante:

$$Q = 0,403 \cdot \pi \cdot \frac{0,11^2}{4} = 3,83 \cdot \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{\text{s}} = 3,83 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

El tiempo de llenado de las pérdidas de evaporación asciende a:

$$t(\text{minutos}) = \frac{5,18 \text{ m}^3}{3,83 \cdot \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{\text{s}}} \cdot \frac{\text{minuto}}{60 \text{ s}} = 22,54 \text{ minutos}$$

Que es un tiempo razonable, en el que un operario puede realizar la alimentación de los peces u otra pequeña tarea antes de volver para cortar el flujo.

Por último, se debe calcular la superficie requerida de lona plástica para impermeabilizar la totalidad del estanque.

La ecuación recomendada en los comercios de productos para estanques es la siguiente¹⁸:

$$Longitud_{lona} = Long_{estanque} + 2 \cdot h_{m\acute{a}x} + 0,6 \text{ m}$$

$$Ancho_{lona} = Ancho_{estanque} + 2 \cdot h_{m\acute{a}x} + 0,6 \text{ m}$$

Se añaden los 0,6 m para asegurar el borde del estanque con sujeciones. No se ha tomado la recomendación europea de 1 m, pues al utilizar la profundidad máxima se tiene margen suficiente en un estanque donde la profundidad media es menor.

Así las longitudes y la superficie total quedarían:

$$Longitud_{lona} = 20 + 2 \cdot 1,2 + 0,6 \text{ m} = 23 \text{ m}$$

$$Ancho_{lona} = 10 + 2 \cdot 1,2 + 0,6 \text{ m} = 13 \text{ m}$$

$$S_{lona} = Long \cdot Ancho = 23 \cdot 13 = 299 \text{ m}^2$$

Una forma más eficiente de calcular la lona necesaria sería hacer uso del modelo de CAD de la ilustración 16, en el que se indica el valor total de la superficie del modelo, 424,62 m². A este valor sólo haría falta sustraerle el área correspondiente a la superficie del agua (200 m²) y añadirle el área de lona de los márgenes para fijarla. El cálculo resultante sería:

$$S_{lona}^* = 424,62 - 200 + (20,6 \cdot 10,6 - 200) = 242,98 \text{ m}^2 \approx 243 \text{ m}^2$$

Este cálculo alternativo conduce al ahorro de 56 m² de lona, viéndose en la realización del presupuesto la magnitud de ahorro de dinero que se consigue.

¹⁸ <https://pondinformer.com/best-fish-pond-liners/>

10.2 Dimensionamiento de la instalación de piscicultura de circuito cerrado

El factor determinante de las dimensiones de la instalación acuapónica vuelve a ser la densidad de peces admisible. Dado que es un sistema con filtrado, las densidades serán mayores que en una explotación de circuito abierto. Concretamente, se admiten 20 kg de pescado por cada m³ de tanque de engorde (SOME14). Esta densidad garantiza la supervivencia de los peces durante períodos de más de una hora sin circulación del agua. Dando margen a medidas de emergencia como la conexión de un generador diésel de electricidad en caso de fallo del suministro eléctrico.

El objetivo sigue siendo la producción de media tonelada anual. Se vuelve a utilizar la fórmula de conversión de densidad de producción en masa de agua, esta vez trabajando con volúmenes:

$$V = \frac{500 \text{ kg}}{20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 25 \text{ m}^3$$

La profundidad seguirá manteniéndose en el orden del metro. Para facilitar la construcción y sobre todo la operación y mantenimiento se seleccionará una altura de 0,9 m. Al ser una instalación con bastante menor superficie en relación con el volumen de agua, la estabilidad térmica se sigue garantizando.

EL radio del tanque cilíndrico será el siguiente:

$$r_{\text{tanque}} = \sqrt{\frac{V}{h \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{25}{0,9 \cdot \pi}} = 2,97 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

Se aproxima a 3 metros para facilitar la construcción, ya que el margen volumétrico extra siempre será beneficioso.

En la siguiente tabla se ilustran las proporciones de diseño recomendadas por la FAO:

Tabla 5. Parámetros y proporciones de diseño en sistemas acuapónicos. Fuente: FAO

Practical system design guide for small-scale aquaponic units

Fish tank volume (litre)	Max. fish biomass ¹ (kg)	Feed rate ² (g/day)	Pump flow rate (litre/h)	Filters volume ³ (litre)	Min. volume of biofilter media ⁴ (litre)		Plant growing area ⁵ (m ²)
					Volcanic tuff	Bioballs®	
200	5	50	800	20	50	25	1
500	10	100	1 200	20–50	100	50	2
1 000	20	200	2 000	100–200	200	100	4
1 500	30	300	2 500	200–300	300	150	6
2 000	40	400	3 200	300–400	400	200	8
3 000	60	600	4 500	400–500	600	300	12

Los otros elementos del circuito se escalarán con respecto al tanque de engorde según las recomendaciones del manual de la FAO. El tanque de decantación primaria, que complementa la labor de filtrado mecánico de los bancales, debería tener como mucho un 10% de la capacidad del tanque de engorde. Se fija esta proporción máxima ya que es el volumen mínimo requerido cuando no existen bancales que realicen ese filtrado mecánico. El resultado es un elemento de 2,5 m³.

Según la disponibilidad local de contenedores de esas dimensiones o menores, se elegirá optar por las dimensiones límite o utilizar un contenedor de menor volumen estándar. El uso del decantador está justificado sólo por criterios de eficiencia (se ahorra mantenimiento periódico de los bancales para comprobar si se generan zonas anóxicas) y generar un valor añadido mediante la extracción de lodos ricos en nutrientes, que pueden ser utilizados como fertilizante de los cultivos colindantes.

El volumen total de los bancales de cultivo que ejercerán de biofiltro (y filtro mecánico) será de 200 L por cada 20 kg de pescado, en caso de usar grava volcánica porosa, por lo que deberá ser un 20 % del volumen del estanque de engorde. Se tendrán bancales de 5 m³ de capacidad en total si se sigue la proporción.

Dada la necesidad de disponer de al menos 30 cm de sustrato para permitir el crecimiento de vegetales que den fruto como tomates o calabacines (SOME14), la superficie máxima resultante disponible es la siguiente:

$$S_{cultivo} = \frac{5m^3}{0,3m} = 16,67 m^2$$

El área disponible de cultivo puede ser mayor si se utilizan bancales de cultivo de vegetales de hoja como lechugas, que sólo necesitan 20 cm de sustrato, o menor si se quiere producción de árboles frutales. Para facilitar el dimensionado, se realizarán bancales con un total de área de 20 m².

Para realizar la distribución equitativa, se planteará un sistema de ecuaciones de 2 incógnitas:

x: superficie dedicada al cultivo de vegetales de fruto (m²)

y: superficie dedicada al cultivo de vegetales de hoja (m²)

$$x + y = 20 \text{ m}^2$$

$$0,3x + 0,2y = 5 \text{ m}^3$$

$$x = y = 10 \text{ m}^2$$

Resultando del sistema dos parcelas iguales de 10 metros cuadrados dedicadas a esta función.

Estas figuras son susceptibles de retoques (al alza) si el substrato utilizado no es lava volcánica sino un material de menor proporción superficial y, por lo tanto, menos efectivo.

Para el dimensionamiento del volumen del tanque de bombeo se especifica una capacidad de al menos un 25% del volumen del tanque de engorde. El resultado es un tanque de bombeo de 7,25 m³ de capacidad mínima. Al ser construido en el suelo y sin ningún requerimiento específico geométrico, se optará por un volumen cúbico de 2 m de lado, facilitando la construcción, la superficie de lona necesaria para impermeabilizarlo será de 20 m² sin márgenes ya que se dejarán 10cm de altura de los 2 metros para asegurar la lona, resultando en un volumen efectivo de 7,6 m³.

El cálculo del caudal de bomba será proporcional al especificado en la tabla. Dado que la relación no es clara a simple vista, se hará una aproximación por curvas.

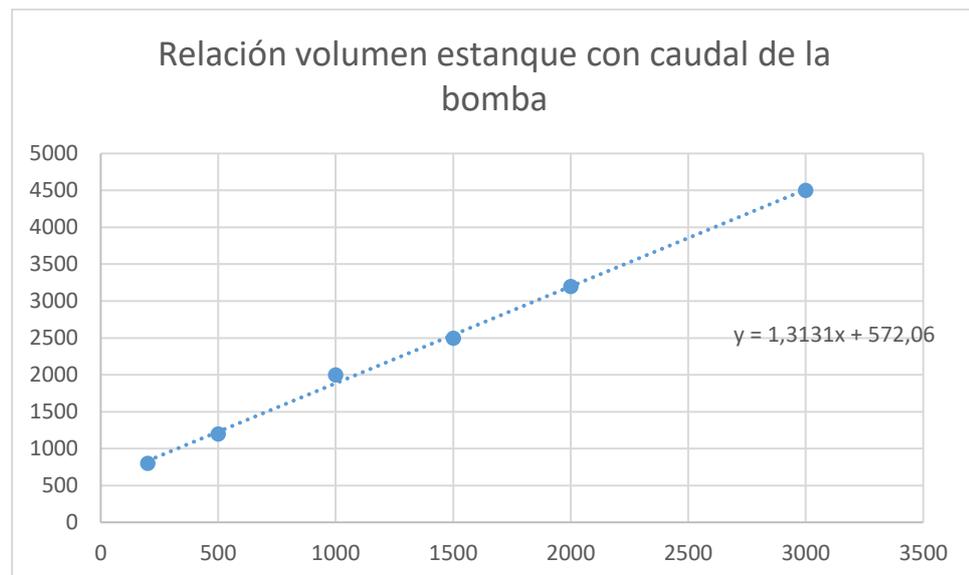


Ilustración 18. Representación relación volumen tanque- caudal de la bomba. Fuente: Propia. Datos: FAO

De la línea de tendencia de mejor ajuste se obtiene una ecuación linear, en la que podemos sustituir nuestro volumen de tanque de engorde calculado.

$$V = 25.000 L$$

$$Q = 1,3131 \cdot V + 572,06 = 33.339 \frac{L}{h} = 9,28 \frac{L}{s}$$

El siguiente paso es aplicar el método iterativo visto anteriormente para las pérdidas de carga. Se estipula una longitud de tubería flexible de PE desde el estanque de bombeo hasta el de engorde de 3 m. El diámetro de la tubería de conexión será de 60mm, ya que es el diámetro normalizado que mayor facilidad tiene de adquisición. El resultado final sería el siguiente:

$$c = 3,28 \frac{m}{s}$$

$$D = 60 mm$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 2,5 \cdot 10^{-5}$$

$$Re = 1,96 \cdot 10^5$$

$$f = 0,332$$

$$h = 0,332 \cdot \frac{3}{0,06} \cdot \frac{3,28^2}{2 \cdot 9,81} = 9,11 m$$

Para calcular la altura de bomba necesaria, no se requerirá usar ni la variación de presiones entre el tanque de bombeo y el de engorde ni la diferencia del cuadrado de velocidades, al ser ambas magnitudes nulas (ambas tienen presión atmosférica y en ambas superficies de agua se presupone velocidad nula). Por tanto, el cálculo de la "H_{bomba}" se reduce a:

$$h_{tanque} = 0,9 m$$

$$h_{bombeo} = -2 m$$

$$h_{pérdidas} = 9,11 m$$

$$H_{bomba} = h_{engorde} - h_{bombeo} + h_{pérdidas} = 12 m$$

Conociendo la altura y el caudal objetivo de la bomba, se halla la potencia de bomba requerida:

$$P_{bomba} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H_{bomba} = 9,28 \cdot 10^{-3} \cdot 998 \cdot 9,81 \cdot 12 = 1090 W$$

Como se puede observar, las pérdidas por carga son responsables de cuadruplicar la potencia de bomba requerida, por lo que se debería de estudiar el uso de una tubería de, por ejemplo, 110 mm de diámetro. Si realizamos la comprobación:

$$c = 0,98 \frac{m}{s}$$

$$D = 110 \text{ mm}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 1,36 \cdot 10^{-5}$$

$$Re = 1,07 \cdot 10^5$$

$$f = 0,339$$

$$h = 0,339 \cdot \frac{3}{0,11} \cdot \frac{0,98^2}{2 \cdot 9,81} = 0,45 \text{ m}$$

$$H_{bomba} = 3,35 \text{ m}$$

$$P_{bomba} = 304,3 \text{ W}$$

Esta potencia requerida hace mucho más viable el diseño acuapónico, con el único requerimiento de encontrar una bomba en el mercado que trabaje con ese ancho de tubo.

Capítulo III: Impacto Medioambiental

Índice

11. IMPACTO SOBRE LA CUENCA HIDROLÓGICA DE LOS DISEÑOS	59
11.1 Impacto del diseño de circuito abierto	59
11.2 Impacto del diseño de circuito cerrado.....	60

11. IMPACTO SOBRE LA CUENCA HIDROLÓGICA DE LOS DISEÑOS

11.1 Impacto del diseño de circuito abierto

El diseño de una instalación de piscicultura acarrea el estudio de los suministros de agua de la localización; esto implica conocer la capacidad de la cuenca hidrológica o del acuífero usado como fuente del agua, el plan de gestión de las aguas residuales y un estudio de escorrentías o modificaciones sobre el terreno y su capacidad de absorber las lluvias tras llevar a cabo la construcción.

Para el diseño de la instalación de circuito abierto se necesitan sólo para llenarlo 180,52 m³ de agua, que se extraen de un acuífero situado a 1 km. Dado que no se han realizado medidas exactas sobre la capacidad del acuífero y su tasa de regeneración, se toma en cuenta el uso histórico para irrigación. La experiencia en 2018 fue del uso diario durante la estación seca (5 meses) del acuífero para la irrigación de 5 ha de cultivo de trigo mediante un sistema de aspersión.

Dado que no hay datos estándar en la zona detallados sobre el uso de agua para el cultivo de trigo en regadío y que cualquier aproximación hecha con datos locales (España) estaría condicionada por la variedad genética de trigo utilizada, sus requerimientos y demás parámetros de producción como la cantidad de insumos (pesticidas, fertilizantes, etc.) así como las características y composición orgánica del suelo, se entiende que el acuífero local está cualitativamente capacitado para soportar las exigencias hídricas del estanque de engorde.

La problemática de recurrir a datos históricos no exactos es la falta de previsión del alcance de modificaciones por circunstancias excepcionales. En 2019 las precipitaciones en Zimbabue se han reducido un 25% con respecto al año pasado en el mismo período¹⁹. Al ser una región de clima semi-árido, variaciones de ese calibre pueden significar el agotamiento de un cauce en la estación seca. Si se compaginan en los mismos terrenos la explotación piscícola y el cultivo de regadío (siendo mayor el gasto en la irrigación), es posible que se extenúen las reservas del acuífero, con las consecuencias catastróficas que puede acarrear no sólo a nivel productivo, sino de suministro para cubrir necesidades básicas de los lugareños que lo explotan también (BROW12).

¹⁹ <https://www.nytimes.com/2019/07/31/world/africa/zimbabwe-water-crisis.html>

11.2 Impacto del diseño de circuito cerrado

El aliciente del diseño de la instalación de piscicultura con circuito cerrado es que, gracias a la recirculación del agua, se usa prácticamente el mismo volumen con aportes mínimos puntuales y las necesidades volumétricas también son mucho menores.

El coste medioambiental derivado de este diseño deriva del suministro eléctrico continuo necesario para su correcto funcionamiento. La mayor parte de la energía utilizada en Zimbabwe procede de la quema de biomasa como madera y despojos vegetales para uso doméstico, como cocinar o calefacción.

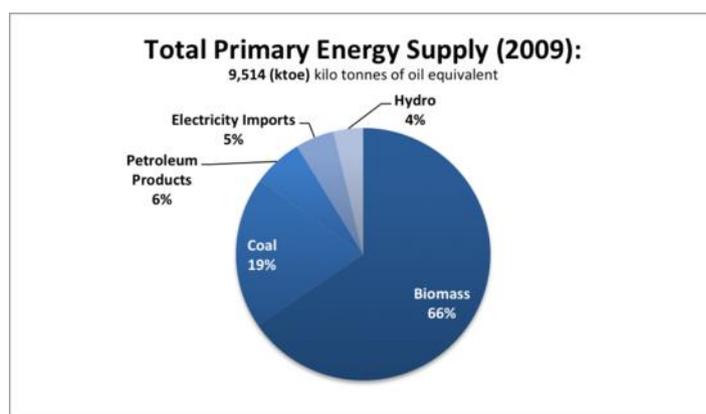


Ilustración 19. Reparto de las fuentes de energía en Zimbabwe. Fuente: energypedia

La generación eléctrica en sí está suministrada en un 53 % por fuentes renovables²⁰, pero la crisis energética de los últimos años obliga a una dependencia de la importación de electricidad y el uso de las centrales térmicas en mayor medida.

El uso continuado de suministro eléctrico, aparte de inviable actualmente en la situación energética del país, contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero. El cambio climático afecta significativamente al país, con lluvias cada vez más erráticas y aumento en el número de desastres naturales como inundaciones o ciclones²¹. Si añadimos el efecto multiplicador de la sequía, haciendo depender energéticamente más aun de los combustibles fósiles en vez de la generación

²⁰ https://energypedia.info/wiki/Zimbabwe_Energy_Situation

²¹ <https://www.gfdrr.org/en/zimbabwe>

hidroeléctrica por la disminución del potencial, la situación se torna exponencialmente más crítica.

En caso de fallo eléctrico en el suministro o la imposibilidad de instalar una batería con placas solares como alimentación, cualquier incidente en el funcionamiento de la bomba del circuito cerrado sería subsanado por un generador diésel, contribuyendo directamente a la emisión de gases.

Capítulo IV: Anejos

Índice

ANEJO A: IMAGEN VÍA SATÉLITE DE LA UBICACIÓN DEL PROYECTO, CFA.....	67
ANEJO B: IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO.....	68
B.1 Modificaciones iniciales sobre terreno del diseño	68
B.2 Plan de ejecución	69

ANEJO A: IMAGEN VÍA SATÉLITE DE LA UBICACIÓN DEL PROYECTO, CFA

Gracias a la tecnología de *Google Maps* se pudo comenzar a dimensionar las instalaciones con bastante exactitud antes de visitar la ubicación en persona.

Google Maps



Imágenes ©2019 CNES / Airbus, Datos del mapa ©2019 50 m

ANEJO B: IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO

Desde el 8 de julio hasta el 25 de agosto se llevó a cabo la implantación del diseño de instalación piloto de piscicultura de circuito abierto en la localización exhibida en el anejo A.

B.1 Modificaciones iniciales sobre el terreno del diseño

Tras la llegada a Harare, capital del Zimbabue, se mantuvo una reunión con el fundador y director de la fundación Child Future Africa, George Seremwe. Se descarta por completo el diseño acuapónico en la ubicación, alegando que no hay limitaciones de volumen de agua ni superficie de terreno disponible para el diseño de circuito abierto y, sin embargo, existe bastante problemática con el suministro eléctrico.

La zona de implementación fue visitada 2 días más tarde. Se definió un curso de acción que implicaba despejar la futura zona del estanque de maleza para comenzar la excavación, así como los alrededores para asegurar un acceso fácil y exponer el estanque al sol lo máximo posible. Se establecieron los límites del estanque tras una medición expeditiva de su perímetro, marcando el comienzo de la excavación.

Antes de comenzar la excavación, las directrices de profundidad cambiaron, la dirección de CFA vio conveniente cavar 1,2 m en el sustrato en vez de cavar 0,6 y con el volumen de tierra evacuado construir los diques hasta 0,6m por encima del nivel superficial del terreno; se alegó que el coste de mano de obra sería más barato, se garantizó de la diferencia de cota con los campos de cultivo donde iría el depósito del drenaje sería suficiente y que la tierra removida sería fácil de transportar o usar para hacer las pendientes de 45 °. La intención de abaratar costes venía precedida por la voluntad de realizar otro proyecto con el mismo presupuesto en una localización diferente, concretamente el poblado de Kazai.

La primera opción para el drenaje del estanque fue un sistema de tubería en T, que sólo permitía fijar una altura de columna de agua máxima y el drenaje total del estanque. Se decidió optar por este método para abaratar costes, pues sólo requería de tuberías rígidas de PVC y un par de válvulas para regular el flujo.

Se plantea la ampliación del proyecto con un drenaje común de las pocilgas a un contenedor de estiércol.



Ilustración 20. Drenaje en T, con opción de mantener el nivel máximo de agua o vaciar el estanque. Fuente: Fish Academy

B.2 Plan de ejecución

Tabla 6. Planificación inicial de tareas y realización final. Fuente: Propia

Operaciones	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Previsto Ejecutado
Excavación del terreno	█						
Excavación de la zanja de drenaje y pediente de drenaje		█					
Instalación de drenaje			█				
Apisonado del suelo				█			
Construcción de diques					█		
Colocación y sellado de la impermeabilización						█	
Montaje de las conexiones de alimentación							
Llenado del estanque							
Introducción de los peces							

La planificación de las obras contemplaba unos tiempos de ejecución breves con los que se comprometió el contratista, dado el compromiso de intentar finalizar su construcción en menos de 30 días.

El día 13 de julio se llegó a un acuerdo para la excavación del volumen principal del estanque en una semana, por valor de 5000 RGTS zimbabuenses, al cambio unos 500 dólares. La cantidad de operarios los primeros 5 días fue 5, que más tarde se amplió a 8, divididos en el grupo inicial de 5 y el nuevo grupo de 3, viendo la falta de progreso. Se acordó dividir el montante total del salario en 8 partes, cada parte representando un área excavada de 5 x5 m², pagándose por área excavada. Esta medida se introdujo para fomentar la competitividad entre los 2 grupos de trabajadores y acelerar el

ritmo. Los voluntarios del proyecto también se sumaron por periodos a las tareas de excavación.



Ilustración 21. Excavación del terreno al 50% del progreso. Nótese la superficie despejada que marca el perímetro del estanque.

En la segunda semana de trabajo se terminó la excavación del estanque principal, aunque se necesitaron 4 días más para ajustar zonas del fondo y retirar rocas afiladas. La justificación del retraso en los plazos se debe en parte a la existencia de una capa de roca madre granítica a 50 cm de profundidad en la mayoría de la superficie del estanque. La excavación se realizó de forma manual, con palas y picos.

Entre la 3ª y la 4ª semana de trabajos se produjo un parón en el desarrollo de la obra. Sólo se realizó la pendiente de drenaje de 2 °, pues hubo un malentendido sobre la forma de utilizar la tierra desprendida desalojada, esperándose la llegada de un camión que traería arena de granulometría fina para hacer la cama para la zona y cargar a la vuelta con gran parte de la tierra desalojada.

Se opta por aplanar el fondo del estanque subcontractando una apisonadora. El mismo contratista ofrece la mano de obra para todas las tareas hasta la finalización de la instalación por 100 dólares más, por los retrasos sufridos. Antes de traer la apisonadora, se aprovechan las horas de suministro eléctrico nocturnas para bombear agua con tuberías de irrigación a la zanja y ablandar el terreno.



Ilustración 22. Inundación del fondo del estanque para apisonar el terreno.

Se despeja la tierra acumulada en un pequeño perímetro alrededor del estanque para permitir la excavación de la zanja del drenaje.



Ilustración 23. Comienzo del margen despejado en el perímetro para cavar la zanja de la tubería de drenaje. El fondo del estanque ya se encuentra apisonado.



Ilustración 24. Zanja de 30 cm en el terreno para las conexiones del drenaje con el depósito en los campos de cultivo. El mismo procedimiento será usado para instalar la tubería de alimentación.

En la 4ª semana se toma la decisión de volver al plan original de realizar un dique de contención para subir la cota del estanque y proteger frente a la escorrentía de la ladera en época de lluvias. Además, se cambia el diseño del drenaje por uno de tubo flexible con guía, premiando la practicidad de poder manejar el nivel del agua para facilitar tareas como la recolección de los peces. Se instala el drenaje con un tubo de PE de 110mm de diámetro, con el extremo mallado para evitar fugas de peces y la introducción de sólidos voluminosos. Se realizan las paredes a 45 °. Se procede a colocar la lona de plástico PVC de 0,5 mm de espesor y se sella con silicona a la tubería de drenaje. Se comienza la conexión del depósito de agua de irrigación con el estanque.

En la 6ª semana se termina el conducto de alimentación y se procede a rellenar el estanque por primera vez. Se deja reposar 2 días para comprobar cambios sustanciales en el nivel por si hay fugas. Posteriormente se fertiliza con estiércol porcino a razón de 25 kg desmenuzados por toda la superficie del estanque. Esto permitirá la producción del fitoplancton antes de la introducción de los alevines.



Ilustración 25. Llenado inicial de la piscina. Obsérvese como la capa de tierra destinada a proteger de rayos UV a la lona se retira conforme se vierte el agua y una parte de la lona se desprende.

A los 4 días de fertilizar el estanque y tras comprobar que no hay fugas, se adquieren 1000 alevines de tilapia que se transportan desde Harare durante 2 horas en coche. La mortandad total del viaje y la introducción es del 50% por fallos en la metodología, al inducir en los alevines un shock térmico sin dejar tiempo para igualar la temperatura de las bolsas de transporte a la del estanque. Se compran suministros de alimento comercial para el primer trimestre por valor de 150 RGTS, del orden de unos 14-16 dólares.



Ilustración 26. Proyecto de instalación de piscicultura finalizado.

DOCUMENTO N°2, PRESUPUESTO

Capítulo V: Presupuesto general

Índice

2.1 PRESUPUESTO GENERAL.....	81
------------------------------	----

2.1 PRESUPUESTO GENERAL

En este documento se explicará el presupuesto realizado para la instalación de piscicultura de circuito abierto, al haber sido el proyecto desarrollado.

Muchos de los elementos exigidos para el diseño resultan difíciles de encontrar en catálogos on-line de Zimbabue, por lo que se estimarán con productos comercializados en España.

Se dividirán los costes en 3 apartados:

- Costes de excavación:
 - Mano de obra
 - Palas y picos
 - Subcontratación de apisonadora
- Costes de fontanería:
 - Mano de obra
 - Tuberías rígidas de PVC
 - Tuberías flexibles de PE
 - Cemento de PVC
 - UniSeal
- Costes de instalación de piscicultura:
 - Lona de PVC (243 m²)
 - Silicona adhesivo-sellante
 - Peces

Los costes de mano de obra se dividen en 2 apartados ya que parte del presupuesto irá destinado a la excavación del estanque y otra a la excavación de las trincheras donde colocar las tuberías.

En la siguiente tabla se detallarán los costes unitarios en euros, tomando en cuenta el cambio euro/dólar a 1/1,12. Cuando el precio unitario varíe según el número de unidades compradas, se especificará en que unidades se dividen en la columna de unidades.

El coste total de la instalación es de 3002,01 €. Los factores a tener en cuenta para comprender este precio son:

- El precio y la calidad de las herramientas será menor en Zimbabue, pues no está en el interés de la fundación comprar herramientas de uso a largo plazo, seguramente se alquilen o pidan incluidas en la mano de obra.
- La mano de obra podría salir más barata si se llega a acuerdos con el centro de formación profesional cercano a Child Future Africa, llamado Chaminuka.
- Los precios de los materiales en el destino pueden fluctuar bastante en cualquier sentido, pues, aunque el euro sea una moneda fuerte comparada con el dólar zimbabuense (RGTS es la moneda digital), es un país que depende mucho de las importaciones²².

²² <http://www.fao.org/3/y4632s/y4632s2u.htm>

BIBLIOGRAFÍA

- [SOME14] Somerville, C., M. Cohen, E. Pantanella, A. Stankus, A. Lovatelli, " Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming", Roma, Italia. 2014.
- [SAAV06] Saavedra, M.A., "Manejo del cultivo de tilapia", Managua, Nicaragua. 31 de julio al 4 de agosto de 2006.
- [BROW12] Brown, D., R. R. Chanakira, K. Chatiza, M. Dhliwayo, D. Dodman, M. Masiwa, D. Muchadenyika, P. Mugabe, S. Zvigadza, "Climate change impacts, vulnerability and adaptation in Zimbabwe", IIED, Working Paper N°3, Diciembre 2012.