



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE PISCIFACTORÍA
PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL
EN KAZAI, ZIMBABUE**

Autor: Wenceslao Civeira Marín

Directora: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Junio de 2020

ESTE PROYECTO CONTIENE LOS SIGUIENTES DOCUMENTOS:

DOCUMENTO I: MEMORIA

I.I MEMORIA	pág. 19-50
I.II CÁLCULOS	pág. 51-72
I.III ESTUDIO ECONÓMICO	pág. 73-82
I.IV PLAN DE EJECUCIÓN	pág. 83-90
I.V IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	pág. 91-96
I.VI ANEXOS	pág. 97-110

DOCUMENTO II: PLANOS

II.I LISTADO DE PLANOS	pág. 115-120
II.II PLANOS	pág. 121-128

DOCUMENTO III: PRESUPUESTO

III.I SUMAS PARCIALES	pág. 131-136
III.II PRESUPUESTO GENERAL	pág. 137-142

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título:

**DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE PISCIFACTORÍA PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL
EN KAZAI, ZIMBABUE**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2019-2020 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.: WENCESLAO CIVEIRA MARÍN

Fecha: 23/06/2020

Handwritten signature of Wenceslao Civeira Marín in black ink.

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: MIREN TELLERÍA AJURIAGUERRA

Fecha: 23/06/2020

Handwritten signature of Miren Tellería Ajuriaguerra in black ink.



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE PISCIFACTORÍA
PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL
EN KAZAI, ZIMBABUE**

Autor: Wenceslao Civeira Marín

Directora: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid

Junio de 2020

*A mis padres,
que me han dado la vida y la mejor educación.*

*A mis hermanos,
que siempre serán mi ejemplo a seguir.*

*A mi tío Wences y a mi tía Ana,
ejemplo de entrega incondicional a los demás.*

*“La solidaridad no es un sentimiento superficial, es la determinación firme y perseverante de
empeñarse por el bien común, es decir, el bien de todos y cada uno para que todos seamos
realmente responsables de todos”*

San Juan Pablo II

DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE PISCIFACTORÍA PARA COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN KAZAI, ZIMBABUE

Autor: Wenceslao Civeira Marín

Directora: Miren Tellería Ajuriaguerra

Entidad colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

En este Trabajo Fin de Grado se presenta el diseño de una piscifactoría conforme a las necesidades del colegio profesional de Kazai, en Zimbabwe. A través de la ingeniería para el desarrollo se ha elaborado una solución que se adapta a la comunidad local, garantizando en todo momento la calidad del diseño.

Este proyecto tiene cinco objetivos principales, entre los que se encuentra completar la oferta educativa del colegio de formación profesional de Kazai, promover una actividad económica distinta a la agricultura y la ganadería, proveer de una fuente de alimento alternativa a la comunidad local, impulsar un pequeño negocio de venta de pescado, y facilitar el acceso a la educación de los niños de la comunidad.

La motivación principal del autor para realizar este proyecto ha sido darle un sentido social al Trabajo Fin de Grado. A través de proyectos de cooperación al desarrollo se pueden activar palancas de cambio que mejoren el día a día de personas que viven en situaciones verdaderamente complicadas. Con esta idea en mente, el autor pretende poner los beneficios de la ingeniería al servicio de la sociedad.

El proyecto en su totalidad conlleva seis fases, que incluyen la investigación necesaria para el diseño, el establecimiento de las necesidades concretas del proyecto, el diseño de la piscifactoría, la preparación para la ejecución, la búsqueda de financiación y concienciación acerca de la realidad de Zimbabwe en España, y la implantación y puesta en marcha de la piscifactoría.

El primer documento del proyecto es la memoria, donde se explica el estado de la acuicultura en el mundo, se da a conocer la realidad de Zimbabwe, y se detalla la solución escogida en base a las condiciones del entorno y a los factores limitantes, principalmente el económico.

La construcción principal del proyecto es el estanque de la piscifactoría, construido con hormigón armado con mallas de acero. El estanque se levantará sobre una solera también de hormigón armado, de 20,2 metros de largo por 10,2 metros de ancho. Tendrá un espesor máximo de 30 centímetros y un espesor mínimo de 20 centímetros. La superficie superior tendrá una pendiente del 0,5% del largo, razón para la variación del espesor de la solera.

Sobre la solera se construirá el muro exterior del estanque, con unas paredes de un espesor de 10 centímetros. Estas paredes se elevarán con una altura máxima de 1,1 metros (desde el extremo de la solera de espesor de 30 centímetros). De esta forma, en las proximidades de la pared sobre el espesor de solera de 20 centímetros, la profundidad máxima será de 1,2 metros, mientras que en el extremo opuesto será de 1,1 metros.

Se dejará sin llenar una altura de 10 centímetros de muro, por lo que la altura máxima del agua en el estanque será de 1,1 metros, y la altura mínima, 1 metro. Esto supone un volumen de llenado de 210 metros cúbicos.

De esta forma, el estanque tendrá una superficie de 200 metros cuadrados. Para garantizar varias cosechas a lo largo del año, se pretende tener peces de distintos tamaños. Por esta razón, se delimitará el área del estanque en dos zonas separadas por una malla plástica. Una zona, de 20 metros cuadrados, se destinará a criar individuos de 10 gramos, y otra segunda zona, de 180 metros cuadrados, se destinará al engorde de individuos de 100 gramos.

El canal de entrada se sitúa en el punto medio de la pared sobre el mayor espesor de solera, con un diámetro de 32 milímetros y a 5 centímetros del borde superior. Una tubería de 30 centímetros vierte el agua en el estanque.

El canal de vaciado se encuentra en el extremo opuesto. Es una tubería de 25 centímetros de diámetro a la altura del fondo del estanque, que descarga 0,5 metros fuera del estanque.

Con el fin de evitar el desbordamiento del estanque en caso de lluvia, se han diseñado seis pequeñas vías de evacuación de 32 milímetros de diámetro. Se situarán tres en cada pared del largo del estanque, a 5 centímetros del borde superior.

El proyecto también incluye un estudio económico que valora la viabilidad económica de su implantación y su sostenibilidad en el tiempo. Una vez puesto en marcha, se estima que la piscifactoría tendrá unos gastos mensuales de 667,26 €.

Por otro lado, gracias a la venta de pescado, se calcula que el colegio de formación profesional será capaz de ingresar mensualmente unos 1.592,92 €. De esta forma, el saldo de la actividad económica resulta en un beneficio mensual neto de 925,66 €.

Esta cantidad podrá ser destinada al mantenimiento de la institución educativa, así como a facilitar el acceso de los niños de la comunidad a una educación de calidad.

El impacto medioambiental neto de la implantación del proyecto se estima que será positivo. Tras realizar el estudio pertinente, se ha concluido que los residuos generados serán mínimos, y de carácter no peligroso (madera, hierro, acero, y plásticos).

Para contrarrestar ese efecto negativo, el proyecto conlleva la plantación de árboles en los alrededores del estanque. De esta forma, los árboles generarán sombra sobre el estanque y evitarán la evaporación de agua. Más en profundidad, evitando esa evaporación se reduce la cantidad de agua necesaria para rellenar el estanque, pudiendo usar esa agua para otro fin.

Además, se pretende integrar la piscifactoría en el ámbito agrícola-ganadero, de tal forma que los residuos orgánicos del ganado se puedan utilizar para abonar el agua del estanque, y los desechos del cultivo, para alimentar a los peces.

Este documento también incluye en los anexos una explicación de la alineación de este proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la aportación que hace a cada uno de ellos.

En relación al impacto social de este proyecto en la comunidad de Kazai, cabe destacar que 2.000 personas se verán directamente impactadas, siendo 1.600 de ellas niños que atienden a colegios u orfanatos cercanos. El impacto indirecto del proyecto en la zona podría superar las 8.000 personas.

El segundo documento del proyecto recoge los tres planos que se han dibujado para llevar a cabo la construcción del estanque de la piscifactoría. En el primero de ellos se detallan las medidas de la solera, en el segundo, las del estanque, y en el tercero, se muestra la delimitación de las zonas de criadero y engorde del estanque.

En el tercer documento se detalla el presupuesto del proyecto y se explican sus sumas parciales. La estimación del coste del proyecto es de 3.964, 03€.

Palabras clave: piscifactoría, acuicultura, pesca, cooperación, desarrollo, África

FISH FARM DESIGN AND IMPLEMENTATION FOR PROFESSIONAL DEVELOPMENT SCHOOL IN KAZAI, ZIMBABWE

Author: Wenceslao Civeira Marín

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Collaborating entity: ICAI – Comillas Pontifical University

The present Bachelor Thesis gathers the design of a fish farm in conformity with the needs of the professional development school of Kazai, in Zimbabwe. Through engineering for development, a solution adapted to the local community has been elaborated, guaranteeing in every moment the quality of the design.

This project has five main goals, which include increasing the educational offering of the professional development school of Kazai, promoting an economic activity different from agriculture and livestock farming, providing the local community with an alternative food resource, boosting a small fish selling business, and increasing the access to education for the youngsters in the community.

The author's main motivation for carrying out this project is giving his Bachelor Thesis a social purpose. Through development cooperation projects it is possible to activate levers that improve day to day of people living in truly difficult conditions. Bearing this idea in mind the author claims to bring the benefits of engineering to society.

The project as a whole involves six phases, counting the preliminary research, establishing the particular needs of the project, the designing of the fish farm, the preparation for execution, fundraising and awareness of the reality of Zimbabwe in Spain, and the implementation and launching of the fish farm.

The first document of the project is the report, where it is explained the current development of aquaculture in the world. Moreover, it is given a brief approach to Zimbabwe's reality, followed by a detailed description of the solution to be implemented. The final design is aligned with the needs of the local community and constrained by economic factors.

The main construction of the project is the fishpond, built of concrete reinforced with steel bars. It will be built on 20,2 x 10,2 meters screed, also made of reinforced concrete. The screed will be 30 centimeters at its maximum thickness and 20 centimeters at its minimum. The upper surface will be sloped by 0,5% of its length, the main reason for the variation of the screed's thickness.

On the edge of the screed it will be built the surrounding wall of the fishpond. The wall will be 10 centimeters thick and it will rise to 1,1 meters (counting from the thickest side of the screed). This way, in the surroundings of the thinnest part of the screed the fishpond will have its maximum depth, 1,2 meters, whereas on the opposite side the fishpond will be 1,1 meters deep.

The fishpond will be filled until 10 centimeters from the top of the wall. In accordance, the maximum height of the water will be 1,1 meters, and the minimum, 1 meter. These specifications involve a filling volume of 210 cubic meters.

The area of the fishpond amounts to 200 square meters. With the purpose of guaranteeing a few harvests throughout the year, fish of different sizes will be stocked. The surface of the fishpond will be divided into two areas thanks to a plastic mesh. The breeding area will have 20 square meters and 10 grams fish will be placed in it. The growing area will have 180 square meters and it will stock 100 grams fish.

The inlet channel is placed in the middle of the wall on the thickest side of the screed, 5 centimeters down the edge of it. The hole of the channel has a diameter of 32 millimeters, and the water will be discharged through a 30 centimeters pipe.

The outlet channel is placed on the opposite side. It is a 25 centimeters diameter pipe at the bottom of the fishpond, discharging 0,5 meters out of it.

With a view to preventing water from flowing over the wall in case of heavy rain, six little evacuation routes have been designed. These routes are 32 diameter holes, placed three in each length wall, 5 centimeters down the highest edge.

This project also includes an economic study that values the financial viability of its implementation and its sustainability throughout the years. Once set up, the fish farm is estimated to report monthly expenses of 667,26 €.

On the other hand, thanks to fish selling, the professional development school will be able to make monthly revenues amounting to 1.592,92 €. Doing the mathematical calculations, the new economic activity will provide monthly net profits of 925,66 €.

This amount could be used for the financial support of the institution, as well as for increasing the access of the children of the community to high-quality education.

The net impact on the environment of the implementation of the project is positive. After carrying out the appropriate study, conclusions say that waste generated will be minimum and no dangerous (wood, iron, steel, and plastics).

To counteract the negative effect, the project involves tree planting in the surroundings of the fishpond. This way, trees will shade the fishpond, avoiding water from evaporating. More in-depth, avoiding water evaporation reduces the amount of water required for refilling the fishpond.

Furthermore, it is planned to integrate the fish farm with the already set up agricultural crops and livestock farms. This process involves using organic waste from livestock to manure the water and crop waste for fish feed.

This document also includes an explanation of how this project is aligned with the Sustainability Development Goals. It is incorporated as an appendix.

Regarding the social impact of this project on the community of Kazai, it is remarkable that 2.000 people will be directly favored, amounting to 1.600 children who attend schools or orphanages in the nearby. The indirect impact of the project in a wider area could rise to 8.000 people.

The second document of this project gathers three plans drawn for the construction of the fishpond. The first of them details the size of the screed, the second one, the measuring of the fishpond, and the third of them shows how the fishpond is divided into two areas.

The third document details the budget of the project and explains its items. The budget estimates amount to 3.964,03 €.

Keywords: fish farm, aquaculture, fishery, cooperation, development, Africa

DOCUMENTO I: MEMORIA

Índice de tablas

Tabla 1: especies mayormente criadas en África Subsahariana. Fuente: FAO	42
Tabla 2: comparativa de especies candidatas. Fuente: FishBase.....	43
Tabla 3: cálculo de la velocidad de salida. Fuente: elaboración propia.....	61
Tabla 4: cálculo de la velocidad de salida. Fuente: elaboración propia.....	63
Tabla 5: especificaciones de la zona de criadero. Fuente: elaboración propia con datos del manual de USAID.....	69
Tabla 6: especificaciones de la zona de engorde. Fuente: elaboración propia con datos del manual de USAID.....	69
Tabla 7: nutrientes básicos para la alimentación de los peces. Fuente: adaptación de Robinson (2006)	70
Tabla 8: resumen de la recaudación durante 2020. Fuente: elaboración propia.....	78
Tabla 9: cálculo de la rentabilidad del negocio. Fuente: elaboración propia	79
Tabla 10: periodo de recuperación de la inversión. Fuente: elaboración propia	80
Tabla 11: residuos generados durante la construcción de la piscifactoría. Fuente: elaboración propia, CYPE	95
Tabla 12: crecimiento y alimentación del Clarias Gariepinus. Fuente: USAID	101

Índice de gráficos

Gráfica 1: evolución PIB per cápita de Zimbabue. Fuente: elaboración propia.....	28
--	----

Índice de figuras

Ilustración 1: bandera y localización de Zimbabue en África. Fuente: Wikipedia	27
Ilustración 2: localización de Mt. Darwin. Fuente: Wikipedia.org	29
Ilustración 3: edificios de la escuela secundaria de Kazai. Fuente: Project Zimbabwe	30
Ilustración 4: niñas de la comunidad bebiendo agua. Fuente: Project Zimbabwe.....	31
Ilustración 5: niños de la comunidad de Kazai. Fuente: Project Zimbabwe.....	32
Ilustración 6: volumen y peso de la pesca y la acuicultura a nivel mundial. Fuente: FishStat y modelo IMPACT, BM	34
Ilustración 7: tasa anual de crecimiento de la pesca y la acuicultura mundial. Fuente: FishStat y modelo IMPACT, BM	34
Ilustración 8: Piscifactoría en Omorio. Fuente: Engineers Without Borders	36
Ilustración 9: Piscifactoría en Bindura. Fuente: Sustain Zimbabwe	37

Ilustración 10: captura de peces en Ondomio. Fuente: CC ONG AYUDA AL DESARROLLO	38
Ilustración 11: integración de una piscifactoría en una granja. Fuente: Fish Consulting Group	39
Ilustración 12: Esquema de piscifactoría. Fuente: ONUAA	39
Ilustración 13: Mount Darwin y Project Zimbabwe vistos desde el aire. Fuente: Google Maps	40
Ilustración 14: clima de Zimbabwe. Fuente: elaboración propia. Datos: Enciclopedia Britannica	40
Ilustración 15: Diagrama de Gantt del proyecto. Fuente: Elaboración propia	48
Ilustración 16: Perforación en Kazai durante el verano de 2019. Fuente: Project Zimbabwe ...	50
Ilustración 17: estanque de la piscifactoría. Fuente: elaboración propia	55
Ilustración 18: hormigón armado. Fuente: www.pinterest.es	56
Ilustración 19: fuerzas sobre superficies sumergidas. Fuente: apuntes Mecánica de Fluidos ...	57
Ilustración 20: canal de llenado. Fuente: elaboración propia	58
Ilustración 21: tubería PVC (izq.), tubería PE (dch.). Fuente: www.google.es	59
Ilustración 22: canal de vaciado. Fuente: elaboración propia	62
Ilustración 23: orificios de evacuación del agua. Fuente: elaboración propia	64
Ilustración 24: termómetro analógico. Fuente: www.lantelme-gmbh.de	65
Ilustración 25: medidor de oxígeno disuelto. Fuente: www.amazon.es	66
Ilustración 26: tiras multifuncionales de medición. Fuente: www.amazon.es	67
Ilustración 27: malla plástica y hembrilla para la delimitación de las zonas del estanque. Fuente: www.google.es	68
Ilustración 28: división del estanque con malla plástica. Fuente: elaboración propia	68
Ilustración 29: diseño de las camisetas de Project Zimbabwe 2020. Fuente: Project Zimbabwe	77
Ilustración 30: diseño de las pulseras de Project Zimbabwe 2020. Fuente: Project Zimbabwe.	77
Ilustración 31: cartel de la fiesta benéfica. Fuente: Project Zimbabwe	78
Ilustración 32: compactador artesanal. Fuente: FAO	87
Ilustración 33: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: Organización de las Naciones Unidas	104

CAPÍTULO 1: MEMORIA

CONTENIDOS DEL CAPÍTULO 1: MEMORIA

Introducción	27
Zimbabue	27
Project Zimbabwe	29
Estado de la cuestión	34
La acuicultura: un sector en crecimiento	34
La apuesta de Zimbabue por la acuicultura	35
Piscifactorías en el entorno	36
Ingenieros Sin Fronteras EE.UU. - Uganda	36
Muunganirwa Fish Project – Bindura, Zimbabue	37
CC ONG AYUDA AL DESARROLLO – Ondomio y Kobokiré, Mali	38
Proyecto de integración de agricultura-ganadería y acuicultura – Kagera, Tanzania	38
Aspectos relevantes para el diseño de la piscifactoría	39
Localización y área disponible	40
Clima	40
Fuente de agua	41
Solución escogida	42
El estanque	42
La especie	42
Guía de mantenimiento	44
Negocio	44
Motivación	45
Objetivos del proyecto	46
Metodología de trabajo	47
Investigación del estado de la cuestión	47
Búsqueda de financiación y concienciación	47
Necesidades concretas del proyecto	47
Diseño de la instalación	47
Preparación para la ejecución	47
Implantación y puesta en marcha del proyecto	48
Alteraciones por la pandemia global del COVID-19	49
Recursos a emplear	49

Introducción

En la sociedad interconectada en la que vivimos resulta complicado ser ajeno a las distintas realidades del mundo. Mientras unos países gozan de un nivel avanzado de desarrollo, otro gran número de países se encuentra en vías de alcanzarlo. Para reducir esta brecha, la Organización de las Naciones Unidas ha conseguido involucrar a 193 estados miembros para impulsar los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Estos objetivos se enmarcan en la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, que pretende mejorar la vida de todos los ciudadanos y “transformar nuestro mundo”.

En esta línea, instituciones como la Universidad Pontificia Comillas ICAI-ICADE, a través de la Fundación Ingenieros de ICAI para el Desarrollo y en colaboración con la ONG Child Future Africa, promueven entre sus alumnos de último curso proyectos de fin de carrera de cooperación al desarrollo, englobados en “Project Zimbabwe”.

Gracias a esta sinergia ha sido posible la construcción de una escuela de educación primaria, secundaria y de formación profesional, así como equipamientos de saneamiento y acceso al agua en la zona de Kazai, al noreste de Zimbabwe.

Con la ambición de continuar con este proyecto ilusionante, este año doce alumnos tomamos el testigo de esta iniciativa. Entre los proyectos a diseñar se encuentra un biodigestor, una carretera de acceso a la comunidad de Kazai o una instalación fotovoltaica, entre otros, además del que aquí se presenta.

Zimbabwe

La República de Zimbabwe se encuentra situada al sur del continente africano, entre los ríos Limpopo y Zambeze, sin tener salida al mar, y al sur de las cataratas Victoria. Tiene un clima tropical seco, compuesto por la estación seca, época de grandes sequías, y la estación lluviosa.



Ilustración 1: bandera y localización de Zimbabwe en África. Fuente: Wikipedia

El país obtuvo la independencia del Reino Unido el 18 de abril de 1980, cambiando su nombre de Rodesia a su actual denominación. Desde entonces, el partido ZANU-PF domina la política de Zimbabwe, liderado hasta 2017 por el líder histórico de la independencia Robert Mugabe.

En 2019, su población era de 14,4 millones de habitantes, residiendo 1,7 millones en la capital del país, Harare. El inglés es el idioma oficial del país, con otros idiomas locales como el shona y el ndebele. En cuanto a la religión mayoritaria del país, el 80% de la población es cristiana.

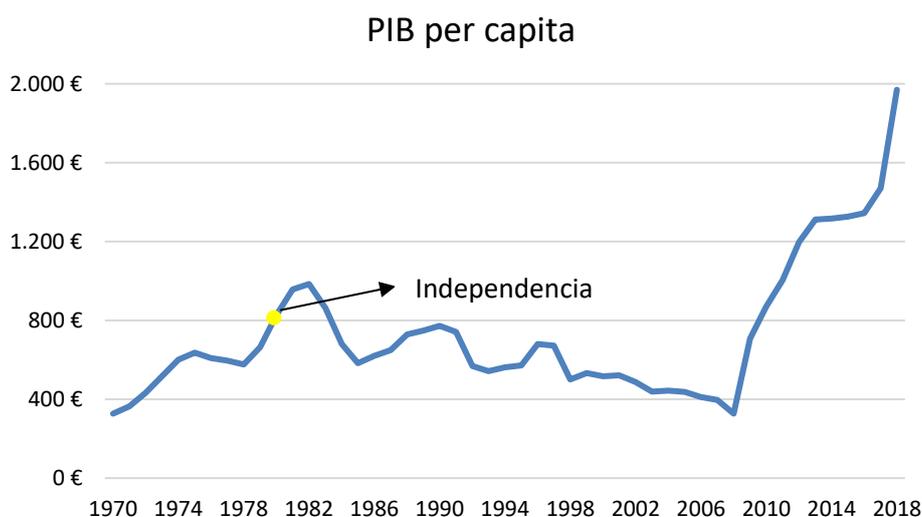
La población vive principalmente en áreas rurales (61%), con una densidad de 40 habitantes/km², una cifra muy baja comparada con los 93 habitantes/km² de España. La infraestructura del país no tiene un nivel suficiente de desarrollo para permitir un movimiento fluido de personas y mercancías, por lo que hay grandes diferencias entre las zonas rurales y las urbanas.

Durante el dominio británico, la clase empresarial estaba compuesta por la minoría blanca del país, poseedora de grandes plantaciones agrícolas, así como de la pequeña industria minera. Con la independencia de Zimbabue, el ejecutivo de Mugabe llevó a cabo las llamadas “políticas de indigenización”, buscando alcanzar mayor igualdad y crecimiento económico. Estas medidas se tradujeron en expropiaciones a la clase empresarial, y la consecuencia más inmediata fue la fuga de la inversión extranjera. El país no consiguió recuperar el nivel económico de los años 80 hasta mediados de 2010.

Una particularidad de la economía de Zimbabue ha sido la hiperinflación. En 2008, como consecuencia de la monetización de la deuda por parte del gobierno, la inflación en el país alcanzó la segunda cifra más alta de la historia: 79.600.000.000.000 % (los precios se duplicaron cada día entre noviembre y mediados de diciembre de 2008). En 2009, el gobierno decidió abandonar la moneda local y permitir un sistema multimonedado (dólar estadounidense, rand sudafricano, libra esterlina, yuan chino y pula de Botsuana).

Gracias al uso de moneda extranjera y a menores restricciones jurídicas, Zimbabue consiguió cierta estabilidad de precios, que impulsó el crecimiento económico en el periodo 2009-2013. En este año, la grave crisis económica mundial, así como la vuelta a las “políticas de indigenización” sumió al país de nuevo en una grave crisis económica.

Desde 2016, Zimbabue vive cierta recuperación de la expansión económica, pero siempre afectada por la excesiva intervención del estado en la economía. La inestabilidad política y jurídica también es otro factor que afecta directamente a la economía del país, especialmente al sector energético, que lastra consecuentemente a todo el tejido productivo.



Gráfica 1: evolución PIB per cápita de Zimbabue. Fuente: elaboración propia

En estas circunstancias, el 72% de la población vive por debajo del umbral de la pobreza. Así mismo, se calcula que más de 2,4 millones de personas se enfrentaron a inseguridad alimentaria durante el año 2019, y que existen alrededor de 600.000 niños que sufren desnutrición. Esta situación contrasta con el hecho de que Zimbabwe es un país que dispone de abundantes materias primas, así como de tierras suficientes que explotar.

Según datos del Banco Mundial y del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, la esperanza de vida al nacer en Zimbabwe es de 61,1 años (83,2 años en España), el Índice de Desarrollo Humano (valor máximo = 1) es de 0,535 (0,891 en España), y la renta per cápita en 2019 fue de 1.970 € (25.727 € en España).

Tras esta breve radiografía de la historia reciente de Zimbabwe y con el conocimiento de su situación económica y demográfica actual, se plantea una iniciativa de colaboración al desarrollo que permita impulsar una zona ya de por sí humilde dentro de un país en vías de desarrollo.

Project Zimbabwe

Project Zimbabwe es una iniciativa que se lleva desarrollando de manera ininterrumpida desde el curso 2016-2017. A lo largo de estos años, siempre ha colaborado bajo el amparo de la Fundación Ingenieros de ICAI para el Desarrollo, contando con numerosos alumnos de la Universidad Pontificia Comillas ICAI.

El proyecto se centra en construir los Trabajos de Fin de Grado de los estudiantes que participamos en la iniciativa. Además, hay otras dos labores importantes que conlleva formar parte de Project Zimbabwe. La primera es obtener la financiación necesaria para el proyecto a través de la recaudación de fondos y de donaciones. Para este fin se organizan torneos deportivos, conciertos y fiestas solidarias, mercadillos navideños, venta de camisetas y pulseras, entre otros. La segunda tarea es viajar a Zimbabwe en el verano para dirigir la construcción del TFG. Esta es la parte más enriquecedora y diferencial del proyecto, donde se tiene la oportunidad de convivir con la comunidad local, conociendo otra cultura y compartiendo tiempo de trabajo y diversión.

El hecho de ser partícipes del proyecto en todas sus fases (diseño, financiación y ejecución) hace que se sienta como totalmente nuestro, sacando lo mejor de nosotros para finalizarlo con éxito y alcanzando todos los objetivos planteados.

La construcción de los distintos proyectos se lleva a cabo en Mount Darwin, al norte de Zimbabwe, en la provincia de Mashonalandia Central. Mount Darwin se encuentra a unos 160 kilómetros al noreste de Harare, capital del país, y tiene cerca de 8.000 habitantes. Se trata de una zona muy deprimida dentro de un país ya de por sí muy pobre y con una infraestructura de acceso que la deja prácticamente incomunicada.



Ilustración 2: localización de Mt. Darwin. Fuente: Wikipedia.org

Las primeras acciones que se llevaron a cabo en este proyecto de desarrollo de las comunidades locales en Mt. Darwin consistieron en acondicionar y reformar el orfanato de la región. Con esta primera acción, se pudo aumentar el número de huérfanos que hospeda, aumentar su calidad de vida y darles herramientas para generar ingresos con los que hacerlo auto sostenible. Todo esto se hizo posible con la construcción de un nuevo edificio y la instalación de un depósito de 50.000 litros de agua, que facilita la obtención de cultivo de más valor.



Ilustración 3: edificios de la escuela secundaria de Kazai. Fuente: Project Zimbabwe

En una segunda etapa, se instaló una bomba que permite suministrar agua de un tanque de 5.000 litros a la red de distribución del colegio de primaria Rukururwi, donde acuden los residentes del orfanato. También se construyeron tres edificios para la escuela secundaria de Kazai, instalando además una bomba para la red de distribución de este colegio. Por último, en la comunidad de Dotito se ubicó un biodigestor, con el que poder aprovechar los residuos como fuente de energía limpia, evitando la quema de madera y carbón en las cocinas de los hogares.

En la tercera fase, durante el pasado verano, los esfuerzos se centraron en construir un centro de formación profesional. Los primeros años se dará formación teórica y práctica de agricultura y ganadería, pero en un futuro cercano la idea es poder impartir cursos de albañilería, cerrajería, carpintería, etc. Se trata de un proyecto prioritario en la zona por dos motivos: ofrecer a los jóvenes la posibilidad de continuar con su educación al terminar la fase obligatoria, e impulsar actividades económicas distintas de la agricultura y la ganadería.

En este sentido, un dato que impresiona verdaderamente es el hecho de que casi dos tercios de los trabajadores de Zimbabue están ocupados en el sector agrícola, pero, debido a su baja productividad, este sector solo genera el 11% del producto interior bruto. El sector servicios representa el 66% del PIB mientras que el sector secundario explica el 23% restante (datos del Banco Mundial de 2016). Es por este motivo por el que se pretende impulsar actividades productivas distintas a las del sector agrícola, a la vez que se mejora la productividad de éstas.

En 2017 se construyeron tres edificios para poder albergar las clases de secundaria de la comunidad local, lo que tuvo un impacto muy positivo y multiplicó por diez el número de alumnos. Sin embargo, al terminar la educación secundaria obligatoria muchos de ellos no pueden continuar formándose, y no son capaces de obtener un trabajo especializado que les permita mantenerse. La vocación de este centro es ofrecer las herramientas necesarias para que los jóvenes desarrollen habilidades suficientes que les ayuden a generar ingresos para sostener económicamente a sus familias, así como permitirles desarrollarse realizando un trabajo que les satisfaga.

Dado que es un proyecto muy ambicioso es necesario que tenga una buena cimentación para desarrollarlo de manera eficaz y con garantías de éxito. Por ello, en 2018 se inició una fase de estudio de centros similares en Zimbabwe, acompañado de trabajo de campo para conocer exactamente las necesidades del entorno donde se iba a construir. Además, en uno de los TFG llevados a cabo en el curso pasado se estudió la auto sostenibilidad económica y financiera del proyecto, para poder asegurar la continuidad una vez ejecutado.

En 2019 también se construyeron dos aulas donde impartir clases teóricas y prácticas, así como dos pequeños almacenes para material, producción y semillas. También se excavó un pozo de agua de 50 metros de profundidad y se instaló un sistema de bombeo de mediante placas solares que conducen el agua hasta dos tanques de 5.000 litros. Desde esos tanques se distribuye el agua a la zona de cultivo y al nuevo edificio.



Ilustración 4: niñas de la comunidad bebiendo agua. Fuente: Project Zimbabwe

En este curso 2019-2020 se pretende continuar con la adecuación del centro de formación profesional y con el desarrollo de las comunidades locales. Las acciones a ejecutar son:

- Definición de sistema de regadío para optimizar el consumo y maximizar productividad
- Construcción de zona común abierta para formaciones cortas mediante “workshops”
- Reparación de las carreteras de acceso a la escuela
- Construcción de un nuevo bloque para impartir más clases y proporcionar soporte administrativo
- Implantación de un sistema de saneamiento (letrinas) optimizado mediante un biodigestor
- Reparación de la presa construida localmente
- Instalación de turbina para aprovechamiento de presa local
- Construcción de piscifactoría para incrementar ingresos (desarrollada en este TFG)
- Construcción de instalaciones sencillas para animales (cerdos, gallinas, vacas, etc.)
- Instalación solar para bloques de aulas, pero con instalación de transformador eléctrico que reduzca costes y garantice red a todos los sistemas necesarios (equipos de regadío, formaciones tipo soldadura, etc.)
- Construcción de edificio para albergar varias consultas de asistencia básica, especialmente para mujeres embarazadas y asistencia para enfermedades que requieran de testeo (VIH, por ejemplo).

Project Zimbabwe tiene como principal objetivo desarrollar una de las zonas más pobres del sur de África generando impacto en las comunidades locales a través de la ingeniería. Haciendo partícipe a la comunidad, se pretende que ésta pueda crecer de manera sostenible e independiente. Los lazos de unión entre los estudiantes españoles y los habitantes de Mt. Darwin generan en ellos más inquietud y ganas de desarrollarse, a la vez que nos enseñan a nosotros a valorar y a dar gracias por lo afortunados que somos en nuestro día a día.



Ilustración 5: niños de la comunidad de Kazai. Fuente: Project Zimbabwe

Por último, cabe destacar que el impacto directo de Project Zimbabwe alcanza a unas 2.000 personas, de las cuales 1.600 son niños que atienden a los colegios y orfanatos en los que se trabaja. Además, gracias al desarrollo del centro de formación profesional el impacto indirecto del proyecto en la zona puede superar las 8.000 personas.

Todas estas acciones se realizan gracias al trabajo de los alumnos que han participado durante estos años, pero sobre todo gracias a la supervisión y dirección por parte de Miren Tellería y Manuel Moreno, sin los que Project Zimbabwe no sería posible.

Estado de la cuestión

Antes de iniciar el diseño de la piscifactoría para el centro de formación profesional de Kazai se ha hecho una revisión del estado del sector de la acuicultura en el mundo y más específicamente en Zimbabue. Además, se han consultado distintos proyectos de piscifactorías en contextos similares, dentro y fuera de Zimbabue. Con este análisis del estado de la cuestión se pretende aprender de ejemplos anteriores y aunar los avances más beneficiosos para la nueva instalación.

La acuicultura: un sector en crecimiento

Según el Banco Mundial, “cerca de dos tercios de los alimentos marinos que comemos se obtendrán gracias a la acuicultura para 2030”. El principal argumento que sostiene esta idea es que, debido a la creciente demanda de dichos productos, la pesca en aguas abiertas no es capaz de alcanzar un volumen sostenible en el tiempo. Dicho lo cual, se plantea el impulso de la acuicultura como complemento a la pesca para alcanzar un desarrollo sostenible.

Según las proyecciones de esta institución, la población mundial alcanzará los nueve billones de personas en 2050. Por este motivo, la necesidad de nuevos empleos y más comida para alimentar a la población impulsarán el crecimiento de la acuicultura, así como de otros sectores, para ayudar a que demanda y oferta encuentren el punto de equilibrio.

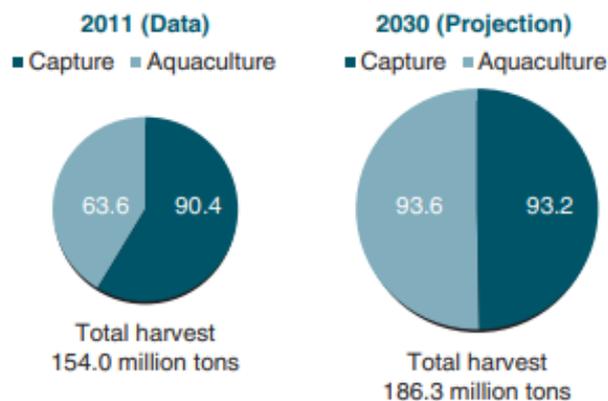


Ilustración 6: volumen y peso de la pesca y la acuicultura a nivel mundial. Fuente: FishStat y modelo IMPACT, BM

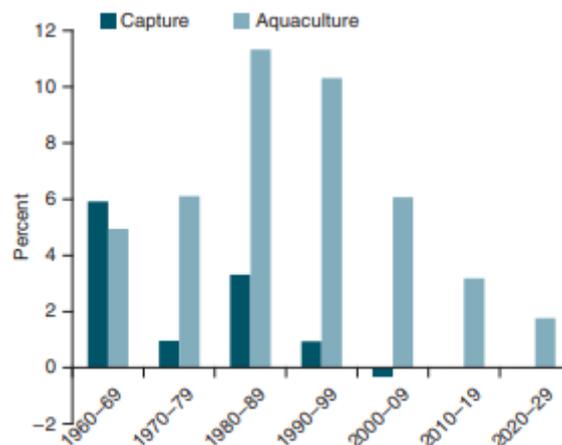


Ilustración 7: tasa anual de crecimiento de la pesca y la acuicultura mundial. Fuente: FishStat y modelo IMPACT, BM

Particularizando para el caso del África subsahariana, el Banco Mundial espera que para 2030 la producción de la acuicultura en esta región aumente un 54%, ligeramente por debajo de la media mundial, que se calcula aumentará un 62%.

Los países en vías de desarrollo cuentan con una gran desigualdad entre las zonas rurales y las urbanas, sumado a una infraestructura de distribución muy limitada. Por este motivo, la población que se encuentra alejada de la costa y de zonas urbanas no tiene acceso a productos del mar, dependiendo su alimentación en gran medida de la agricultura y ganadería. En caso de sufrir una sequía o cualquier otro imprevisto, su fuente de alimentación puede verse claramente dañada.

De este modo, la acuicultura permite tener un cultivo con menor dependencia de inclemencias del tiempo, una de las principales causas de hambrunas en estos países. Con la implantación de piscifactorías en zonas rurales, se puede asegurar una fuente alternativa de alimentación, a la vez que se incrementa la variedad de la dieta, con los beneficios que esto conlleva.

Con todo ello, el Banco Mundial también alerta de la necesidad de tener en cuenta la sostenibilidad como factor clave para evitar los errores de otras épocas de gran desarrollo. En países asiáticos, donde la apuesta por la acuicultura es más fuerte, prácticas abusivas e irresponsables han provocado ya brotes de infecciones. Así pues, a la hora de diseñar esta piscifactoría y el consiguiente negocio alrededor de la misma, se tendrá muy en cuenta tanto la sostenibilidad económica como la ambiental.

La apuesta de Zimbabue por la acuicultura

Zimbabue es uno de los dieciséis países africanos sin acceso al mar. Sin embargo, cuenta con el 60% del agua embalsada de la región sur de África (SADC). En 2016 el país utilizaba únicamente el 5% de las 400.000 hectáreas adecuadas para la acuicultura, por lo que se trata de un sector con un importante crecimiento potencial.

Con el deseo de impulsar el desarrollo económico que supone la acuicultura, numerosos países están apoyando a sus comunidades para implantar nuevas piscifactorías. En el caso de Zimbabue, se estableció en 2016 la Asociación de Productores de Peces de Zimbabue que, bajo el programa “SmartFish” (financiado por la Unión Europea), pretende impulsar pequeños negocios replicando el sistema implementado en los países asiáticos.

Puesto que los peces tienen la mayor ratio de conversión de kilogramo de proteína aprovechable por kilogramo de pienso necesario, la APPZ pretende impulsar un modelo que emule al de la implantación de criaderos de pollos. De esta forma, pretenden apoyar a pequeños productores ofreciendo un pack inicial con todo lo necesario para comenzar su negocio, así como cursos de formación.

La acuicultura es un sector que no requiere un consumo intensivo de agua y que puede ser fácilmente integrado en una producción agrícola/ganadera ya existente. En el caso particular de Zimbabue esta consideración adquiere gran relevancia, pues la sequía genera un gran impacto negativo.

Otro factor para tener en cuenta es la balanza comercial del país. Zimbabue es un país con una economía muy débil, con una gran dependencia sobre las importaciones. Uno de los objetivos

de la APPZ es promover un marco legal que armonice los estándares de producción en todo el país, creando una industria competente que sea capaz de reducir dicha dependencia.

Actualmente, Namibia, Zambia, Kenia, Gana, Uganda y Sudáfrica son los líderes en producción de pescado del continente, logro que han conseguido favoreciendo el ambiente emprendedor y facilitando programas de desarrollo. Por tanto, parece razonable que el país con mayores reservas de agua del sur de África y adecuadas condiciones climáticas impulse su propia industria de acuicultura.

Piscifactorías en el entorno

Como se ha explicado en el epígrafe anterior, la acuicultura es un sector en auge a nivel mundial, y la implantación de piscifactorías en países en vías de desarrollo es una buena solución para comunidades con recursos limitados.

De esta forma, numerosas organizaciones han llevado a cabo proyectos con cierta similitud en estos países, ejemplos que pueden servir de referencia para el diseño de la piscifactoría del centro de formación profesional de la comunidad de Kazai.

Ingenieros Sin Fronteras EE.UU. – Uganda

La ONG Ingenieros Sin Fronteras de los Estados Unidos llevó a cabo un proyecto de implantación de una piscifactoría durante el año pasado en Uganda. El proyecto tenía unos fines similares a este: asegurar una fuente de alimentación para la comunidad e impulsar la educación de los más jóvenes.

Colaborando con un socio local y haciendo partícipe a la comunidad de Omorio, construyeron una balsa de 30 x 15 metros y una profundidad máxima de algo más de un metro.



Ilustración 8: Piscifactoría en Omorio. Fuente: Engineers Without Borders

Terminada la fase de construcción, fertilizaron el suelo de la balsa, asegurando el crecimiento de algas que pudieran servir a la vez como alimento y que tornaran el agua de un color verdoso, protegiendo el “cultivo” de depredadores (pájaros, serpientes...). Por último, se llenó la balsa con agua de un manantial cercano y se introdujeron los peces en la balsa.

El proceso de implantación de este proyecto duró aproximadamente dos meses, tras los cuales la comunidad de Omorio quedó al cuidado de la piscifactoría. Después de ocho meses asegurando el alimento de los peces y la calidad del agua, llegó el día de la cosecha.

Al resultar complicado encontrar redes para pescar, se optó por drenar la balsa. La cosecha ascendió a casi 7.000 peces.

Después de satisfacer la demanda de la comunidad, se vendió el remanente de la producción en el mercado local, obteniendo los beneficios esperados para sufragar las tasas educativas.

Un aprendizaje que se puede tomar de este proyecto es la construcción del fondo de la balsa con una cierta pendiente. Al drenarla para la pesca, los peces nadan a la parte inferior de la pendiente, facilitando su recolección.

Muunganirwa Fish Project – Bindura, Zimbabwe

En esta localidad del noreste de Zimbabwe la cooperativa local lanzó en junio de 2015 un proyecto de construcción de veinte estanques, dieciocho de ellas en acumulaciones de agua previas y dos de ellas fueron excavadas.

Para reducir la evaporación del agua de los estanques, se plantaron árboles alrededor para que dieran sombra. Además, cada estanque cuenta con una vía de entrada y salida de agua para controlar el nivel de agua, pudiendo aprovechar el agua de salida para regar los campos cercanos. Cada estanque tiene unos doscientos metros cuadrados y una profundidad máxima algo superior a un metro.

Antes de introducir los peces, se abonó el agua con estiércol de vaca, cerdo y pollo, para favorecer el crecimiento de plancton. Posteriormente se introdujeron los peces, aconsejando usar la relación “diez peces alevines por metro cuadrado”.

El intervalo de tiempo que se tomó para el crecimiento de los peces fue de cinco meses.



Ilustración 9: Piscifactoría en Bindura. Fuente: Sustain Zimbabwe

La cooperativa lleva a cabo cuatro cosechas al año, que se llevan a cabo haciendo uso de redes de pesca. Cada miembro de la cooperativa se queda con dos kilogramos de pescado, y el resto se vende a la comunidad. Es importante avisar a la comunidad el día de la cosecha, ya que, al no contar con frigoríficos, los peces se deben vender ese mismo día.

Los principales beneficios que conlleva el proyecto tienen que ver con el aumento del nivel de vida de los productores, económicamente y en relación con su salud, ya que tienen más proteínas en su dieta de forma constante a lo largo del año.

CC ONG AYUDA AL DESARROLLO – Ondomio y Kobokiré, Mali

Este proyecto desarrollado en el centro de Mali aprovecha la época de lluvias para utilizar lagunas naturales como piscifactorías para criar determinadas especies de peces, principalmente carpas y siluros.

Durante la época seca se guarda cierta cantidad de peces en una pequeña piscina. Al llegar de nuevo la época de lluvia, los peces salen de su refugio y repueblan la laguna por un periodo de 4 a 5 meses. Para garantizar una buena captura de peces, cada año se repueblan las lagunas con algunos ejemplares, que rápidamente se multiplican.

Este proyecto beneficia directamente a 200 personas de la comunidad donde se encuentran las lagunas, pero se calcula que, gracias al negocio de la venta del pescado capturado en ellas, el número de beneficiarios indirectos asciende a 1.100 personas.



Ilustración 10: captura de peces en Ondomio. Fuente: CC ONG AYUDA AL DESARROLLO

Proyecto de integración de agricultura-ganadería y acuicultura – Kagera, Tanzania

Este proyecto fue desarrollado en 2014 por el Centro Egipcio Internacional para la Agricultura (EICA por sus siglas en inglés) para su implantación en Kagera, al norte de Tanzania. La idea es incorporar la producción agrícola y de animales en la misma “granja”.

Según estudios de este centro, se ha comprobado que la integración de la acuicultura en una granja convencional aumenta la producción de esta. Gracias a la sinergia generada por esta integración, es posible aumentar el aprovechamiento de la energía en este ecosistema.

De esta forma, el estiércol del ganado se puede aprovechar para fertilizar el estanque de la piscifactoría, desechos de los cultivos pueden servir como alimento para los peces, sedimentos del estanque pueden transformarse en fertilizantes para la tierra, y el agua desechada del estanque puede incluirse en el sistema de riego de los campos aledaños.

Los factores más relevantes que se tuvieron en cuenta para el diseño fueron: la facilidad para obtener agua, la existencia previa de una granja, un rango de temperaturas adecuado para la cría de los peces (media oscilante entre 20 °C y 30 °C) y la necesidad de cubrir una demanda de alimento, así como de trabajo por parte de los jóvenes de la aldea.

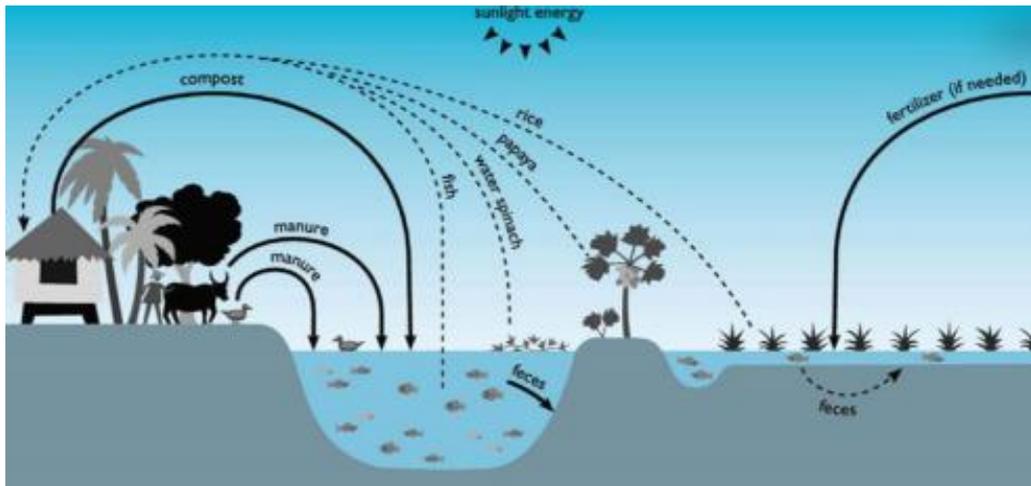


Ilustración 11: integración de una piscifactoría en una granja. Fuente: Fish Consulting Group

Aspectos relevantes para el diseño de la piscifactoría

Para llevar a cabo el diseño de la piscifactoría va a ser necesario tener en cuenta aspectos tan importantes como el tipo de suelo sobre el que se va a construir, el clima, el área disponible, la fuente de obtención de agua, el sistema de drenado y la profundidad del estanque. Además, el mantenimiento de la instalación es un factor clave, por lo que será necesario desarrollar una guía que recoja las principales tareas a realizar.

Para la puesta en marcha de la piscifactoría es necesario un buen diseño del estanque. Éste debe tener un sistema de abastecimiento de agua que asegure el llenado, a través de un canal de alimentación. Así mismo, es igual de importante garantizar un sistema de vaciado que permita el drenaje del estanque, a través de un canal de vaciado.

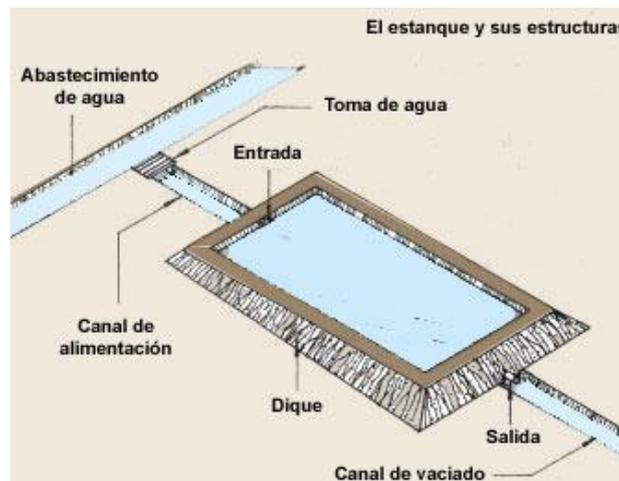


Ilustración 12: Esquema de piscifactoría. Fuente: ONUAA

La importancia de drenar el estanque tiene que ver con garantizar la calidad del agua de la instalación, lo que en último término repercute en la producción final. Los parámetros de calidad del agua que se deben medir son: la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, sustancias amoniacales, la turbidez y los sólidos suspendidos. Todos estos parámetros serán analizados gracias al uso de instrumentos de medición que se concretarán más adelante.

Localización y área disponible

Como ya se ha mencionado con anterioridad, Project Zimbabwe se desarrolla en colaboración con la ONG local Child Future Africa al noreste de Zimbabue, a 33 kilómetros de Mount Darwin. La localización de CFA queda al margen de la carretera A11, que la conecta con Harare, por lo que se puede enviar el material necesario desde la capital o desde el mismo Mount Darwin.



Ilustración 13: Mount Darwin y Project Zimbabwe vistos desde el aire. Fuente: Google Maps

Gracias al buen entendimiento de las dos partes, el área disponible no es una limitación para el diseño, sino los recursos disponibles. Como se puede apreciar en la vista desde el satélite, la ONG cuenta con una extensión considerable y con opciones de ampliación.

Por tanto, el dimensionamiento de la instalación se intentará ajustar a las necesidades del centro de formación profesional con la única limitación de la financiación de la construcción.

Clima

Zimbabue, pese a estar situado entre los dos trópicos, tiene un clima subtropical debido a su elevada altitud media (961 metros sobre el nivel del mar). Así pues, se distinguen tres estaciones durante el año dependiendo de las precipitaciones y la temperatura. La época seca y de mayor temperatura tiene lugar de agosto a octubre, la época de lluvias más fuertes y temperaturas medias, de octubre a abril, y la época seca y de menor temperatura, de mayo a agosto.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura	[Barra amarilla]				[Barra azul claro]			[Barra roja]			[Barra amarilla]	
Precipitaciones	[Barra azul]				[Barra blanca]				[Barra azul]			

Ilustración 14: clima de Zimbabue. Fuente: elaboración propia. Datos: Enciclopedia Britannica

El mes más frío es generalmente junio, mientras que octubre es el más cálido. Además, existe durante todo el año una gran variación entre la temperatura máxima y mínima del día (una media de 7 °C), debido también a la elevada altitud. La temperatura media anual es de 19 °C.

El clima será un factor muy importante para tener en cuenta a la hora de planificar la producción anual, estableciendo las mejores épocas para introducir y recolectar los peces.

Fuente de agua

El agua necesaria para llenar el estanque de la piscifactoría se obtendrá a través del pozo de la comunidad. Gracias a la bomba instalada y al sistema de extracción será posible garantizar el nivel adecuado de agua de la instalación durante todo el año. Además, la comunidad cuenta con depósitos de agua que también pueden servir para realizar semi llenados del estanque, con el fin de garantizar una buena calidad del agua del estanque.

Por último, cabe destacar que otro compañero de Project Zimbabwe está diseñando una presa para que la comunidad tenga mayor capacidad de almacenamiento de agua. Los planes de futuro, cuando la presa esté en pleno funcionamiento, será acondicionar un canal de alimentación directo desde la presa al estanque.

Solución escogida

Una vez estudiadas las condiciones del entorno, siendo consciente de los recursos disponibles y de las necesidades a cubrir, se plantea el siguiente diseño del estanque y la especie a introducir en la piscifactoría. El dimensionamiento se detallará en el capítulo 2: *Cálculos*.

El estanque

Se ha decidido diseñar un estanque de planta rectangular de 20 metros de largo por 10 metros de ancho, con una profundidad máxima de 1,1 metros. El estanque se levantará sobre una solera de hormigón armado, previo acondicionamiento del terreno. El fondo del estanque se construirá con una pendiente del 0,5%, para facilitar la recirculación del agua y el vaciado del estanque.

El estanque se dividirá en dos áreas, una de menor superficie para el criadero de peces de menor tamaño, y otra dedicada al engorde de los individuos de más edad. De esta forma, se pretende asegurar tener peces de distintos tamaños, para realizar más cosechas durante el año y garantizar unos ingresos recurrentes cada ciertos meses.

El canal de alimentación será una manguera conectada desde la bomba hidráulica a una tubería situada en la pared próxima al punto de menor profundidad. En la pared opuesta, se situará el canal de vaciado, a la altura del fondo del estanque, permitiendo el correcto drenaje de este.

Además, se llevarán a cabo cuatro perforaciones, dos en cada pared del largo del estanque. Estos orificios funcionarán como rebosaderos para evacuar el exceso de agua de lluvia, y así mantener un nivel constante de agua. Evitando el desbordamiento del estanque se elimina la posibilidad de escape de los peces por encima de las paredes.

Con el fin de maximizar el impacto medioambiental positivo de la piscifactoría, se pretende situar árboles en los alrededores del estanque para poder hacer sombra en las épocas de mayor temperatura, reduciendo así la evaporación del agua y el volumen de los semi llenados.

La especie

Según el informe más reciente de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura el 86% de la producción total en el África Subsahariana está compuesta por siluros, tilapias y carpas. Estas familias de peces presentan distintas especies según cada región, ya que se han ido adaptando a las condiciones específicas de cada ambiente.

Especie más comunes	2008	2014
<i>Clarias gariepinus</i>	111.561	223.520
<i>Clarias batrachus</i>	11.690	35.879
<i>Oreochromis niloticus</i>	35.567	132.287
<i>Cyprinidae</i>	15.692	27.906
<i>Oreochromis</i> (otros)	10.723	43.564
<i>Lates niloticus</i>	8.585	15.728

Tabla 1: especies mayormente criadas en África Subsahariana. Fuente: FAO

Para elegir la especie a criar en la piscifactoría se han estudiado las condiciones ambientales y los recursos disponibles. Sin embargo, el factor más decisivo para discernir entre las distintas opciones ha sido la sostenibilidad. En este punto conviene recordar que este proyecto está alineado con los ODS (ver Anexo C), con una contribución directa en la acción por el clima (ODS nº. 13) y el cuidado de la vida submarina (ODS nº. 14).

Uno de los principales peligros para la biodiversidad de un ecosistema es la introducción de una especie invasiva. En numerosas instalaciones de acuicultura de subsistencia se están criando especies invasoras de rápido crecimiento y reproducción, motivado por la búsqueda del máximo rendimiento de la planta. En el caso en que el sistema estuviera totalmente aislado, no habría mayor problema, ya que la especie invasora no entraría en el ecosistema local.

Sin embargo, esta hipótesis falla constantemente. Los intentos de replicar pequeñas piscifactorías con recursos muy limitados y el desconocimiento conllevan un impacto muy negativo en los ecosistemas locales, que ya se están viendo afectados.

Con todo ello, se ha tenido en cuenta el quinto Plan de Estrategia y Acción Nacional para la Biodiversidad del Gobierno de Zimbabwe (PEANB, 2014). En este documento se recomienda el uso de especies locales como la Tilapia del Mozambique (*Oreochromis mossambicus*), la Tilapia de tripa roja (*Tilapia rendalii*), la Tilapia de cabeza verde (*Oreochromis macrochir*), la Dorada de Kariba (*Oreochromis mortimeri*) y el Siluro de dientes afilados (*Clarias gariepinus*).

De igual forma, se alerta del grave perjuicio que está provocando en el Lago Kariba y otros ecosistemas especies como la Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) o la Perca atruchada (*Micropterus salmoides*).

Con esta información se ha llevado a cabo una comparativa de las distintas especies nativas recomendadas por el Gobierno de Zimbabwe, cuyos resultados se recogen en la siguiente tabla:

	Rango de temperaturas	Crecimiento	Longitud madurez
<i>Oreochromis mossambicus</i>	17°C - 35°C	$\Phi' = 2,39$ K = 0,4	16 cm
<i>Tilapia rendalii</i>	10°C - 40°C	$\Phi' = 2,56$ K = 0,5	21 cm
<i>Oreochromis macrochir</i>	18 °C - 35°C	$\Phi' = 2,4$ K = 0,4	16 cm
<i>Oreochromis mortimeri</i>	18°C - 35°C	$\Phi' = 2,88$ K = 0,3	22 cm
<i>Clarias gariepinus</i>	8°C - 35°C	$\Phi' = 3,17$ K = 0,1	31 cm

Tabla 2: comparativa de especies candidatas. Fuente: FishBase

Los parámetros Φ' y K tienen que ver con el crecimiento de los individuos de cada especie (Moureau, Bambino & Pauly, 1986). El parámetro Φ' es directamente proporcional a la longitud que alcanzan los individuos de una especie. A mayor valor de Φ' , mayor longitud. Por otro lado, el parámetro K está relacionado con la velocidad de crecimiento, guardando una relación inversamente proporcional (a menor valor del parámetro K, mayor velocidad de crecimiento).

Según las condiciones recogidas en esta tabla, el orden de preferencia para la elección de la especie será: (1) *Clarias gariepinus*, (2) *Oreochromis mortimeri*, y (3) *Oreochromis macrochir*.

La elección final de la especie se hará una vez en terreno, según la facilidad de encontrar proveedores y el precio de adquisición, pero los cálculos descritos en este proyecto se basan en la preferencia por la elección del *Clarias gariepinus*.

Guía de mantenimiento

Para asegurar el futuro de la instalación se redactará una guía de mantenimiento de la instalación, incluida en el Anexo B de este proyecto. En esta guía se recogerán:

- Las tablas necesarias para controlar los parámetros de calidad del agua
- Recomendaciones para el mantenimiento de la especie introducida en el estanque
- Información de contacto de posibles proveedores.

Con alta probabilidad, los contactos de proveedores se obtendrán ya en Zimbabwe, dado que seguramente sean los mismos que provean los individuos para la puesta en funcionamiento.

Negocio

Además de la función formativa que tiene la piscifactoría por estar englobada en el colegio de formación profesional, como ya se ha mencionado, se quiere establecer un negocio de venta de pescado. Para ello será necesario determinar un plan anual en coordinación con la dirección del centro, de tal forma que los alumnos puedan aprender el ciclo de una piscifactoría de principio a fin.

Se quiere proponer la posibilidad de acudir al mercado local para vender allí la producción obtenida. Puesto que no se dispone de recursos para mantener el pescado una vez recolectado, la idea sería establecer días de recolección y venta en el plan anual. De esta forma, a primera hora del día, los alumnos obtendrían la producción determinada para ese día, para su venta en las siguientes horas. Con los primeros días de puesta en marcha del negocio se podría conocer la demanda que hay de pescado, con lo que poder ajustar el plan anual a las necesidades reales de la comunidad.

En relación con los beneficios de este negocio, se destinarán a los siguientes fines, en este orden de preferencias. El objetivo principal es garantizar la sostenibilidad económica del proyecto a largo plazo, para poder satisfacer el resto de los objetivos:

1. Mantenimiento de la instalación y renovación de individuos del estanque
2. Concesión de ayudas al estudio para alumnos de familias más necesitadas

El proceso para elegir las familias con mayor necesidad se hará en coordinación con la dirección del centro de formación profesional. De esta forma, se pretende garantizar la autonomía del centro, interviniendo lo mínimo posible en su “forma de hacer”.

Motivación

Decidí llevar a cabo un proyecto de fin de carrera de cooperación al desarrollo movido por el deseo de poner los beneficios de la ingeniería al servicio de la sociedad. A través de la innovación tecnológica y la aplicación de estos avances en lugares en vías de desarrollo se puede activar una palanca de cambio que mejore el día a día de personas que no han tenido las mismas oportunidades que yo.

Otro aspecto que motivó mi elección de este tipo de proyecto es el reto personal de conseguir la financiación para su implantación. Esto supone una dedicación en tiempo y esfuerzo adicional, pero estoy seguro de que supondrá una satisfacción mayor al ver la piscifactoría in situ.

Además, otro factor motivante es formar parte de una iniciativa más grande, con varios años de trabajo y con un grupo de compañeros que llevan a cabo proyectos complementarios a este. Ver como algo que empezó de la nada crece año a año y mejora la vida de las comunidades locales genera en mí una gran satisfacción, y el deseo de aportar “mi granito de arena”. Pienso que “Project Zimbabwe” es una muy buena oportunidad de poner en práctica los conocimientos de ingeniería aprendidos en la escuela, contribuyendo al bien de la sociedad junto a personas con inquietudes similares.

Objetivos del proyecto

A continuación, se enumeran los cinco objetivos principales de este proyecto:

1. Completar la oferta educativa del colegio de formación profesional de Kazai

Con la implantación de la piscifactoría se podrán ofrecer cursos de formación en acuicultura a los alumnos del centro educativo. De esta forma, al terminar el curso, los alumnos habrán adquirido las habilidades necesarias que les permitan trabajar en una piscifactoría.

2. Promover una actividad económica distinta a la agricultura y la ganadería

Dada la diferencia tan pronunciada entre la productividad de la acuicultura en comparación con la agricultura o ganadería en los países en vías de desarrollo, se pretende dar a conocer y promover actividades productivas alternativas. Una máxima tras la implantación de esta piscifactoría es que los alumnos fueran capaces y estuvieran motivados para replicar este modelo.

3. Proveer de una fuente alternativa de alimento a la comunidad de Kazai

Como se ha explicado con anterioridad, la fuente de alimento en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo depende en gran medida de las condiciones climáticas. Con esta piscifactoría se pretende asegurar una fuente de alimento en caso de sequía. De igual forma, se aumentará la variedad en la dieta de la comunidad, algo beneficioso para la salud de todos ellos.

4. Impulsar un pequeño negocio de venta de pescado

Establecer un modelo de negocio sencillo a través del cual poner a la venta en el mercado local la producción de la piscifactoría.

5. Facilitar el acceso a la educación de los niños de la comunidad

Con los beneficios obtenidos por la venta del pescado se pretende ayudar a sufragar las tasas educativas de las familias más necesitadas de la comunidad. Colaborando con la dirección del centro educativo se elegirán los destinatarios de las ayudas según criterios de equidad.

6. Concienciar y dar a conocer la realidad de Zimbabue en España

A través de los eventos de financiación se pretende dar a conocer la realidad de Zimbabue a nuestro entorno. La idea es hacer partícipe a las personas que, a través de donaciones, nos ayudará a llevar a cabo Project Zimbabwe durante este verano.

Metodología de trabajo

Este proyecto tiene seis etapas de trabajo, que van desde el trabajo previo al diseño de la instalación, hasta su implantación y puesta en marcha.

1. Investigación del estado de la cuestión
2. Búsqueda de financiación y concienciación
3. Establecimiento de las necesidades concretas del proyecto, de los recursos disponibles y de las características del lugar
4. Diseño de la instalación
5. Preparación para la ejecución
6. Implantación del proyecto

Investigación del estado de la cuestión

Esta fase se ha llevado a cabo desde finales del primer cuatrimestre y durante los meses de enero a marzo. El objetivo principal ha sido informarse y aprender acerca del estado de la acuicultura en el mundo y en Zimbabwe y revisar proyectos similares que ya se han llevado a cabo. Estos proyectos son una fuente de aprendizaje para el diseño de esta piscifactoría.

Búsqueda de financiación y concienciación

Esta fase comenzó a principios de diciembre, con el diseño y adquisición de las camisetas y pulseras de Project Zimbabwe 2020. La idea es que dure hasta la fecha más próxima a nuestra partida para Zimbabwe para poder recaudar la mayor cantidad posible.

El objetivo es conseguir los fondos necesarios para llevar a cabo todos los proyectos englobados en Project Zimbabwe 2020, que suma una cantidad cercana a los 50.000 €. Además, a través de las distintas actividades realizadas se pretende dar a conocer y concienciar acerca de la realidad de Zimbabwe en España.

Necesidades concretas del proyecto

Esta fase se ha llevado a cabo desde finales de enero hasta mediados de febrero. El objetivo principal es establecer las características que deberá tener la piscifactoría según en el entorno en el que se va a implantar y las necesidades que debe satisfacer.

Diseño de la instalación

Esta fase se ha llevado a cabo desde finales del mes de febrero hasta principios del mes de mayo. El objetivo principal es dimensionar el estanque de la piscifactoría, elegir la especie a introducir, hacer los cálculos relacionados con el llenado del estanque, redactar la guía de mantenimiento y establecer el modelo de negocio derivado de la venta de pescado.

Preparación para la ejecución

Esta fase se llevará a cabo a lo largo de las primeras semanas de julio, ya en Zimbabwe. Se buscarán proveedores en Harare, capital del país, con ayuda de personal local de la ONG Child

Future Africa. Los materiales serán enviados a Kazai para comenzar la ejecución del proyecto a la mayor brevedad posible.

Implantación y puesta en marcha del proyecto

Esta fase se llevará a cabo durante la segunda mitad del mes de julio y todo agosto en Kazai, al norte de Zimbabwe. Consistirá en la construcción de la piscifactoría y la instrucción de los trabajadores de esta para su correcto mantenimiento. Se coordinará el plan de explotación con la dirección del centro de formación profesional y se adaptará el modelo de negocio planteado desde España. Además, se tratará el tema de la ayuda para sufragar las tasas escolares.

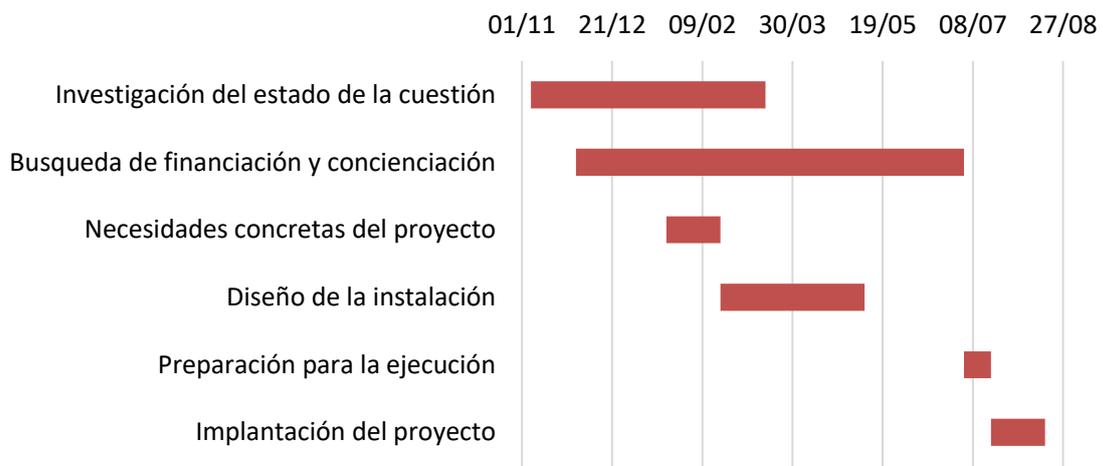


Ilustración 15: Diagrama de Gantt del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Alteraciones por la pandemia global del COVID-19

Debido a la pandemia que estamos sufriendo a nivel mundial por el coronavirus COVID-19 la ejecución de los proyectos durante el verano de 2020 será pospuesta al año siguiente. Es una decisión complicada de tomar, pero que está guiada por un sentimiento de prudencia y un ejercicio de responsabilidad para con Zimbabwe.

Desgraciadamente, España se ha visto gravemente afectada por esta enfermedad. Teniendo uno de los mejores sistemas sanitarios del mundo y un nivel muy alto de desarrollo, las cifras de contagiados y, sobre todo, de fallecidos ha sido desorbitado. Así pues, sabiendo que el sistema sanitario de Zimbabwe ha sufrido un grave deterioro durante la última crisis económica resulta ciertamente arriesgado viajar al país, incluso poder favorecer la expansión del virus.

Ateniéndonos a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, así como a las directrices de los distintos gobiernos, decidimos no viajar a Zimbabwe durante los próximos meses de julio y agosto de 2020. De igual forma se han pospuesto las actividades de financiación.

En relación con los fondos ya recibidos, se está decidiendo la posibilidad de materializarlos este mismo verano en algún tipo de ayuda o guardarlos para la implantación del año que viene. Para encontrar el mejor destino para estos fondos ya recaudados estamos debatiendo las distintas posibilidades entre los miembros de Project Zimbabwe 2020 y los responsables de la ONG local Child Future Africa.

Recursos a emplear

Para investigar acerca del estado de la cuestión se ha recurrido a través de internet al estudio de proyectos con ciertas similitudes que se hayan implantado en Zimbabwe o en países cercanos, y la lectura de bibliografía relacionada con la acuicultura. Además, se ha contactado a través de correo electrónico con la ONG española CC ADYUDA AL DESARROLLO, que dedica parte de sus esfuerzos al impulso de la acuicultura en África.

El hecho de que el diseño pertenezca a una iniciativa con años de vida hace más sencillo concretar las necesidades que el diseño debe satisfacer. Por tanto, a través de conocidos que ya han estado en terreno, entre ellos la directora del proyecto, se han conseguido los datos técnicos para dimensionar la piscifactoría.

En cuanto a la fase de diseño, se trata de un tiempo de trabajo más individual, con apoyo de la directora del proyecto y con el de profesores de la universidad. Además, cuento con ciertos conocidos que han trabajado profesionalmente con piscifactorías y pueden ser otra fuente de consulta.

Para la fase de implantación se involucrará a la comunidad de Kazai, utilizando sus recursos humanos. Como en años anteriores, las personas de la comunidad que colaboran con Project Zimbabwe no reciben una compensación económica, pero toman el almuerzo con los voluntarios y entablan en esos momentos una amistad que da a lugar a ratos más distendidos durante el fin de semana.

Los fondos recaudados en España son íntegramente utilizados para la adquisición del material de obra, en ningún caso para sufragar los costes de viaje o estancia de los voluntarios. Además, cabe recordar que la fase de recaudación va ligada a la concienciación, con el fin de ayudar también a la sostenibilidad del proyecto durante los próximos años, y de esta forma conseguir un cambio real y duradero en la comunidad de Kazai.

Las herramientas que se utilizarán para la recaudación de fondos será la venta de camisetas, de pulseras, la organización de eventos deportivos, de ocio, y la concurrencia a concursos que premien la cooperación al desarrollo. Todas estas actividades serán utilizadas como altavoz para la concienciación y la involucración de la sociedad.



Ilustración 16: Perforación en Kazai durante el verano de 2019. Fuente: Project Zimbabwe

CAPÍTULO 2: CÁLCULOS

CONTENIDOS CAPÍTULO 2: CÁLCULOS

Estanque	55
Entrada de agua en el estanque	58
Llenado desde el embalse de la presa local	58
Llenado directo desde el pozo	58
Salida de agua del estanque	62
Canal de vaciado	62
Evacuación del exceso de agua de lluvia	64
Calidad del agua	65
Temperatura	65
Oxígeno disuelto	65
pH	66
Alcalinidad y dureza	66
Turbidez	67
Población del estanque	68
Alimentación y crecimiento	69
Resumen de cálculos	72

En este documento se recogen los cálculos necesarios para el dimensionamiento de los elementos de la piscifactoría. Se especifica el tamaño y la capacidad del estanque, se establecen los niveles adecuados de los parámetros de calidad del agua, y se dimensionan las vías de entrada y salida de agua del estanque.

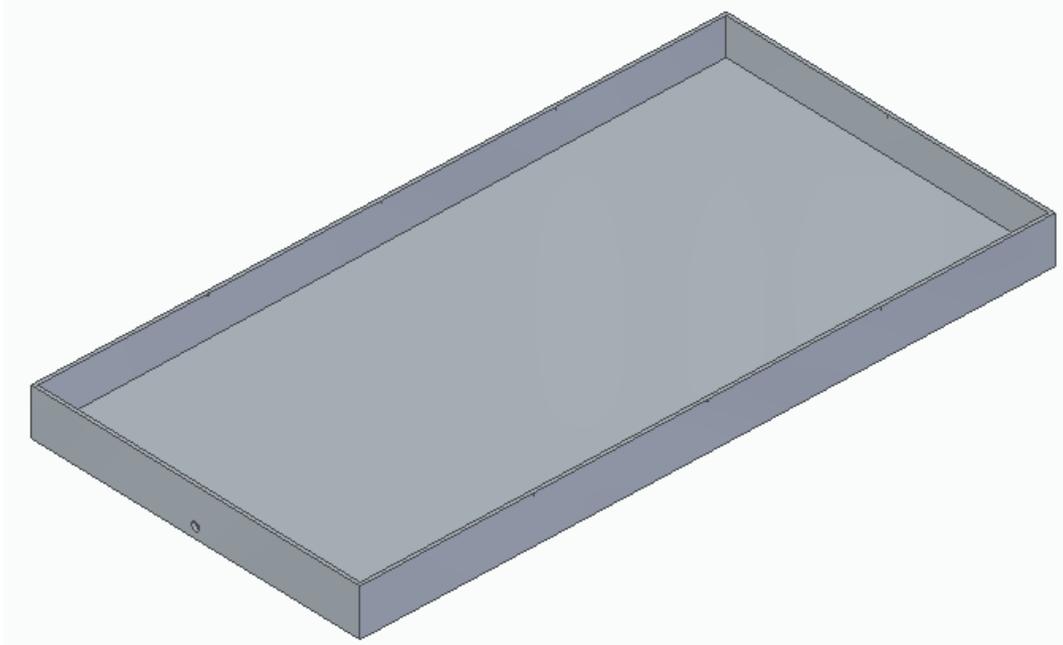


Ilustración 17: estanque de la piscifactoría. Fuente: elaboración propia

Estanque

Debido a la gran extensión disponible en el área donde se desarrolla Project Zimbabwe, el espacio no es un factor limitante para el diseño del estanque. Sin embargo, sí lo son los recursos económicos disponibles para su construcción, así como el volumen de agua que la comunidad puede destinar al llenado del estanque.

Por este motivo se ha decidido construir un estanque de planta cuadrangular de 20 metros de largo por 10 metros de ancho, con una profundidad máxima de 1,2 metros. El estanque no se excavará, sino que se construirá sobre la superficie, para lo que será necesario aplanar el emplazamiento. Las paredes del estanque tendrán un ancho de 10 centímetros, dos de 10 metros de largo y dos de 20 metros de largo.

En primer lugar, se acondicionará el terreno y se construirá una solera. Se trata de una capa de hormigón, con una superficie de 206,04 m² (20,2 m de largo por 10,2 m de ancho), y con un espesor de entre 20 y 30 cm.

Para facilitar el drenaje del estanque, se construirá el fondo de este con cierta pendiente. Tras revisar las recomendaciones de la FAO, la pendiente elegida es del 0,5%. De esta forma, la profundidad máxima del estanque será de un 1,2 m, y la mínima, de 1,1 m.

$$Pendiente = \frac{H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}}{Longitud} \cdot 100 = 0,5\%$$

$$H_{\text{mín}} = H_{\text{máx}} - \frac{\text{Pendiente} \cdot \text{Longitud}}{100}$$

$$H_{\text{mín}} = 1,2 \text{ m} - \frac{0,5\% \cdot 20 \text{ m}}{100} = 1,1 \text{ m}$$

Una vez dimensionado el estanque, ya se puede conocer el volumen máximo de llenado. Para ello, se calcula como la suma de un prisma cuadrangular y uno triangular, pues al disponer el fondo en pendiente, se pierde una pequeña sección triangular. Es necesario tener en cuenta que el estanque no se llenará hasta el límite superior de las paredes, sino que se dejará un margen de unos 10 centímetros (9,1% de la altura máxima). Por tanto, la altura máxima de llenado será de 1,1 m, y la altura mínima, de 1 m.

$$V_{\text{llenado máx}} = V_{\text{prisma cuadrangular}} + V_{\text{prisma triangular}}$$

$$= 10 \text{ m} \cdot 20 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} + 10 \text{ m} \cdot \frac{20 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m}}{2} = 210 \text{ m}^3$$

De esta forma, el volumen máximo de agua que puede encerrar el estanque es de 210 m³. En el capítulo 3 *Estudio económico* se explicará la estimación realizada de producción de la piscifactoría. Dado que este capítulo solo atiende a razones técnicas de resistencia de los materiales de la instalación, es únicamente necesario conocer un resumen de esta.



Ilustración 18: hormigón armado. Fuente: www.pinterest.es

Dada la superficie del estanque (200 m²) y la densidad de peces en él (1,9 kg/m²) el peso total que debe aguantar el fondo del estanque es de 1.863,8 kN.

$$\text{Peso total} = g \cdot (\text{Vol. de agua} \cdot \text{Densidad del agua} + A_{\text{estanque}} \cdot \text{Densidad de peces})$$

$$= 9,81 \cdot (210 \cdot 998 + 200 \cdot 1,9) = 2.059,6 \text{ kN}$$

La resistencia a compresión del hormigón armado más débil es de 25 N/mm². Teniendo en cuenta la superficie del estanque sobre la que descansa este peso (200 m²), la presión que soporta el fondo del estanque es de 0,01 N/mm². Por tanto, el material resistirá perfectamente.

También es necesario estudiar el peso que suponen las paredes sobre la solera. Para ello, se realiza el cálculo homólogo al anterior. Las paredes más grandes, tendrán unas dimensiones de 20 m x 1 m x 0,1 m. Calculando el volumen de este prisma cuadrangular y teniendo en cuenta la densidad del hormigón armado (2400 kg/m³), el peso que representa esta pared asciende a 47,1 kN. Teniendo en cuenta la superficie sobre la que descansa (2 m²), la presión que esta debe soportar es de 0,02 N/mm². De nuevo, el material resistirá perfectamente.

De manera similar, las paredes más pequeñas tendrán unas dimensiones de 10 m x 1 m x 0,1 m. Calculando el volumen de este prisma cuadrangular y teniendo en cuenta la densidad del hormigón armado (2400 kg/m³), el peso que representa esta pared asciende a 23,5 kN. Teniendo en cuenta la superficie sobre la que descansa (1 m²), la presión que esta debe soportar es también de 0,02 N/mm² (coincide, obviamente, con la presión de las paredes más grandes, pues el área y el volumen son la mitad). De igual forma, el material resistirá al esfuerzo.

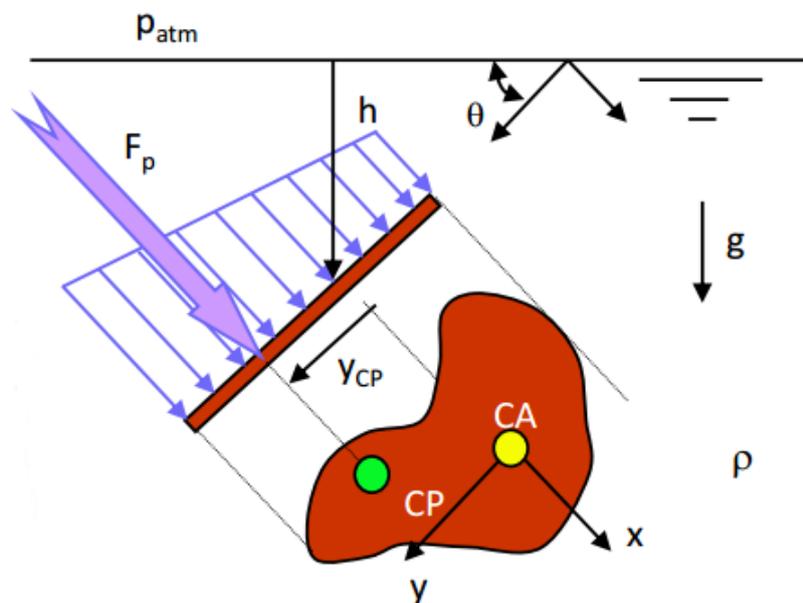


Ilustración 19: fuerzas sobre superficies sumergidas. Fuente: apuntes Mecánica de Fluidos

Por último, se tendrá en cuenta la componente horizontal de la fuerza hidrostática que el agua realiza sobre las paredes. Para ello se calculará la fuerza en el centro de presiones, localizado en el punto medio de la pared, a la mitad de la altura máxima sumergida (0,5 m).

$$F_H = \text{Densidad del agua} \cdot g \cdot y_{CP} \cdot \text{Área sumergida}$$

Para el caso de las paredes grandes, la componente horizontal de la fuerza hidrostática toma un valor de 118,5 kN, y para las paredes pequeñas, la mitad, 59,2 kN. Teniendo en cuenta la superficie mojada por el agua (superficie de las paredes hasta la mitad de la altura máxima mojada), la presión que ambas tienen que aguantar es de 0,007 N/mm².

Con estos cálculos queda demostrado que el material escogido resistirá todos los esfuerzos a los que se vea sometido.

Entrada de agua en el estanque

El agua que llene el estanque podrá venir de dos fuentes distintas: del embalse de la presa local, y/o del pozo de la comunidad, gracias a la instalación en 2019 de una bomba hidráulica.

Finalmente, no se considera necesario instalar una rejilla en el canal de alimentación, ya que (1) según su localización los peces no van a ser capaces de escapar por él, y (2) se asegura la calidad del agua en la fuente de suministro. Si tras la puesta en funcionamiento se viera necesario la instalación de dicha rejilla, se procederá a su colocación.

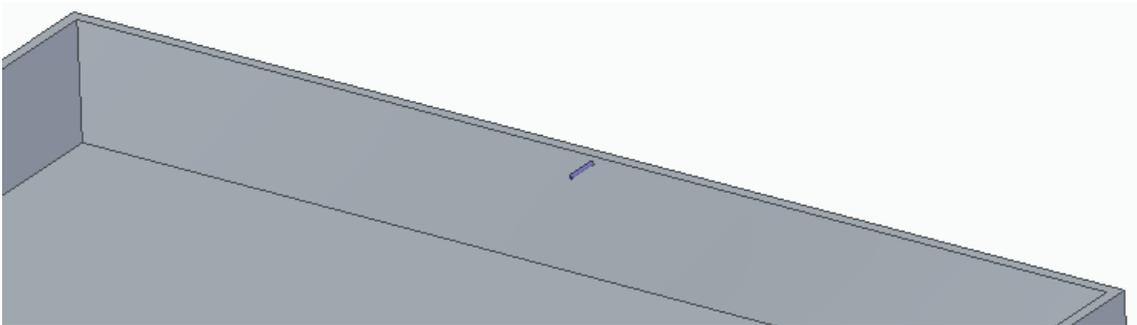


Ilustración 20: canal de llenado. Fuente: elaboración propia.

Llenado desde el embalse de la presa local

La opción ideal y más rápida para llenar el estanque de la piscifactoría es con agua proveniente de la presa local. A través de un sistema de distribución que nutra el canal de alimentación desde el embalse de la presa, se pueden llevar a cabo llenados totales o parciales, con el fin de mantener las condiciones óptimas de calidad del agua.

Esta opción es preferencial también ya que el agua de un embalse tiene, por lo general, mayor calidad, debido a un contenido más alto de oxígeno disuelto y menor contenido de metales y otros contaminantes. Sin embargo, dado que la zona de implantación no tiene actividad industrial alguna, la diferencia principal será el nivel de oxígeno disuelto.

Pese a ser la opción preferencial, para poder contar con esta fuente de agua es necesario que se repare la presa local. Este proyecto es parte de otro Trabajo de Fin de Grado realizado por otro compañero de Project Zimbabwe 2020. Por esta razón, hasta el momento en el que se puede nutrir el canal de alimentación con agua procedente de la presa local, se utilizarán los otros dos métodos que aquí se presentan.

Llenado directo desde el pozo

Esta opción es, a día de hoy, la que se utilizará para el llenado inicial del estanque. El pozo de la comunidad cuenta con una bomba sumergible de corriente continua con una potencia de unos 210 W. Esto supone una capacidad de bombeo de 4,6 m³/h (76,7 L/min), y, teniendo en cuenta que el volumen de llenado es de 210 m³, serán necesarias 45,7 horas netas de bombeo. Teniendo

en cuenta que la capacidad de la estación de bombeo solar permite que el número de horas de trabajo sea de 8,33 al día, serán necesarios al menos 5 días y medio para llenar el estanque.

Pese a que la inversión de tiempo inicial es importante, hay que destacar que se trata únicamente de la puesta en marcha. Una vez llenado el estanque, las necesidades de recirculación de agua requieren un volumen mucho menor. Por tanto, esta alternativa se mantendrá también para futuros semi llenados.

Otro aspecto que no se ha mencionado hasta ahora es que los peces serán transportados hasta el estanque con cierta cantidad de agua, por lo que el volumen inicial de llenado será inferior al volumen máximo de llenado (210 m³), así como será menor el tiempo inicial de llenado.

La instalación de la bomba sumergible fue parte del Trabajo de Fin de Grado de Matías Llorente Areses (2019): *Sistema de captación de agua y distribución para una comunidad rural en Zimbabue*.

Para llevar el agua al canal de alimentación del estanque, se hará uso de la actual red de captación de agua. La tubería de polietileno (PE) por la que fluye el agua bombeada desde el pozo tiene un diámetro de 32 mm y una longitud de 150 m.

Por esta razón, el emplazamiento del estanque se realizará en un lugar a una distancia algo inferior a los 150 m. En caso de no ser posible, se alargará la red de distribución, empalmando ambas tuberías.

Para realizar los cálculos siguientes se tendrá en cuenta la hipótesis de un emplazamiento en el lugar más remoto posible usando otra tubería de PE de 150 m que se conecte a la bomba, desconectando la actual que alimenta un depósito de 5.000 L.

El canal de alimentación será una tubería de PVC de 32 mm de diámetro y 30 cm de largo, a la que se conectará mediante un codo, también de PVC, la tubería de PE de 150 m. Se situará a 5 cm del borde superior de la pared cercana a la zona más alta de la pendiente.

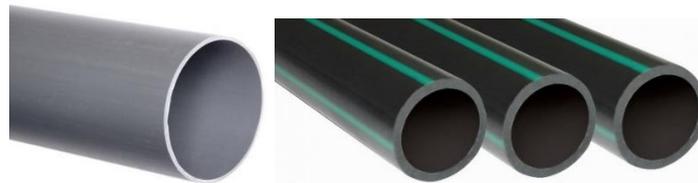


Ilustración 21: tubería PVC (izq.), tubería PE (dch.). Fuente: www.google.es

La razón para usar una tubería de PE para la distribución se debe a su gran flexibilidad. El tramo final de descarga se realiza usando una tubería de PVC, de mayor rigidez, para poder acoplarla a la pared del estanque.

A continuación, se aplica el Principio de Bernoulli (1), que describe cómo se mueve un fluido a lo largo de una línea de corriente, para explicar cómo se producirá el vaciado del estanque.

$$p_A + \frac{v_A^2}{2 \cdot g} + z_A + H_{bomba} = p_B + \frac{v_B^2}{2 \cdot g} + z_B + h_{tot} \quad (1)$$

El punto A se sitúa a 3 metros de profundidad, altura a la que se encuentra sumergida la bomba en el interior del pozo. El punto B se encuentra en el centro del canal de alimentación, a una

altura de 1,35 m. Por tanto, puesto que ambos puntos están a presión ambiente, se pueden anular los dos términos de las presiones. Además, se puede suponer que la velocidad en el punto A es cero. De esta forma, se eliminan estos tres sumandos de la ecuación (1) y se despeja la velocidad del punto B:

$$v_B = \sqrt{2 \cdot g \cdot (z_A - z_B - h_{tot} + H_{bomba})} \quad (2)$$

La altura de la bomba es un dato conocido, y toma el valor de 46,95 m.

A continuación, se calculará el caudal de llenado de la instalación, teniendo en cuenta que el área de entrada será la superficie del área transversal de la tubería de 32 mm de diámetro.

$$A_{salida} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = 0,0008 \text{ m}^2$$

$$Q_{salida} = v_B \cdot A_{salida} \quad (3)$$

Otro factor a tener en cuenta y que aparece en la ecuación 2 son las pérdidas de carga en la tubería.

$$h_{tot} = f \cdot \frac{L_{tubería} \cdot v_B^2}{D \cdot 2 \cdot g} + k \cdot \frac{v_B^2}{2 \cdot g} \quad (4)$$

El parámetro adimensional k tiene en cuenta las pérdidas de carga producidas a la entrada y salida de la tubería, así como en los codos de la red de distribución. Toma el valor de 0,5 a la entrada de la tubería, y de 1 a la salida. El valor de k para cada codo es de 0,3, y habrá 3 codos: cambio de dirección a la salida del pozo, al ascender por la pared del estanque, y al atravesar la pared del estanque. Por tanto, el valor de k será de 2,4. La longitud de la tubería de PVC que se colocará a la salida es de 0,5 m.

El parámetro adimensional f se denomina coeficiente de fricción de Darcy, y toma el valor inicial de 0,02, suponiendo un flujo de salida en régimen turbulento. El valor real de f se hallará utilizando la ecuación de Colebrook:

$$\frac{1}{f^2} = -2 \cdot \log \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \cdot f^2} \right) \quad (5)$$

El parámetro ϵ determina la rugosidad de la tubería. En las tuberías de PVC y PE este valor es de 0,0015 m.

La última ecuación que se utilizará será la ecuación del número de Reynolds, que permite determinar el tipo de flujo del caudal de vaciado. Si el valor de dicho número es superior a 2.300, se tratará como flujo turbulento, en caso contrario, como flujo laminar.

$$Re = \frac{\rho \cdot v_B \cdot D}{\mu} \quad (6)$$

Para hallar la velocidad de salida (velocidad en el punto B) se llevará a cabo un proceso de iteración. Con el valor inicial de f y utilizando las ecuaciones 4 y 2 se hallará la velocidad en el punto B. A continuación, se introducirá ese valor en la ecuación 6 y se obtendrá el valor del

número de Reynolds. Este valor se introducirá en la ecuación 5 y se obtendrá el verdadero valor de f . Este proceso se repetirá hasta que el valor de f sea muy similar al de la última iteración.

→ $f = 0,02$ → (2) y (4) → (6) → (5) →

	1ª iteración	2ª iteración	3ª iteración
f	0,02	0,0689721	0,0691804
vB [m/s]	2,97	1,59	1,59
Re	94854	50811	50734
fnuevo	0,0689721	0,0691804	

Tabla 3: cálculo de la velocidad de salida. Fuente: elaboración propia

Tras tres iteraciones se obtiene un valor de la velocidad de salida de 1,59 m/s, lo que supone un caudal de vaciado (ecuación 3) de 0,001 m³/s (4,6 m³/h). De esta forma, el tiempo necesario para llenar el 25% del estanque será de aproximadamente 1 día y 9 horas, y el 100% se llenará en 5 días y 12 horas.

Salida de agua del estanque

Para la salida de agua se proyectan también dos opciones. La primera de ellas es un canal de vaciado, necesario para mantener la calidad del agua y llevar a cabo la recirculación necesaria, y vaciar el estanque en su totalidad cuando sea necesario. Las otras vías de salida del agua estarán localizadas en la parte superior de los diques laterales y se tratan de meras vías de evacuación de exceso de agua en caso de lluvia.

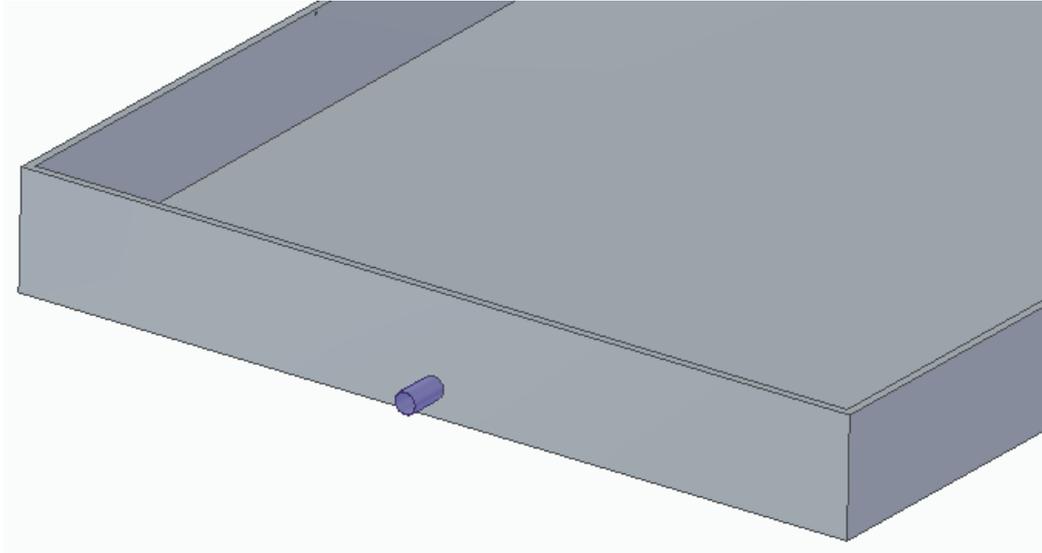


Ilustración 22: canal de vaciado. Fuente: elaboración propia

Canal de vaciado

El canal de vaciado se situará en la mitad de la pared opuesta a la del canal de alimentación, a la profundidad máxima del estanque, con un diámetro de unos 25 cm. De nuevo, se aplica el Principio de Bernoulli (1):

$$p_A + \frac{v_A^2}{2 \cdot g} + z_A = p_B + \frac{v_B^2}{2 \cdot g} + z_B + h_{tot} \quad (1)$$

El punto A se sitúa en la superficie del agua del estanque, y el B en el punto medio de la superficie transversal de la tubería de vaciado justo a la salida del canal de vaciado. Por tanto, puesto que ambos puntos están a presión ambiente, se pueden anular esos dos términos. Además, se puede suponer que la velocidad en el punto A es cero, dado el gran tamaño del estanque. De esta forma, se eliminan estos tres sumandos de la ecuación (1) y se despeja la velocidad del punto B:

$$v_B = \sqrt{2 \cdot g \cdot (z_A - z_B - h_{tot})} \quad (2)$$

La diferencia de altura entre los puntos A y B, que en el fondo se trata de la energía potencial que posee el volumen de agua encerrado en el estanque, será el iniciador del movimiento. Esta diferencia es de:

$$z_A - z_B = h_{max} - \frac{D}{2} = 1,1 \text{ m} - \frac{0,25}{2} = 0,98 \text{ m}$$

A continuación, se calculará el caudal de vaciado de la instalación, teniendo en cuenta que el área de salida será la superficie del área transversal de la tubería de 25 cm de diámetro.

$$A_{salida} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = 0,05 \text{ m}^2$$

$$Q_{salida} = v_B \cdot A_{salida} \quad (3)$$

Otro factor a tener en cuenta y que aparece en la ecuación 2 son las pérdidas de carga en la tubería.

$$h_{tot} = f \cdot \frac{L_{tubería} \cdot v_B^2}{D \cdot 2 \cdot g} + k \cdot \frac{v_B^2}{2 \cdot g} \quad (4)$$

El parámetro adimensional k tiene en cuenta las pérdidas de carga producidas a la entrada y la salida de la tubería en el fondo del estanque, tomando el valor de 0,5 a la entrada y de 1 a la salida. Por tanto, el valor de k será de 1,5, la suma de ambos efectos. La longitud de la tubería de PVC que se colocará a la salida es de 0,5 m.

El parámetro adimensional f toma el valor inicial de 0,02, suponiendo un flujo de salida en régimen turbulento. El valor real de f se hallará utilizando la ecuación de Colebrook:

$$\frac{1}{f^2} = -2 \cdot \log \left(\frac{\epsilon}{3,7} + \frac{2,51}{Re \cdot f^2} \right) \quad (5)$$

El parámetro ϵ en las tuberías de PVC toma el valor de 0,0015 m.

La última ecuación que se utilizará será la ecuación del número de Reynolds, que permite determinar el tipo de flujo del caudal de vaciado. Si el valor de dicho número es superior a 2.300, se tratará como flujo turbulento, en caso contrario, como flujo laminar.

$$Re = \frac{\rho \cdot v_B \cdot D}{\mu} \quad (6)$$

Para hallar la velocidad de salida (velocidad en el punto B) se llevará a cabo un nuevo proceso de iteración. Con el valor inicial de f y utilizando las ecuaciones 4 y 2 se hallará la velocidad en el punto B. A continuación, se introducirá ese valor en la ecuación 6 y se obtendrá el valor del número de Reynolds. Este valor se introducirá en la ecuación 5 y se obtendrá el verdadero valor de f. Este proceso se repetirá hasta que el valor de f sea muy similar al de la última iteración.

→ f = 0,02 → (2) y (4) → (6) → (5) →

	1ª iteración	2ª iteración	3ª iteración
f	0,02	0,0319923	0,0319933
vB [m/s]	2,74	2,73	2,73
Re	684708	681498	681498
f nuevo	0,0319923	0,0319933	

Tabla 4: cálculo de la velocidad de salida. Fuente: elaboración propia

Tras tres iteraciones se obtiene un valor de la velocidad de salida de 2,74 m/s, lo que supone un caudal de vaciado (ecuación 3) de 0,13 m³/s. De esta forma, el tiempo necesario para vaciar el 25% del estanque será de algo más de 6 minutos, y el 100% se vaciará en 26 minutos.

Evacuación del exceso de agua de lluvia

Con el fin de mantener un volumen constante de agua en el estanque se realizarán unas perforaciones en la parte superior de las paredes del largo del estanque. De esta forma, cuando haya precipitaciones, el agua de lluvia sobrante se evacuará por estos orificios, evitando que el agua supere la altura máxima de las paredes y empuje a los peces fuera del estanque.

El mes con mayores precipitaciones es enero, con una media de 195,6 milímetros¹ (media obtenida según datos recogidos en Bindura, capital de Mashonalandia Central, a 100 km de Mount Darwin). Esta medida se obtiene gracias al pluviómetro, instrumento de medida para la lluvia caída. La escala graduada en milímetros de este instrumento implica que cada milímetro es equivalente a un litro por metro cuadrado. De esta forma, las precipitaciones en el mes de enero alcanzan una media de 195,6 L/m².

Para tener un margen de seguridad importante, se supondrá que las precipitaciones ocurren únicamente en cinco días del mes. De esta forma, la cantidad de lluvia por día será de aproximadamente 40 L/m². Para poner un escenario más adverso, se supondrá que esa cantidad precipitará únicamente en 5 minutos, lo que se corresponde con una lluvia intensa.

Puesto que el área del estanque es de 200 m², el volumen de agua entrante sería de 7.823 litros. Suponiendo que se trate de una lluvia intensa y dure únicamente 5 minutos, el caudal de salida necesario para evacuar dicho volumen sería:

$$Q_{salida} = \frac{7,82 \text{ m}^3}{5 \text{ min}} = 1,56 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 0,03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Suponiendo una velocidad de salida de 2 m/s, sería necesaria un área de salida de 130 cm². Colocando cuatro orificios, dos en cada pared lateral, cada orificio tendría un diámetro de 3,2 cm.

Por aumentar la capacidad de evacuación de agua en caso de lluvia y, por tanto, tener margen de seguridad, se realizarán seis perforaciones (un 50% más de las calculadas). Además, el canal de llenado también podría comportarse en un caso extremo como vía de evacuación.

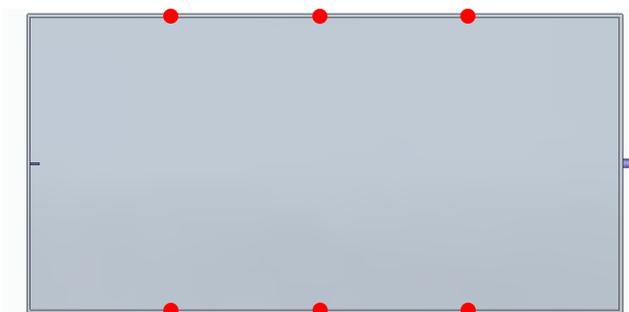


Ilustración 23: orificios de evacuación del agua. Fuente: elaboración propia

¹ Datos de www.weatherspark.com

Calidad del agua

La calidad del agua es uno de los factores más importantes de la piscifactoría, ya que de ella no solo depende la supervivencia de los peces, sino la eficiencia del alimento, y la tasa de crecimiento de los individuos.

Temperatura

Los peces son animales de sangre fría, por lo que su metabolismo está fuertemente influenciado por la temperatura del agua del estanque. Además, temperaturas más altas suponen una velocidad mayor para la descomposición de los desechos, alterando la composición química del agua.

La temperatura recomendada se encuentra en el intervalo entre los 8°C y los 35°C. La tasa de crecimiento ideal se alcanza alrededor de los 26°C, por lo que este dato se tendrá en cuenta para establecer el calendario de cría.

La época para arrancar la cría sería hacia finales de agosto y principios de septiembre, cuando la temperatura comienza a alcanzar valores mínimos más cálidos. De esta forma se aprovecharía la época de mayores temperaturas para el crecimiento de los individuos, pudiendo cosechar cuando las temperaturas comiencen a disminuir, en la época de mayo a junio.

La temperatura del agua del estanque se tomará con un termómetro analógico con un peso y un cordón, de tal forma que también se pueda tomar la medida del agua del fondo. En el caso de querer aumentar la temperatura del estanque, se puede vaciar parte del estanque y llenarlo con agua de los depósitos.



Ilustración 24: termómetro analógico. Fuente: www.lantelme-gmbh.de

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es necesario tanto para la respiración de los peces como para la oxidación de los desechos de éstos en sustancias menos tóxicas (NH_3 a NO_3). Además, el fitoplancton que vive en el estanque también necesita oxígeno para la respiración nocturna.

El rango recomendado es desde 5 mg/L hasta el punto de saturación. Una vez que los peces crecen son capaces de obtener oxígeno subiendo a la superficie, pero su crecimiento será mayor si se mantienen unos niveles estables de oxígeno disuelto.

Una concentración inferior a 1,5 mg/L puede ser letal, mientras que en el intervalo de 1,5 a 5 mg/L el crecimiento será menor del deseado. En caso de que la oxigenación del agua sea baja en un intervalo prolongado, habrá que controlar la eutrofización del estanque. Puede llegar a ser necesaria una limpieza de materia orgánica del fondo.

El oxígeno disuelto se medirá con un sensor electroquímico de tipo galvánico. Estos aparatos suelen tener la capacidad de medir también la temperatura, por lo que no haría falta el termómetro analógico.

En el caso en el que el oxígeno disuelto disminuya drásticamente su concentración, será necesario recircular el agua, dejando entrar agua “nueva” al estanque. El hecho de llenar total o parcialmente el estanque con el uso de una bomba favorece un nivel adecuado de oxígeno disuelto. Cómo también se ha comentado, puede ser necesario retirar materia orgánica del fondo del estanque, ya que está puede aumentar la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).



Ilustración 25: medidor de oxígeno disuelto. Fuente: www.amazon.es

pH

El pH debe encontrarse en un rango entre 6,5 y 9. Por debajo de 4, el medio sería demasiado ácido, entre 4 y 6, los peces podrían sobrevivir, pero con un alto nivel de estrés y menor tasa de crecimiento. De igual forma, niveles por encima de 9 pueden representar alto estrés por ser un medio básico, y superar un pH de 11 puede suponer la muerte de todo ser vivo y bacterias en el estanque por exceso de alcalinidad.

Debido a los deshechos de los peces, es más fácil que el pH del agua tienda hacia la acidez (valor por debajo de 7). En esos casos se puede aumentar el pH añadiendo sal al agua en pequeñas cantidades y de forma controlada.

Alcalinidad y dureza

La alcalinidad del agua controla la cantidad y forma del dióxido de carbono en el agua, mientras que la dureza tiene que ver con el calcio y magnesio presente en el agua del estanque. Los rangos recomendados de alcalinidad y dureza están por encima de las 20 partes por millón (ppm), pero lo deseable es que estuvieran por encima de 60 ppm.

Si los niveles se encuentran por debajo de lo indicado el pH variará más de lo deseado a lo largo del día, los peces sufrirán mayor estrés, y la producción se verá reducida. Las ventajas de controlar este parámetro suponen mayor alimento disponible para las crías, menores variaciones de pH a lo largo del día, y menor estrés en los individuos.

Para medir el pH, la alcalinidad y la dureza, se utilizarán unas tiras multifuncionales. Después de introducirlas en el agua, el color de las tiras cambia, permitiendo obtener estos tres valores.

Como en el caso del pH, una forma adecuada de regular la alcalinidad y la dureza del agua conllevaría la recirculación del agua.



Ilustración 26: tiras multifuncionales de medición. Fuente: www.amazon.es

Turbidez

La turbidez mide la transparencia del agua del estanque. El color que se aprecia en el agua da una idea de qué tipo de turbidez tiene. El *Clarias gariepinus* prefiere habitar en el fondo del estanque, removiendo los sedimentos que haya. Si el agua tiene un contenido importante en arcilla, el movimiento de los peces por el fondo tornará el agua de un color marrón. Esto hará que la luz no pueda penetrar hasta el fondo del estanque, y el fitoplancton crecerá en la zona más cercana a la superficie. Esta zona se tornará de un color verdoso incluso tirando hacia rojo con el efecto de la luz.

No hay que preocuparse si el agua adquiere esta turbidez, ya que el color verde-rojizo indica que hay crecimiento de fitoplancton, necesario para el alimento del *Clarias gariepinus*. En el caso en que se vea que la turbidez es excesiva, e incluso que hay demasiado lodo en el fondo del estanque, se procederá a retirarlo manualmente.

Población del estanque

El estanque se poblará con individuos de la especie *Clarias gariepinus*, como ya se ha comentado anteriormente. Se delimitarán dos zonas: una de 20 m², dedicada a las crías, y otra de 180 m², dedicada al engorde de los individuos de más edad.

Para delimitar ambas zonas se utilizará una malla plástica sujeta con hembrillas y bridas a las paredes del estanque. Se trata de una forma sencilla de diferenciar ambas partes, permitiendo el paso de agua entre zonas, e impidiendo que los peces más grandes se introduzcan en la zona de los alevines. Cuando los peces crezcan y haya relevo de individuos, se procederá al traspaso de los peces de mayor tamaño de la zona de criadero a la zona de engorde.



Ilustración 27: malla plástica y hembrilla para la delimitación de las zonas del estanque. Fuente: www.google.es

La zona de criadero se situará en la parte menos profunda y más cercana al canal de alimentación. Hay varias razones para dedicar esa zona a los alevines. Al ser menos profunda, el sol calentará más rápido esa zona, y la temperatura del agua será algo mayor. Además, al encontrarse cerca de la zona del canal de alimentación, la oxigenación será también ligeramente superior. Por último, será una zona con menor sedimentación, ya que se encuentra en la parte alta de la pendiente, por lo que la calidad del agua será también algo mayor.

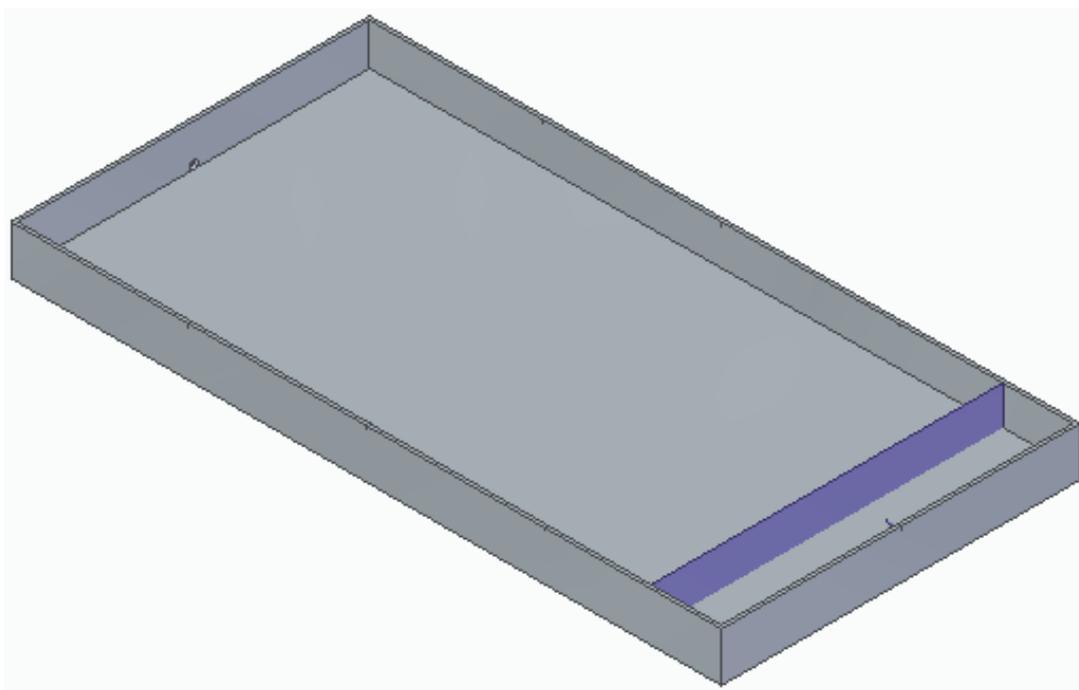


Ilustración 28: división del estanque con malla plástica. Fuente: elaboración propia

La zona de criadero tendrá una densidad de 0,5 kg/m², lo que supone una capacidad máxima de 10 kg de crías. Suponiendo un peso inicial de 10 g por individuo (no se recomienda introducir crías de menor peso), y aplicando una tasa de mortalidad del 50%, el número de crías a introducir será de 155 (1,55 kg). Teniendo en cuenta un crecimiento esperado del 970% (hasta los 97 gr) en 8 semanas y aplicando la tasa de mortalidad del 50%, la producción final del criadero será de 103 individuos, con un peso 10 kg (capacidad máxima).

CRIADERO

	kg/m ²	kg	#	kg/pez	kg/pez	%	%	#	kg
20 m ²	Densidad	Capacidad máxima	Peces a introducir	Peso inicial	Peso final	Crecimiento	Tasa de mortalidad	Producción final	Producción final
	0,5	10	155	0,01	0,10	970%	50%	103	10,0

Tabla 5: especificaciones de la zona de criadero. Fuente: elaboración propia con datos del manual de USAID

La zona de engorde tendrá una densidad de 2 kg/m², lo que supone una capacidad máxima de 360 kg de peces. Suponiendo un peso inicial de casi 100 gramos por individuo, y aplicando una tasa de mortalidad del 25%, el número de peces a introducir será de 896 (87 kg). Teniendo en cuenta un crecimiento esperado del 518% (hasta los 500 gr) en 12 semanas y aplicando la tasa de mortalidad del 25%, la producción final del criadero será de 717 individuos, con un peso 360 kg (capacidad máxima).

ENGORDE

	kg/m ²	kg	#	kg/pez	kg/pez	%	%	#	kg
180 m ²	Densidad	Capacidad máxima	Peces a introducir	Peso inicial	Peso final	Crecimiento	Tasa de mortalidad	Producción final	Producción final
	2	360	896	0,10	0,50	518%	25%	717	360,0

Tabla 6: especificaciones de la zona de engorde. Fuente: elaboración propia con datos del manual de USAID

Alimentación y crecimiento

El control de la alimentación es otro factor muy importante, pues de ello depende la cantidad de nutrientes que los peces puedan adquirir para un crecimiento óptimo. De ese crecimiento depende en gran medida la viabilidad económica de la piscifactoría. Entre el 60-70% de los costes variables de la planta se deben al coste en alimentación.

Además, hay que tener en cuenta el ciclo de crecimiento de los peces, ya que no por saturarles de comida se va a conseguir un mayor crecimiento. Al contrario, se puede alcanzar un punto en el que la calidad del agua empeore debido al exceso de alimento, y esto repercuta en la salud de los peces.

Los aspectos físicos del alimento que se utilice en la piscifactoría determinan en gran medida la calidad del agua y la ratio de alimentación de los peces. Algunos aspectos importantes a tener en cuenta son:

- Si el alimento tiene varios componentes, los gránulos deberán ser uniformes en composición, forma y color, para que los peces adquieran todos los nutrientes de cada componente y no haya desequilibrios en la dieta
- Se debe echar al agua el alimento de la forma más limpia posible, sin restos de polvo u otros desechos, ya que esto solo empeorará la calidad del agua
- Los gránulos deberán aguantar al menos 30 minutos en el agua sin deshacerse, y tener un tamaño que los peces sean capaces de ingerir

Es importante que se dedique el tiempo necesario a la alimentación y a supervisar como los peces ingieren el alimento. Al contrario que con los animales terrestres, una vez echado el alimento al agua éste ya no se puede recuperar. Esto supone que el exceso de alimento empeorará la calidad del agua y supondrá un gasto evitable. El proceso de alimentación debe ser considerado de alta importancia y se deberá ir ajustando a la población específica del momento.

A continuación, se presenta una tabla que recoge los nutrientes básicos necesarios para la alimentación del *Clarias gariepinus*:

Nutriente	Consideraciones	Nivel deseado en la dieta
Proteínas	- Fuente de aminoácidos - Crecimiento de músculos	32%
Grasas	- Fuente más importante de energía - Ayuda a absorber vitaminas - La textura y el sabor del pez depende de la grasa ingerida - Favorece que los gránulos sean apetitosos	6%; se debe aumentar a la vez que aumente la cantidad de proteínas
Carbohidratos	- Son una fuente pobre de alimento, pero ayudan a crear el gránulo y a llenar el estómago de forma económica	35%
Minerales y vitaminas	- Regulan el equilibrio ácido/básico - Variedad de funciones importantes	Vitamina C – 50 ppm
Energía	- La ratio energía/proteína debe estar equilibrada para obtener un crecimiento óptimo	8,5-9,5 Kcal/g proteína

Tabla 7: nutrientes básicos para la alimentación de los peces. Fuente: adaptación de Robinson (2006)

El índice de transformación del alimento (FCR, por sus siglas en inglés) mide la eficiencia con la que los animales convierten el alimento en peso. Se recomienda que para este tipo de producción y especie el FCR no supere un valor de 2. Se calcula como:

$$FCR = \frac{\text{Masa de alimento}}{\text{Masa del individuo}}$$

La cantidad de alimento por ración se puede calcular de la siguiente forma:

$$\text{Ración} = \text{Peso medio del pez} \cdot \text{Ratio de alimentación} \cdot \text{N}^{\circ} \text{ total de peces}$$

Por tanto, si un individuo con un peso de 5 gramos requiere una ración del 8% de su peso, se le debe proporcionar:

$$\text{Ración (por pez)} = 5g \cdot 8\% = 0,4 g \text{ de alimento por día}$$

Esta ración diaria sería la cantidad de alimento que el pez debería ingerir. Sin embargo, la cantidad que realmente ingerirá dependerá de las condiciones de calidad del agua o de la composición del alimento. Por esta razón es importante mantener el agua con la calidad suficiente, así como escoger correctamente el alimento a proporcionar.

Además, se recomienda que los peces sean alimentados dos veces al día. De esta forma, cada ración será la mitad de la ración diaria. Así mismo, puede ser que la temperatura del agua por la mañana sea ligeramente inferior a la media del día. Por tanto, los peces ingerirán algo menos de comida por la mañana que por la tarde. Este factor se puede tener en cuenta para, quizás, hacer una ración algo menor por la mañana, y otra más copiosa por la tarde.

En el anexo A se incluye una tabla con las recomendaciones para alimentar al *Clarias gariepinus* según su tamaño y tiempo en el estanque.

Resumen de cálculos

La solera sobre la que se levante el estanque tendrá unas dimensiones de 20,2 m de largo y 10,2 m de ancho. La superficie superior se construirá con una pendiente del 0,5% del largo, lo que se traduce en un espesor mínimo de solera de 20 cm, y un máximo de 30 cm.

El muro exterior del estanque se levantará con un espesor de 10 cm y una altura máxima 1,1 m desde el extremo de la solera de espesor de 30 cm. De esta forma, en las proximidades de la pared sobre el espesor de solera de 20 cm, la profundidad máxima será de 1,2 m, mientras que en el extremo opuesto será de 1,1 m.

Se dejará sin llenar una altura de 10 cm de muro, por lo que la altura máxima del agua en el estanque será de 1,1 m, y la profundidad mínima, 1 m. Esto supone un volumen de llenado de 210 m³.

El canal de entrada se sitúa en el punto medio de la pared sobre el mayor espesor de solera, con un diámetro de 32 mm, y una tubería de 30 cm que vierte el agua en el estanque. El canal de vaciado se encuentra en el extremo opuesto. Es una tubería de 25 cm de diámetro a la altura del fondo del estanque, que descarga 0,5 m fuera del estanque.

Por último, se realizarán seis perforaciones de 32 mm de diámetro para evacuar el agua en caso de lluvia. Se ubicarán tres en cada pared del largo del estanque, a 5 cm del borde superior.

CAPÍTULO 3: ESTUDIO ECONÓMICO

CONTENIDOS DEL CAPÍTULO 3: ESTUDIO ECONÓMICO

Viabilidad	77
Sostenibilidad económica	79
Impacto social	81

El motivo del estudio económico es valorar la viabilidad de la implantación del proyecto y su sostenibilidad económica en el tiempo. Por último, se analizará el impacto social que supone para la comunidad beneficiaria de Kazai.

Viabilidad

La implantación del diseño de esta piscifactoría se engloba, como ya se ha comentado anteriormente, en la iniciativa “Project Zimbabwe”. El equipo de personas que formamos parte de esta iniciativa llevamos a cabo actividades durante todo el año con el fin de recaudar fondos para cubrir los gastos de implantación y puesta en marcha de nuestros trabajos de fin de grado.

Este año, debido a la pandemia mundial causada por la enfermedad COVID-19, las actividades realizadas han sido muy pocas, ya que se tuvieron que cancelar la mayor parte de ellas. Por esta razón, la recaudación ha sido muy baja. Al igual que la implantación de los proyectos, las actividades para la recaudación de fondos y sensibilización se han pospuesto para el momento en el que la realidad sanitaria lo permita.

La primera vía de recaudación que se abrió fue a través de la venta de pulseras y camisetas. Con estos dos elementos, además de recaudar fondos, se buscaba dar a conocer el proyecto, pues ambos diseños llevaban elementos identificativos de Project Zimbabwe.



Ilustración 29: diseño de las camisetas de Project Zimbabwe 2020. Fuente: Project Zimbabwe



Ilustración 30: diseño de las pulseras de Project Zimbabwe 2020. Fuente: Project Zimbabwe

Se encargaron 250 camisetas, que se compraron a un precio de 3,07€, y se venden a 12€, teniendo un margen unitario de 8,93€. Esto supone un beneficio neto de 2.231,71€. En cuanto a las pulseras, se encargaron 600 unidades, a un precio de 0,33€, y vendiéndose a 2€. Esto supone un margen unitario de 1,67€, y un beneficio neto de 1.005€.

Otra segunda fuente de financiación proviene de la fiesta benéfica que organizamos el 30 de enero en la sala B12 de Madrid. La fiesta consistió en un concierto con tres bandas, acompañado de un picoteo. Antes de dar comienzo al concierto, se explicó a los asistentes el porqué de Project Zimbabwe y un breve resumen de los proyectos con los que estaban colaborando.

Las entradas de la fiesta se vendieron por 15€, de los cuales 10€ eran un donativo para la financiación de los proyectos, y los otros 5€ daban derecho a una consumición. Se consiguió reunir a 155 personas, recaudando un total de 1.550€. Los gastos del picoteo ascendieron a 46€, y se invitó a la consumición de los miembros de los grupos de música (252€). De esta forma, la recaudación neta fue de 1.252€.



Ilustración 31: cartel de la fiesta benéfica. Fuente: Project Zimbabwe

La tercera fuente de financiación de este año consistió en un torneo de fútbol 7 organizado para el día 29 de febrero. El coste de la inscripción era de 140€, reuniendo finalmente a 12 equipos, que disputaron varios partidos. Los ganadores recibieron premios donados por distintas organizaciones. De esta forma, la recaudación ascendió a 1.680€.

Otra vía de financiación proviene de la colaboración con un grupo de estudiantes de Granada, que colaboran con Project Zimbabwe y se comprometen a recaudar 10.000€ cada año. A causa de la pandemia por la COVID-19, este año esa suma asciende a unos 1.500 €.

En resumen, durante estos dos escasos meses de actividades, la recaudación ha ascendido a 6.416,71 €. Es una cantidad que todavía no es suficiente para financiar todos los proyectos, pero con más meses de trabajo se tiene la certeza de que se alcanzará el objetivo de financiación.

Algunas actividades que se planificaron pero que no se han podido realizar incluyen un torneo de pádel, otra fiesta benéfica, la concurrencia a distintos premios de cooperación al desarrollo, la organización de la fiesta de graduación de la promoción de Ingeniería de ICAI 2020, y la búsqueda de patrocinadores y donantes de material de ingeniería.

	Recaudación
Pulseras	1.005 €
Camisetas	2.231,71€
Torneo de fútbol	1.680 €
Estudiantes de Granada	1.500 €
TOTAL	6.416,71€

Tabla 8: resumen de la recaudación durante 2020. Fuente: elaboración propia

Sostenibilidad económica

Entre los objetivos de este proyecto está la puesta en marcha de un pequeño negocio de venta de pescado. Con los beneficios generados con esta actividad económica, se espera cubrir los costes de funcionamiento a la vez que ayudar a la sostenibilidad económica del centro educativo de Kazai.

El precio medio del pescado en Zimbabwe ronda los 5 (4,42 €) \$/kg². Teniendo en cuenta que la capacidad de la zona de engorde es de 360 kg, aproximadamente cada 20 semanas se podrá realizar una cosecha que puede alcanzar los 1.800 \$.

		Precio (€/kg)	Unidades (kg)	Total (€)
Gastos	Compra crías	8,85	4	35,40 €
	Compra adultos	39,82	6 (cada kg incluye 60 u.)	238,94 €
	Bolsa de 25 kg de comida	18,58	5 (cada unidad son 25 kg.)	92,92 €
	Mantenimiento			100,00 €
	Otros gastos			200,00 €
	TOTAL			667,26 €
Ingresos	PVP	4,42	360	1.592,92 €
	TOTAL			1.592,92 €
Beneficios				
TOTAL				925,66 €

Tabla 9: cálculo de la rentabilidad del negocio. Fuente: elaboración propia

Tomando precios locales en dólares y aplicando la tasa de cambio vigente a día 7 de junio de 2020 (1€/1,13\$), se elaboró un sencillo presupuesto mensual, con el que cuantificar la viabilidad económica del proyecto.

En los gastos se ha tenido en cuenta una reposición de individuos del 40% de la capacidad del estanque, confiando el otro 60% a la capacidad reproductiva de los individuos del estanque. Se trata de un margen elevado, muy conservador, que se deberá ir ajustando. También se ha destinado una partida a mantenimiento y otra a gastos inesperados.

Cabe destacar que no habrá gastos de mano de obra (o serán mínimos), pues al tratarse de un proyecto social se cuenta con la involucración de la comunidad, que hace suyo el proyecto y se compromete a poner la mano de obra.

² Se han consultado varias páginas web de supermercados presentes en Zimbabwe, entre ellos Aldi y FoodWorld.

De esta forma, se puede calcular el margen de ganancias de la explotación para ver la rentabilidad del negocio:

$$\text{Margen de ganancias} = \frac{\text{Beneficios netos}}{\text{Ingresos}} \cdot 100 = \frac{925,66 \text{ €}}{1.592,92 \text{ €}} \cdot 100$$

$$\text{Margen de ganancias} = 58,1\%$$

La interpretación de este resultado supone que por cada 100 € que se ingresan con la venta de pescado, las ganancias netas son de algo más de la mitad, 58,1 €.

Se trata de unos beneficios recurrentes suficientes para mantener la instalación, comprar el alimento para los peces, y generar un remanente. Este podrá destinarse a la sostenibilidad económica de la institución educativa, garantizando su sostenibilidad en el tiempo.

Se calculará también el retorno sobre la inversión como:

$$RSI = \frac{\text{Beneficios}}{\text{Inversión realizada}} \cdot 100$$

El presupuesto general del proyecto (inversión realizada) asciende a 3.964,03 € (ver Documento III). Así pues:

$$RSI = \frac{925,66 \text{ €}}{3.964,03 \text{ €}} \cdot 100$$

$$RSI = 25,4\%$$

La interpretación de este resultado supone que por cada 100 € invertidos en el proyecto, las ganancias netas por la venta del pescado son una cuarta parte de la inversión, 25,4 €.

Por último, se calculará el periodo de recuperación de la inversión, suponiendo los ingresos constantes durante todos los años (925,66 €). La inversión inicial coincide con el presupuesto general del proyecto.

$$PRI = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Flujo medio de caja}} = \frac{1}{RSI} = 4,3$$

Hay que recordar que el presupuesto se hace para un periodo de tiempo de 20 semanas. De esta forma, en 4,3 · 20 semanas, aproximadamente 86 semanas (en 1 año y casi 8 meses), se habría recuperado la inversión inicial.

Año 0	+20 semanas	+40 semanas	+60 semanas	+80 semanas	+100 semanas
- 3.964,03€	- 3.038,36€	- 2.112,70€	- 1.187,04€	- 261,37€	664,29€

Tabla 10: periodo de recuperación de la inversión. Fuente: elaboración propia

No obstante, la inversión inicial para la comunidad de Kazai se realizará únicamente en capital humano, pues todos los fondos necesarios para poner en marcha el proyecto se recaudan desde España, y se destinan íntegramente a este proyecto social.

Teniendo esto en mente, también se quiere exponer a la comunidad la necesidad de prestar atención a las magnitudes económicas a la hora de emprender una nueva actividad. Es necesario que estos miembros puedan cuantificar de algún modo el valor del proyecto, y, con esa información, aprovechar y mantener su rendimiento.

Impacto social

Entre los objetivos del proyecto también se pretende ayudar a financiar las matrículas escolares de los estudiantes con menos recursos económicos. En colaboración con la dirección del centro educativo, se promoverá la concesión de becas y ayuda al estudio, para garantizar que la falta de recursos económicos no suponga una desventaja en el acceso a la educación.

Además, la introducción de la práctica de la acuicultura en la oferta educativa del centro pretende ser un motor de cambio para los jóvenes, de tal forma que puedan aprender la profesión y la forma de emprender un pequeño negocio.

CAPÍTULO 4: PLAN DE EJECUCIÓN

CONTENIDOS DEL CAPÍTULO 4: PLAN DE EJECUCIÓN

1. Compactación y nivelación del terreno	87
2. Construcción de la solera	87
3. Construcción del muro exterior	88
4. Impermeabilización y canalización de entrada/salida de agua	88
5. Limpieza y acabados	88
6. Puesta en marcha	89

En este capítulo se detallará el plan de ejecución propuesto, que consta de seis fases. Sirve como guía rápida que resume el contenido teórico y cálculos realizados en capítulos anteriores.

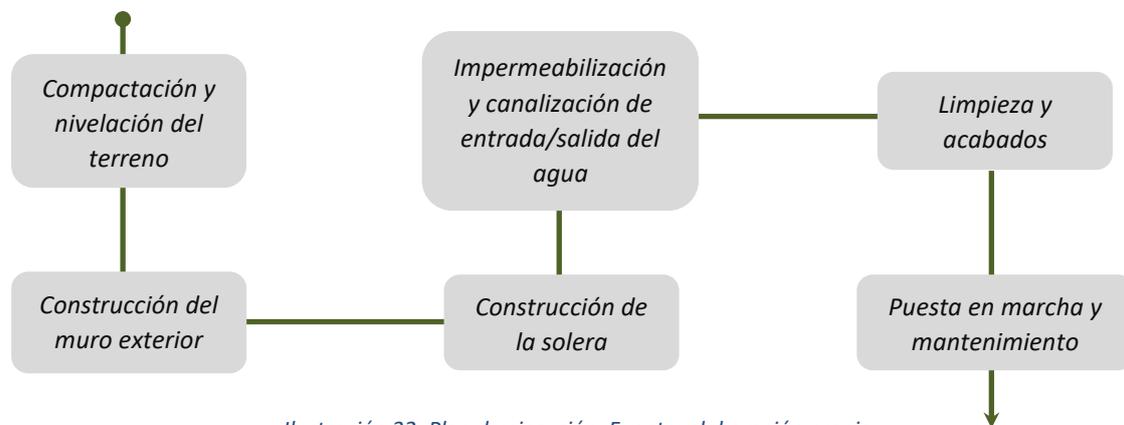


Ilustración 32: Plan de ejecución. Fuente: elaboración propia

1. Compactación y nivelación del terreno

En primer lugar, se limpiará la superficie en la que se emplazará el estanque, eliminando cualquier resto vegetal o de otra naturaleza. El suelo de la zona en la que se construirá el estanque está compuesto principalmente por arcillas, por lo que será necesario llevar a cabo una correcta compactación.

Para compactar el terreno se puede construir una herramienta sencilla que una un palo de madera con un trozo hormigón vertido en un cubo de plástico. De igual forma, al mismo tiempo que se compacta el terreno, se procederá a su nivelación, para evitar la formación de grietas en la solera.



Ilustración 33: compactador artesanal. Fuente: FAO

2. Construcción de la solera

Una vez que el terreno esté correctamente adecuado, se construirá la solera, que será el suelo del estanque de la piscifactoría. Se trata de una capa de hormigón de unos 20-30 cm de espesor, y una superficie de 206,04 m² (20,2 m de largo por 10,2 m de ancho). Se realizará un encofrado de madera, y se armará el hormigón con rejillas de acero.

La superficie superior de la solera se construirá con una pendiente del 0,5%, de tal forma que el agua del estanque pueda fluir por gravedad. Este es un detalle muy importante de la construcción, ya que es el factor clave que permite un correcto drenaje del estanque, con el fin de mantener el agua que contiene con buena calidad.

De esta forma, el espesor máximo de la solera será de 30 cm, y el espesor mínimo en el extremo opuesto del largo será de 20 cm. El suelo del estanque tendrá un área de 200 m², por lo que ese espacio sobrante de 20 cm de ancho que tiene la solera está reservado para la construcción del muro exterior.

3. Construcción del muro exterior

Al construir la solera, se prepararán las esquinas de los muros. De esta forma, las paredes del muro exterior quedarán encajadas en la base del estanque. Para esta operación se realizará un encofrado vertical de madera, en el que se verterá el hormigón. Será hormigón armado también, pues se incluirán rejillas de acero.

La construcción de la solera y del muro exterior si que requieren uso de personal cualificado. Por tanto, se contratará a una empresa especializada en construcción, que pondrá la mano de obra, así como las herramientas y materiales necesarios.

4. Impermeabilización y canalización de entrada/salida de agua

Los canales de entrada y salida se perforarán en las paredes del estanque, y se adecuarán para poder instalar las tuberías de PVC necesarias. Se colocará una malla en el canal de salida con el fin de evitar que se escape algún pez.

Para impermeabilizar las paredes y el suelo, se colocará una geomembrana de PVC. Esto permite asegurarse de que el agua del estanque no se filtrará, y que las entradas y salidas de agua se llevarán a cabo a través de los canales destinados para este fin.

Para la colocación de la geomembrana habrá que asegurarse que la superficie de hormigón sea uniforme, con ausencia de granos grandes que puedan ocasionar punzonamientos que dañen el material.

El anclaje de la geomembrana se realizará en la parte inferior de las paredes del estanque, por su cara exterior. Se anclará de forma mecánica, de modo que quede estirada y ajustada al interior del estanque. Para una mayor seguridad, se pueden enterrar los extremos en las proximidades de la base del estanque.

5. Limpieza y acabados

Una vez terminada la construcción del estanque, se procederá a su adecuación para la introducción de los peces. Se limpiarán los restos de material que hayan podido quedar en la superficie, y se procederá al llenado del estanque.

Se instalará la malla plástica gracias a la colocación de hembras en las paredes del estanque. Usando bridas y anclándolas a las hembras se unirá la malla a la pared. La malla deberá quedar tensa para cumplir con su función de separación.

Con el fin de generar un ecosistema alrededor del estanque, se pretende plantar árboles en las proximidades. Además, cuando la vegetación crezca y sea densa, se convertirá en una herramienta para reducir la evaporación de agua debida a las altas temperaturas.

6. Puesta en marcha y mantenimiento

Una vez llenado el estanque y ajustados los parámetros de calidad del agua, se procederá a la introducción de los peces. Lo ideal será trasladar los peces en algún depósito de agua o incluso en bolsas de plástico de gran tamaño. La ventaja de las bolsas de plástico es que permite introducirlas en el agua del estanque, de tal forma que los peces se vayan aclimatando poco a poco a la temperatura del estanque.

Cuando el estanque ya esté en pleno funcionamiento, se procederá a la capacitación del personal del centro de formación profesional, al que se le entregará un manual de mantenimiento (Anexo B).

CAPÍTULO 5: IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

CONTENIDOS DEL CAPÍTULO 5: IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Impacto negativo	95
Residuos generados	95
Impacto positivo	96
Sostenibilidad a futuro	96

En este capítulo se analiza el impacto medioambiental que la implantación de la piscifactoría genera en el entorno.

Impacto negativo

En cualquier proceso de construcción se generan residuos. Es necesario cuantificar³ y clasificar estos residuos para minimizar el impacto de la construcción en el medio ambiente.

Residuos generados

Dado el tipo de construcción escogida, los residuos generados son en su mayoría de fácil reciclado o reutilización. En relación a la madera, se pretende poder usarla como combustible. El hierro y el acero sobrante son prácticamente escasos, por lo que la empresa que realice la obra se encargará de su reutilización. Sin embargo, los plásticos generados será el material más difícil de reciclar, pero se una vez en terreno se buscará la mejor solución posible, según la capacidad de reciclaje de la que se disponga.

	TIPO	CÓDIGO LER	MASA (kg)	VOLUMEN (L)
SOLERA	Madera	17 02 01	110,00	100,00
	Hierro y acero	17 04 05	0,40	0,20
	Residuos mezclados	17 09 04	0,40	0,20
MURO	Madera	17 02 01	18,93	17,21
	Hierro y acero	17 04 05	0,09	0,03
GEOMEMBRANA	Material de aislamiento	17 06 04	1,16	1,93
	Plástico	17 02 03	10,81	18,14
TOTAL			130,98	119,57

Tabla 11: residuos generados durante la construcción de la piscifactoría. Fuente: elaboración propia, CYPE

El código LER (Lista Europea de Residuos) armoniza el tipo de residuo y facilita su categorización para poder aplicar el tratamiento más indicado. El número 17 indica que son residuos de la construcción y demolición, y los siguientes ya diferencian el tipo de material. Revisando la Lista Europea de Residuos⁴ ninguno de ellos está considerado como peligroso.

Como se explica a continuación, el impacto final es positivo, ya que se toman varias medidas muy beneficiosas para el entorno, que anulan el impacto negativo de los residuos generados.

³ Calculados usando el generador de precios de CYPE Ingenieros, S.A.

⁴ <https://www.ine.es/daco/daco42/resiurba/equivalencias.pdf>

Impacto positivo

El fin de la construcción e implantación de la piscifactoría es poder criar peces en cautividad. Este propósito permite mantener e incluso aumentar la presencia de la especie a criar, en este caso *Clarias gariepinus*. De esta forma, se ayuda a mantener la biodiversidad de nuestro planeta. Además, para la elección de la especie el primer criterio que se impuso fue que se tratara de una especie local, de tal forma que se respetara la biodiversidad local.

Otro factor a tener en cuenta es el deseo de plantar árboles alrededor de la piscifactoría, para que, a la vez que permiten reducir la evaporación del agua del estanque, compensen en cierta medida la huella de CO₂ proveniente de los residuos generados en la construcción. Más en profundidad, evitando que se evapore el agua del estanque se hace un consumo responsable del agua, reduciendo la necesidad de rellenar el estanque.

Por último, el deseo de integrar la piscifactoría en el ámbito agrícola-ganadero aumenta la sostenibilidad medioambiental del entorno. En esta línea se encuentra la utilización de los residuos orgánicos del ganado para abonar el agua y la utilización de desechos del cultivo para alimentar a los peces.

Sostenibilidad a futuro

La acuicultura es una actividad económica que está en auge, y que se presenta, en muchos lugares, como una actividad complementaria a la agricultura y ganadería. De esta forma, se puede diseñar un sistema de economía circular que integre estas tres actividades primarias.

En estos sistemas el estiércol del ganado se aprovecha para fertilizar el estanque de la piscifactoría, los desechos de los cultivos sirven como alimento para los peces, los sedimentos del estanque pueden transformarse en fertilizantes para la tierra, y el agua desechada del estanque puede incluirse en el sistema de riego de los campos aledaños.

De cara a un futuro, cuando la piscifactoría esté funcionando a pleno rendimiento, se planteará la idea de crear un sistema integrada de estas características, para el beneficio de la comunidad de Kazai.

Por último, cabe recordar uno de los objetivos del proyecto relacionado con garantizar una fuente de alimentación complementaria para la comunidad. Con la implantación de la piscifactoría y su funcionamiento a pleno rendimiento, se está fortaleciendo la seguridad alimentaria de la comunidad.

CAPÍTULO 6: ANEXOS

CONTENIDOS DEL CAPÍTULO 6: ANEXOS

Anexo A: tabla de crecimiento y alimentación del <i>Clarias gariepinus</i>	101
Anexo B: guía de mantenimiento	102
Anexo C: alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible	104
Foco principal	105
Contribución directa	105
Contribución indirecta	106
Bibliografía	107
Glosario de términos	109

Anexo A: tabla de crecimiento y alimentación del *Clarias gariepinus*

Weeks in production	Fish Size (g)	Growth (g/day)	Daily Feed (% BW)	Daily Feed/Fish (g)	est FCR	Type of feed Protein %CP - size (mm)	Number of Feedings/Day
*Recommended Size at Stocking							
*1	10	0.5	5.0	0.5	1.0	36-3	4
2	14	0.6	4.7	0.7	1.1	36-3	4
3	23	1.2	4.6	1.0	0.9	36-3	4
4	33	1.4	4.0	1.3	0.9	36-3	4
5	45	1.7	3.8	1.7	1.0	36-3	3
6	59	2.0	3.6	2.1	1.0	36-3	3
7	77	2.6	3.4	2.6	1.0	36-3	2
8	97	2.8	3.0	2.9	1.0	32-3	2
9	122	3.7	3.0	3.7	1.0	32-3	2
10	150	4.0	2.7	4.1	1.0	32-3	2
11	182	4.6	2.5	4.6	1.0	32-5	2
12	217	4.9	2.4	5.2	1.1	32-5	2
13	252	5.0	2.4	6.0	1.2	32-5	2
14	288	5.1	2.0	5.8	1.1	32-5	2
15	323	5.1	1.8	5.8	1.1	32-5	2
16	359	5.1	1.8	6.5	1.3	32-5	2
17	395	5.1	1.8	7.1	1.4	32-5	1
18	430	5.1	1.5	6.5	1.3	32-5	1
19	466	5.1	1.5	7.0	1.4	32-5	1
20	502	5.1	1.5	7.5	1.5	32-5	1
21	537	5.1	1.4	7.5	1.5	32-5	1
22	573	5.1	1.4	8.0	1.6	32-5	1
23	609	5.1	1.3	7.9	1.6	32-5	1
24	645	5.1	1.3	8.4	1.6	32-5	1
25	680	5.1	1.2	8.2	1.6	32-5	1
26	716	5.1	1.2	8.6	1.7	32-5	1
27	752	5.1	1.2	9.0	1.8	32-5	1
28	787	5.1	1.1	8.7	1.7	32-5	1
29	823	5.1	1.1	9.1	1.8	32-5	1
30	859	5.1	1.1	9.4	1.9	32-5	1
31	894	5.1	1.1	9.8	1.9	32-5	1
32	930	5.1	1.0	9.3	1.8	32-5	1
33	966	5.1	1.0	9.7	1.9	32-5	1
34	1002	5.1	1.0	10.0	2.0	32-5	1
35	1037	5.1	1.0	10.4	2.0	32-5	1
36	1073	5.1	1.0	10.7	2.1	32-5	1

Tabla 12: crecimiento y alimentación del *Clarias Gariepinus*. Fuente: USAID

Anexo B: guía de mantenimiento

Esta guía de mantenimiento va dirigida a los encargados del colegio de formación profesional, por lo que se ha redactado en inglés. Pretende servir de herramienta para garantizar el sostenimiento de la instalación durante el tiempo.

Maintenance guide

The following instructions involve basic **procedures that must be followed** as it is explained for the correct operation of the fish farm. This guide includes information related with **water quality**.

The **quality of water will be checked twice a day**, one in the morning, and the second one, in the afternoon. It is important to keep a record of every measure and operation carried out.

QUALITY OF WATER

1. TEMPERATURE

The **ideal temperature** for the fish is **26°C/78°F**

If temperature goes under **16°C/61°F**, it is necessary to introduce hot water **little by little and in different points of the fishpond**. Increase temperature up to at least **19°C/66°F**

Temperature will be measured **with the electronic probe in different points of the pond**

2. DISSOLVED OXYGEN

The appropriate level of dissolved oxygen must be above **5 mg/L**

If DO level is below this point, it is necessary to **let some water out** of the pond and **restore it with pumped water**

Dissolved oxygen will be **measured with the electronic probe in different points of the pond**

8. TURBIDITY

Turbidity is related with the cloudiness of the water. Catfish like to swim by the bottom of the pond, so it is normal for the water to have browned color. If it turns slightly green, it means that plants are growing in the bottom, what is positive. With sunlight water might turn from green to red.

Nevertheless, if water is too cloudy (it is hard to see the fish), it is necessary to pump some fresh water in, and even clear some dirt from the bottom of the pond.

3. pH

pH level must be kept **in the interval of 6.5 and 9**

In case the **level goes under 6.5**, it is necessary to **pour salt in the water**. A glass can be used to measure how much salt to be poured

Whenever this technique is used, **write down the amount of glasses of salt poured**, and how much has the pH shifted upwards

In case the **level goes above 9**, it is necessary to **let some water out** of the pond, and **restore it with pumped water**

pH will be measured with water test strips

7. ALKALINITY AND HARDNESS

The **appropriate level** for alkalinity and hardness is **above 20 ppm** (parts per million)

In case the **level goes under 20 ppm**, it is necessary to **let some water out** of the pond, and **restore it with pumped water**

Alkalinity and hardness **will be measured with water test strips**

Anexo C: alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

La Agenda 2030 plantea 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental. Se trata de un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que promueva la paz y elimine las injusticias.

Para la redacción de los ODS se dedicaron dos años de consultas públicas, escucha de la sociedad civil y negociación entre los distintos países, con el fin de garantizar el éxito de su implementación.



Ilustración 34: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: Organización de las Naciones Unidas

Desde las administraciones públicas, así como desde las instituciones académicas, se pretende impulsar su implementación y puesta en valor, por lo que este proyecto también tiene en cuenta los ODS. Para ello, se ha establecido un orden de prioridades, poniendo el foco en unos ODS determinados, y otros a los que se contribuye de forma directa o indirecta.

Foco principal



En el foco principal del proyecto se engloban los siguientes objetivos:

- **Fin de la pobreza**, a través del inicio de un negocio relacionado con la venta de pescado
- **Hambre cero**, proporcionando una vía alternativa de alimentación, asegurando el alimento durante todo el año
- **Salud y bienestar**, facilitando el acceso al agua potable y tratando las aguas residuales
- **Educación de calidad**, alargando la oferta educativa más allá de la educación secundaria, con la posibilidad de aprender un oficio
- **Reducción de las desigualdades**, apostando por un área rural alejada del desarrollo económico del país

Contribución directa



Los objetivos con los que se contribuye directamente son:

- **Igualdad de género**, fomentando la colaboración tanto de hombres como de mujeres en cualquier tarea necesaria
- **Trabajo decente y crecimiento económico**, gracias a la formación recibida en la escuela profesional los estudiantes podrán adquirir un trabajo con el que mejorar sus perspectivas de futuro
- **Industria, innovación e infraestructura**, construyendo una piscifactoría moderna que permita comenzar la actividad económica relacionada con a la venta de pescado
- **Acción por el clima**, haciendo sostenible el desarrollo del proyecto en todas sus etapas
- **Vida submarina**, preservando la vida de los océanos fomentando la acuicultura
- **Vida de ecosistemas terrestres**, respetando en la mayor medida posible el entorno alrededor de la instalación

Contribución indirecta



Los objetivos con los que se contribuye indirectamente son:

- **Agua limpia y saneamiento**, puesto que el pozo que debe surtir a la piscifactoría también surtirá de agua potable a la comunidad local, cumpliendo con los estándares de calidad
- **Energía asequible y no contaminante**, gracias a la instalación de paneles solares que nutrirán a la bomba que saque el agua del pozo
- **Ciudades y comunidades sostenibles**, con la involucración de toda la comunidad de Kazai
- **Producción y consumo responsables**, basado en la economía circular, dado que los ingresos del negocio permitirán financiar la educación de otros miembros de la comunidad
- **Paz, justicia e instituciones sólidas**, como consecuencia del desarrollo de la comunidad y el beneficio de todos los individuos
- **Alianzas para lograr los Objetivos**, como meta para mantener el proyecto

Bibliografía

Aquafeed. (2016). *“Launch of the Zimbabwe Fish Producers’ Association brings aquaculture into agriculture”*. 6 de enero de 2019, de Aquafeed Sitio web: <http://www.aquafeed.com/news/reports-articles-article/6564/Launch-of-the-Zimbabwe-Fish-Producers39-Association-brings-aquaculture-into-agriculture/>

Asiimwe, R., Daniels, W., Isyagi, N., & Veverica, K. (2009). *Manual for the Commercial Pond Production of the African Catfish in Uganda*. Kampala: Walimi.

Banco Mundial. (2014). *“Raising More Fish to Meet Rising Demand”*. 5 de enero de 2019, de Banco Mundial Sitio web: <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2014/02/05/raising-more-fish-to-meet-rising-demand>

Banco Mundial. (2018). Zimbabwe. 7 de abril de 2020, de Banco Mundial Sitio web: <https://data.worldbank.org/country/zimbabwe>

Bradley, K., & Ingham, K.. (2020). Zimbabwe. 15 de abril de 2020, de Encyclopædia Britannica Sitio web: <https://www.britannica.com/place/Zimbabwe/Climate>

Chakroff, M. (1984). Fishpond construction. En *Freshwater fishpond culture and management* (No. 36)(pp.57-58). Washington D.C.: The Corps.

Coche, A.G., Muir, J.F., & Laughlin, T.L.. (1995). *Pond construction for freshwater fish culture: building earthen ponds*. Roma: Food & Agriculture Org.

El Gamal, A. (2014). *Integrated Agriculture-Aquaculture Project in Kagera, Tanzania*. 14 de abril de 2020, de Fish Consulting Group Sitio web: <http://fishconsult.org/wp-content/uploads/2014/07/Integrated-agriculture-aquaculture-project-in-Tanzania.pdf>

Engineers Without Borders USA. (2019). *“Teach a Community to Build a Fish Pond...”*. 4 de enero de 2019, de Engineers Without Borders USA Sitio web: <https://www.ewb-usa.org/teach-a-community-to-build-a-fish-pond/>

Froese, R. & Pauly, D. (2019). Fish Base. 22 de abril de 2020, de FishBase Sitio web: www.fishbase.org

Jariod, R. (2008). Piscicultura. 14 de abril de 2020, de CC ONG AL DESARROLLO Sitio web: <http://ccong.ccong.es/proyectos/afrika/mali/agricultura/piscicultura-2#>

Llorente, M. (2019). Memoria. En *Sistema de captación de agua y distribución para una comunidad rural en Zimbabwe*(pp. 10,27). Madrid: ICAI.

Marshall B. (2010). *“Fishes of Zimbabwe and Their Biology”*. Smithiana Monograph 3, South African Institute for Aquatic Biodiversity. Grahamstown, South Africa.

Ministry of Environment & Natural Resources Management . (2010). *Zimbabwe’s Fourth National Report to the Convention on Biological Diversity*. 18 de abril de 2020, de Convention on Biological Diversity Sitio web: <https://www.cbd.int/doc/world/zw/zw-nr-04-en.pdf>

Ministry of Environment, Water and Climate. (2014). National Biodiversity Strategy and Action Plan 2014. 18 de abril de 2020, de Convention on Biological Diversity Sitio web: <https://www.cbd.int/doc/world/zw/zw-nbsap-v2-en.pdf>

Ministry of Environment, Water and Climate. (2015). Zimbabwe's Fifth National Report to the Convention on Biodiversity. abril 18, 2020, de Convention on Biological Diversity Sitio web: <https://www.cbd.int/doc/world/zw/zw-nr-05-en.pdf>

Mordasov, P. (2019). El retorno de la hiperinflación en Zimbabwe. 7 de abril de 2020, de Mises Institute Sitio web: <https://mises.org/es/wire/el-retorno-de-la-hiperinflaci%C3%B3n-en-zimbabwe>

Moreau, J., Bambino, C. & Pauly, D. (1986). Indices of overall growth performance of 100 tilapia (Cichlidae) populations. p. 201-206. In J.L. Maclean, L.B. Dizon and L.V. Hosillos (eds.) The First Asian Fisheries Forum. 727 p. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines. 22 de abril de 2020

Moreno, M. & Tellería, M.. (2019). Acción, objetivos y destinatarios. En Project Zimbabwe (pp. 3-6). Madrid: Documento interno de Project Zimbabwe.

Oficina de Información Diplomática de España. (2018). Zimbabwe. 7 de abril de 2020, de Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación Sitio web: http://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/ZIMBABWE_FICHA%20PAIS.pdf

Organización de las Naciones Unidas. (2019). “17 objetivos para transformar nuestro mundo”. 4 de enero de 2019, de Organización de las Naciones Unidas Sitio web: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Robinson, E. (2006). Catfish Nutrition | : Nutrient Requirements. Extension Service of Mississippi State University, Publicación 2412, pp.1-4.

Satia, B. (2017). REGIONAL REVIEW ON STATUS AND TRENDS IN AQUACULTURE DEVELOPMENT IN SUB-SAHARAN AFRICA – 2015. abril 18, 2020, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Sitio web: <http://www.fao.org/3/a-i6873e.pdf>

Southern African Development Community. (2012). “Member States”. 6 de enero de 2019, de Southern African Development Community Sitio web: <https://www.sadc.int/member-states/>

StartupBiz Zimbabwe. (2017). “Starting tilapia fish farming business in Zimbabwe and the business plan”. 5 de enero de 2019, de StartupBiz Zimbabwe Sitio web: <https://startupbiz.co.zw/starting-tilapia-fish-farming-business-plan-zimbabwe/>

Wikipedia. (2019). Mount Darwin. 13 de abril de 2020, de Wikipedia. Sitio web: https://en.wikipedia.org/wiki/Mount_Darwin,_Zimbabwe

World Bank. (2013). *Fish to 2030 : prospects for fisheries and aquaculture (English)*. Agriculture and environmental services discussion paper ; no. 3. Washington DC ; World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/458631468152376668/Fish-to-2030-prospects-for-fisheries-and-aquaculture>

Glosario de términos

- APPZ: Asociación de Productores de Peces de Zimbabue
- BM: Banco Mundial
- CFA: Child Future Africa
- EICA: Egyptian International Centre for Agriculture
- FAO: Food and Agriculture Organization
- FCR: Feed Conversion Ratio
- ICAI: Instituto Católico de Artes e Industrias
- ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible
- ONG: Organización No Gubernamental
- ONUAA: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
- PEANB: Plan de Estrategia y Acción Nacional para la Biodiversidad
- PIB: Producto Interior Bruto
- SADC: Southern African Development Community
- TFG: Trabajo de Fin de Grado

DOCUMENTO II: PLANOS

CAPÍTULO 1: LISTADO DE PLANOS

CONTENIDOS DEL CAPÍTULO 1: LISTADO DE PLANOS

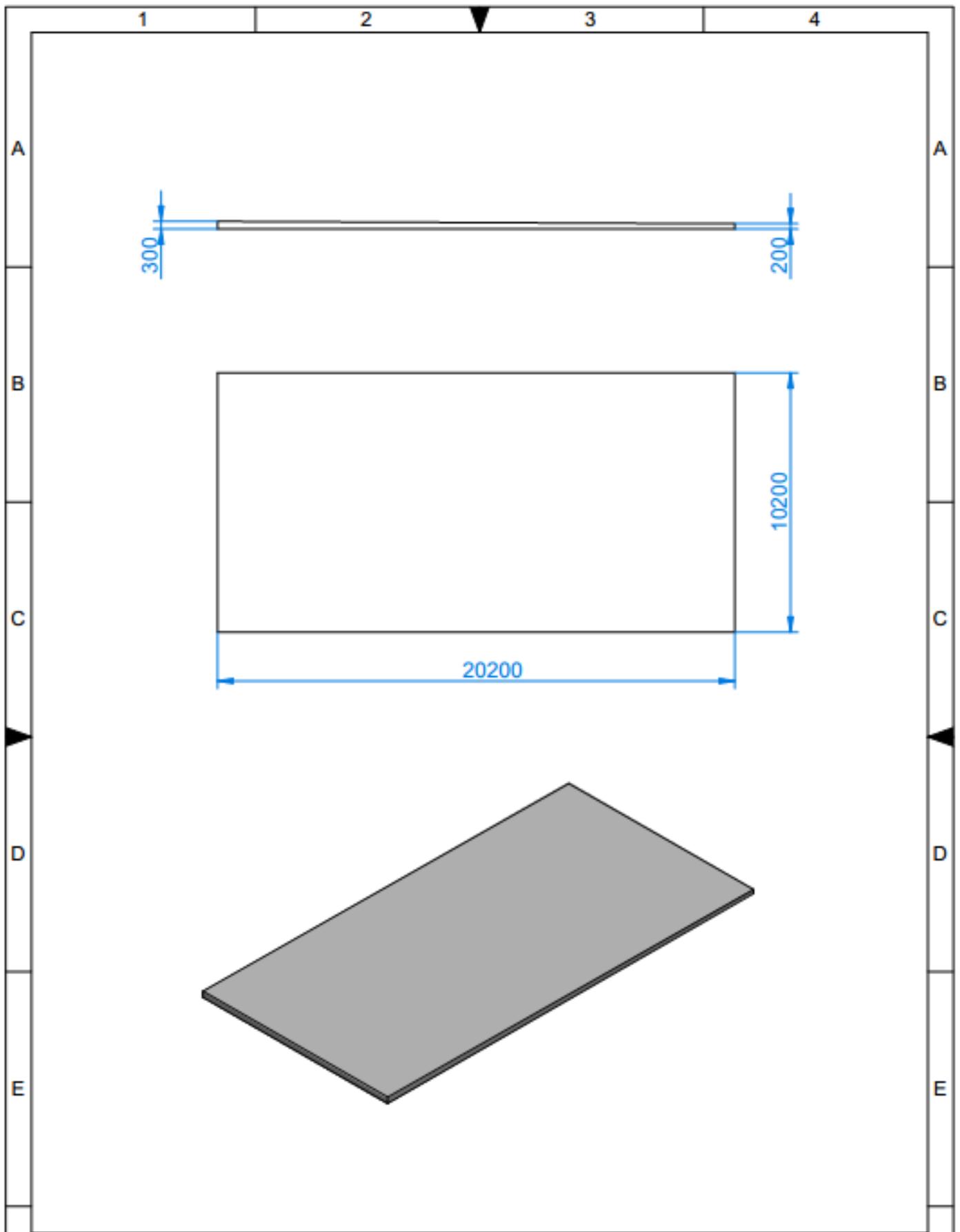
Listado de planos

119

Listado de planos

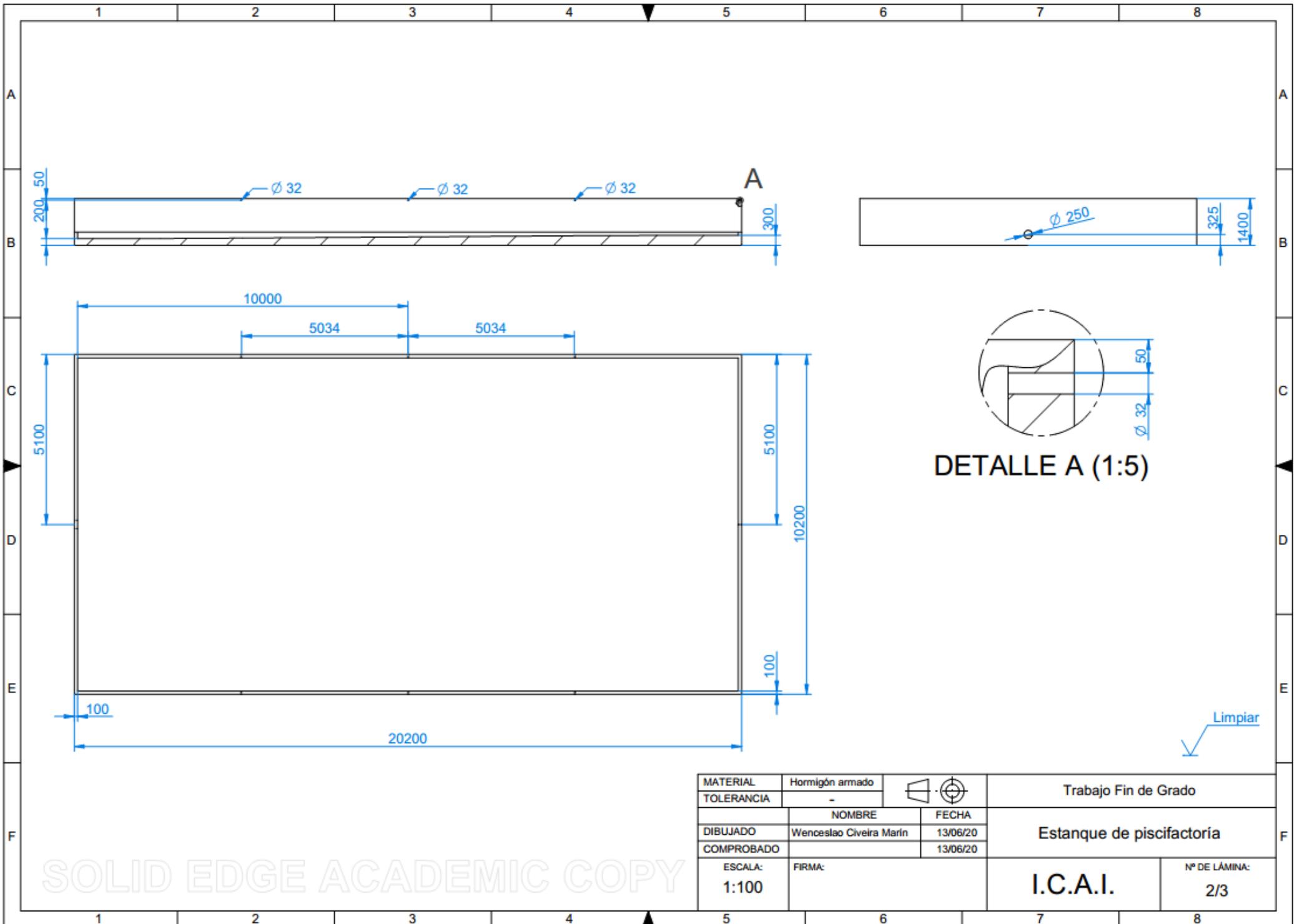
- Plano Nº1. – Solera
- Plano Nº2. – Estanque de piscifactoría
- Plano Nº3. – Delimitación criadero y engorde

CAPÍTULO 2: PLANOS



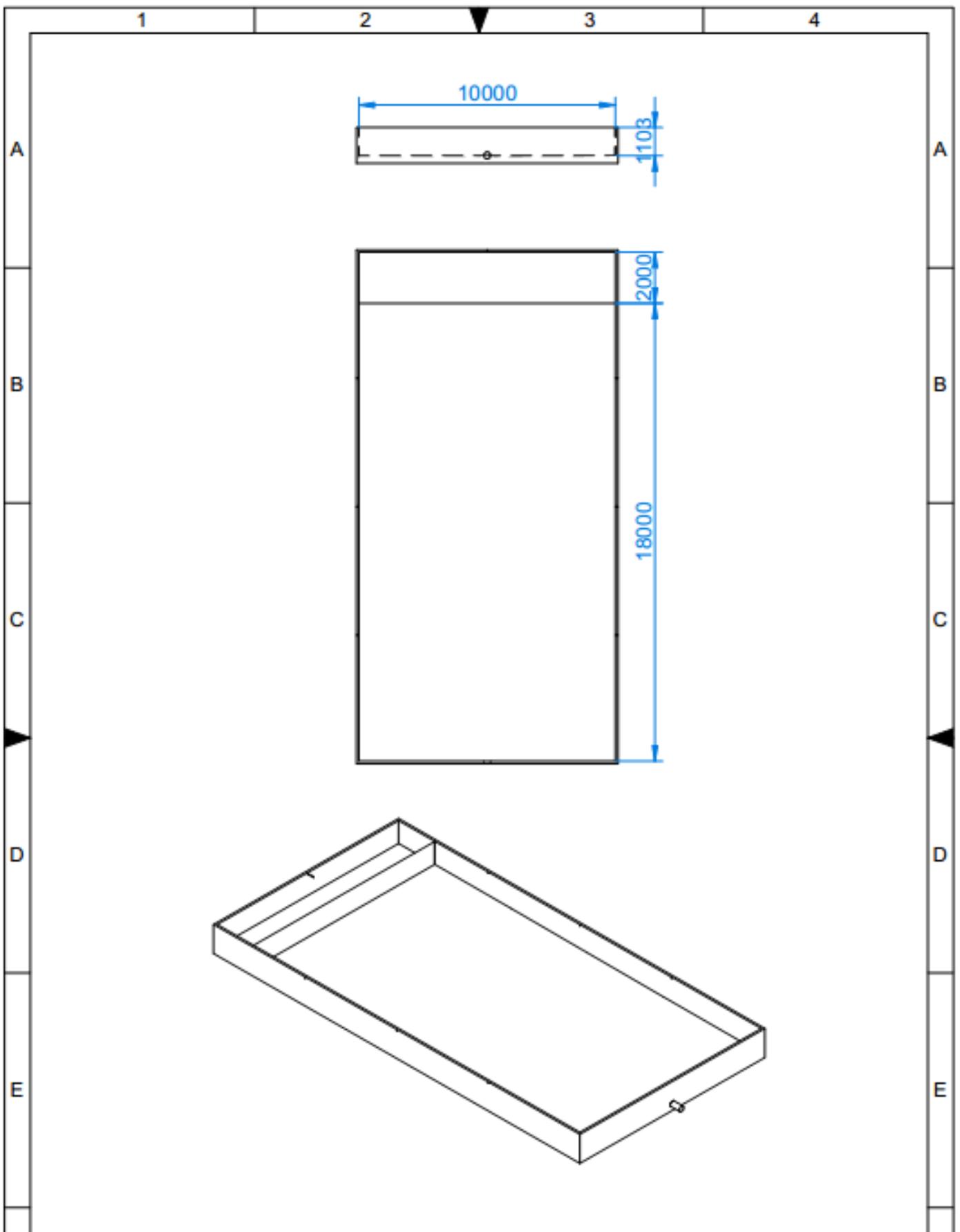
MATERIAL	Hormigon armado		Trabajo Fin de Grado	
TOLERANCIA	-		Solera	
	NOMBRE	FECHA		
DIBUJADO	Wenceslao Civeira Marín	14/06/2020		
COMPROBADO	Miren Tellería Ajuaguerra	14/06/2020		
ESCALA:	FIRMA:		I.C.A.I.	Nº DE LÁMINA:
1:200				1/3

EDGE ACADEMIC COPY



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

MATERIAL	Hormigón armado		Trabajo Fin de Grado	
TOLERANCIA	-		Estanque de piscifactoría	
DIBUJADO	Wenceslao Civeira Marín	FECHA	13/06/20	I.C.A.I.
COMPROBADO		FECHA	13/06/20	
ESCALA:	FIRMA:			
1:100				



MATERIAL	Polietileno		Trabajo Fin de Grado	
TOLERANCIA	-		Delimitación criadero y engorde	
	NOMBRE	FECHA		
DIBUJADO	Wenceslao Civeira Marín	14/06/2020		
COMPROBADO	Miren Tellería Ajuriaguerra	14/06/2020		
ESCALA:	FIRMA:		I.C.A.I.	Nº DE LÁMINA:
1:200				3/3

SOLO EDGE ACADEMIC COPY

DOCUMENTO III: PRESUPUESTO

CAPÍTULO 1: SUMAS PARCIALES

CONTENIDOS DEL CAPÍTULO 1: SUMAS PARCIALES

Costes directos	135
Costes indirectos	135
Activo fijo	135
Otros gastos	135

En este capítulo se indican las partes que forman el presupuesto del proyecto, detallando cómo se ha elaborado este.

Costes directos

Los costes directos asociados a la construcción e implantación de la piscifactoría incluyen:

- Medidor de oxígeno disuelto y temperatura
- Tiras de análisis de agua (para aproximadamente un mes)
- Crías de peces (de 10 mg), se presupuestan 10 kg. de crías
- Peces adultos (de 100 g), se presupuestan 900 individuos
- La malla y las bridas necesarias para la separación de las dos zonas del estanque
- Las tuberías de la red de distribución
- Materiales y mano de obra profesional necesarios para la construcción del estanque

El monto de los costes directos del proyecto asciende a **2.715,39 €**.

Costes indirectos

Los costes indirectos asociados a la construcción e implantación de la piscifactoría incluyen:

- Alimento para los peces (para aproximadamente un mes)
- Costes de transporte

El monto de los costes indirectos del proyecto asciende a **748,64 €**.

Activo fijo

El activo fijo del proyecto se entiende como la suma de los costes directos e indirectos. El monto del activo fijo del proyecto asciende a **3.464.03 €**.

Otros gastos

La partida destinada a otros gastos se trata de un margen del que se quiere disponer para hacer frente a gastos inesperados o a desviaciones en el presupuesto de los costes directos. El monto de otros gastos del proyecto asciende a **500 €**.

De esta forma, el presupuesto total del proyecto asciende a **3.964,03 €**.

Todos los costes se han calculado según su referencia en España⁵, a excepción del precio de los peces y su alimento. El precio de estos se ha tomado según datos actuales en Zimbabue, y se ha convertido de dólares a euros aplicando la tasa de cambio vigente a día 7 de junio de 2020 (1€/1,13\$).

⁵ Usando el generador de precios CYPE Ingenieros, S.A.
<http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0>

CAPÍTULO 2: PRESUPUESTO GENERAL

CONTENIDOS DEL CAPÍTULO 2: PRESUPUESTO GENERAL

Presupuesto general

141

Presupuesto general

	ELEMENTO	MODELO	PRECIO UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
EQUIPOS	Medidor de OD y temperatura	LouiseEvel215	132,00	€	1	132,00 €
	Tiras análisis agua (50 uds.)	Sera 04960	11,30	€	10	113,00 €
	Crías de peces	<i>Clarias gariepinus</i>	8,85	€/kg	10	88,50 €
	Peces adultos	<i>Clarias gariepinus</i>	39,82	€/60 uds.	15	597,35 €
	Alimento peces		18,58	€/25kg	8	148,64 €
	Malla y bridas	PE	3,08	€/m	13	40,00 €
	Tuberías	PVC ø25 mm	15,74	€/m	0,8	12,59 €
		PE ø25 mm	0,88	€/m	150	132,00 €
Collarines		0,95	€/u.	10	9,50 €	
Transporte					600,00 €	
ESTRUCTURA	Solera		4,18	€/m ²	200	836,00 €
	Muro estanque		16,33	€/m ²	31,29	510,97 €
	Geomembrana de PVC		0,24	€/m ²	386,04	92,65 €
OBRA CIVIL	Solera		20,10	€/h	4	80,40 €
	Muro estanque		15,72	€/h	4	62,88 €
	Perforación ø25 mm		25,29	€/h	0,2	5,06 €
	Geomembrana de PVC		1,25	€/h	2	2,50 €
TERRENO	Pertenece a la ONG local	- €	€/m ²	250	- €	
COSTES DIRECTOS						2.715,39 €
COSTES INDIRECTOS						748,64 €
ACTIVO FIJO (CD+CI)						3.464,03 €
OTROS GASTOS						500,00 €
PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO						3.964,03 €

