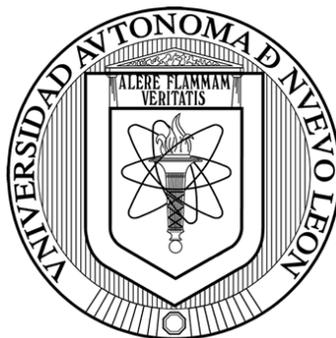


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



EVALUACIÓN DE SISTEMAS SUSTENTABLES DE ALTO RENDIMIENTO PARA
CULTIVO DE TILAPIA BAJO CONDICIONES AMBIENTALES DEL NORESTE DE
MÉXICO

POR

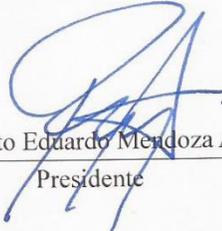
ANTONIO ARIAS GÁMEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
Doctor en Ciencias con Acentuación en Manejo de Vida Silvestre y Desarrollo
Sustentable

2025

EVALUACIÓN DE SISTEMAS SUSTENTABLES DE ALTO RENDIMIENTO PARA
CULTIVO DE TILAPIA BAJO CONDICIONES AMBIENTALES DEL NORESTÉ DE
MÉXICO

Comité de tesis



Dr. Roberto Eduardo Mendoza Alfaro

Presidente



Dr. Sergio Alberto Luna Peña

Secretario



Dra. Susana Favela Lara

Vocal



Dra. Dvorak Montiel Condado

Vocal



Dr. Jesús Ángel De León

Vocal



Dra. Katiushka Arevalo

Subdirector de Posgrado



Introduce el texto aquí

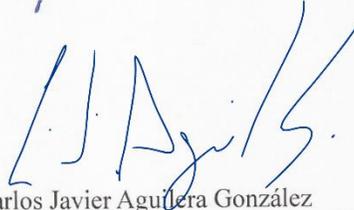
SUBDIRECCIÓN
DE POSGRADO

EVALUACIÓN DE SISTEMAS SUSTENTABLES DE ALTO RENDIMIENTO PARA
CULTIVO DE TILAPIA BAJO CONDICIONES AMBIENTALES DEL NORESTE DE
MÉXICO

Dirección de tesis



Dr. Roberto Eduardo Mendoza Alfaro
Director



Dr. Carlos Javier Aguilera González
Director externo

AVISO DERECHOS DE AUTOR

DERECHOS RESERVADOS[©]

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta Tesis está protegido, el uso de imágenes fragmentos de videos, y demás material contenido que sea objeto protección de derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar donde se obtuvo mencionando el autor o autores.

AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar agradeciendo el apoyo recibido por el CONAHCYT mediante la beca otorgada para la realización los estudios de doctorado, sin este, no hubiera sido posibles su realización, el sustento fue indispensable. De igual manera quiero agradecer a la FUNDACIÓN PRODUCE del estado de Nuevo León por apostar al proyecto de investigación, el soporte recibido fue igualmente valioso. Finalmente quiero reconocer y agradecer los recursos asignados al presente proyecto por el PAYCIT, en conjunto con CONAHCYT, y FUNDACIÓN PRODUCE del Estado de Nuevo León contribuyeron de manera indispensable para su realización.

Sin duda, el aspecto más valioso en este proceso de formación es la relación de amistad desarrollada a o largo de todos estos años de innumerables vivencias. Mi reconocimiento al Dr. Roberto Eduardo Mendoza Alfaro, ejemplo de compromiso y actitud para alcanzar los objetivos, siempre inquebrantable. Igualmente, agradezco al Dr. Carlos Javier Aguilera González los consejos y apoyo irrestricto, la enseñanza y destreza compartida en el laboratorio para la realización de los procedimientos analíticos. Igualmente, de manera muy especial quiero agradecer al Dr. Carlos Barriga Vallejo y al Dr. Sergio Luna Peña el apoyo indispensable en el proceso de aprendizaje y en el desarrollo de los procedimientos analíticos en el laboratorio y en las instalaciones de acuicultura del laboratorio húmedo.

Mi agradecimiento también es para los miembros de la faculta de física y matemáticas, en particular para el Dr. Aurelio Rodríguez Granados†, la Dra. María Aracelia Alcorta García, y al M.C. Luis Gerardo Garza Garza con quienes aprendí y desarrollé mis habilidades en el tema y una buena amistad con el paso de los años.

Finalmente quiero agradecer de manera muy especial al comité de tesis por el tiempo comprometido con el proceso.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia: a mi esposa Laura y mis dos hijas Laura y Teresa a quienes quiero entrañablemente. A mi padre, el Ing. Antonio Arias Elenes†, quien siempre promovió entre nosotros la disciplina y el estudio como filosofía de vida. A a mi madre que este año cumple 94 años de edad, de carácter afable, creativa, inteligente y pragmática. A mis hermanas Martha Cecilia, y María Elena y a mis hermanos César† y José Jesús con quienes compartí innumerables vivencias, ahora también con mis sobrinas y sobrinos.

También quiero dedicar esta tesis a esa componente sutil, esencia de la vida misma que en las distintas tradiciones y culturas describen de diferentes maneras.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
JUSTIFICACIÓN	6
HIPÓTESIS	8
OBJETIVO DEL TRABAJO	9
Objetivo general	9
Objetivos particulares	9
Capítulo 1 Método rentable para controlar y registrar automáticamente la temperatura usando un microcontrolador de código abierto en un sistema de recirculación de tilapia	10
1.1 Resumen	10
1.2 Introducción	11
1.3 Material y métodos	14
1.4 Resultados	20
1.5 Discusión	35
Capítulo 2 Evaluación de la capacidad antioxidante de péptido obtenidos de la hidrólisis de subproductos de tilapia con papaína y su efecto en dietas para peces	39
2.1 Resumen	39
2.2 Introducción	39
2.3 Objetivos	42
General	42
Específicos	42
2.4 Hipótesis	43
2.5 Antecedentes	44
2.5.1 Proteínas y péptidos	44
2.5.2 Hidrolizados	45
2.5.3 Sustrato	46
2.5.4 Enzimas proteolíticas	47

2.5.5 Papaína	47
2.5.6 Hidrolizados de pescado	48
2.5.7 Capacidad antioxidante de péptidos	50
2.6 Material y métodos	51
2.6.1 Lugar, área de trabajo de trabajo y periodo de estudio	51
2.6.2 Elaboración de los extractos de papaína	51
2.6.3 Cuantificación de los extractos de papaína	52
2.6.4 Cuantificación de la actividad enzimática de la papaína	53
2.6.5 Elaboración de hidrolizados de subproductos de papaína	53
2.6.6 Cuantificación de la proteína soluble y péptidos en los hidrolizados	54
2.6.7 Actividad antioxidante de péptidos en los hidrolizados	54
2.6.8 Efecto del hidrolizado incorporado en una dieta para peces	55
2.6.9 Evaluación del crecimiento y aprovechamiento del alimento	56
2.6.10 Evaluación de indicadore fisiológicos	56
2.6.11 Capacidad antioxidante no enzimática	56
2.6.12 Evaluación de actividad antioxidante enzimática	57
2.7 Resultados	58
2.7.1 Cuantificación de la proteína en los extractos de papaína	58
2.7.2 Cuantificación de la enzima	58
2.7.3 Hidrolizados de subproductos de tilapia	59
2.7.3.1 Cuantificación de péptidos solubles	59
2.7.4 Concentración de proteínas con espectrofotómetro	59
2.7.5 Concentración de proteínas (Bradford)	59
2.7.6 Hidrolizado completo	61
2.7.7 Capacidad antioxidante de los péptidos solubles (ORAC)	62
2.7.8 Efecto del hidrolizado incorporado en una dieta para peces	64
2.7.9 Evaluación de indicadores fisiológicos	67

2.7.10	ORAC	67
2.7.11	Superóxido dismutasa (SOD)	68
2.7.12	GST	69
2.8	Discusión	71
Capítulo 3 Análisis de factibilidad financiero y socioeconómico de producción de tilapia en el noreste de México		75
3.1	Resumen	75
3.2	Introducción	75
3.2.1	Objetivos de la Economía, breve reseña histórica	75
3.2.2	Evaluación social de proyectos	78
3.2.2.1	Estudio de mercado	79
3.2.2.2	Estudio técnico	81
3.2.2.3	Estudio financiero	81
3.2.2.4	Política de precios	82
3.2.2.5	Estudio socioeconómico	85
3.2.2.6	Conceptos básicos de microeconomía	86
3.3	Material y métodos	90
3.4	Resultados	91
3.4.1	Mercado	91
3.4.1.1	Oferta mundial	91
3.4.1.2	Principales países productores	94
3.4.1.3	Oferta y demanda de filete de tilapia congelada	95
3.4.1.4	Oferta Nacional	102
3.4.1.5	Oferta Nuevo León	106
3.4.1.6	Demanda en Nuevo León mediante números índice	107
3.4.2	Factibilidad técnica	109
3.4.3	Factibilidad financiera	110

3.5 Discusión	112
CONCLUSIONES DEL TRABAJO	114
PERSPECTIVAS	115
BIBLIOGRAFÍA	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de verdad del sistema lógico empleado para controlar la temperatura del agua en el circuito del sistema de calentamiento: reservorio y tanque de peces	18
Tabla 2. Energía sugerida (KW-H) y potencia (KW) para la fuente de calor para elevar la temperatura de 1,500 kg de agua en el siguiente rango: (17 – 28 ° C), (24 – 28 ° C) y (28 – 28 ° C)	21
Table 3. Resultados de la longitud estimada para el intercambiador de calor de tubo de cobre considerando convección forzada y tres valores diferentes para el coeficiente de transferencia de calor h_c	23
Table 4. Temperatura mensual, mínima, máxima y promedio en el periodo invernal 2014-2015. Elaboración propia con datos de la estación meteorológica 19052.CNA, San Nicolás de los Garza Nuevo León, México	23
Tabla 5. Lista de materiales en orden descendente en función del importe del intercambiador de calor	33
Table 6 Emergía requerida para calentar el agua en el tanque de peces y operar la bomba de agua de 0.373 KW usada para recircular el agua en el intercambiador de calor	33
Tabla 2.1 Concentraciones para curva estándar de trolox	52
Tabla 2.2 Concentración de proteína (mg/ml) en los extractos de papaína	58
Tabla 2.3 Promedios de proteína (mg/ml) en extractos de papaína con y sin dilución, SPL2 y SPL1, respectivamente	58
Tabla 2.4 Diferencia de concentraciones (mg/ml) de proteína en extractos elaborados con Hidrolizados de fruta completa y extracto de papaya calculados por diferencia. (Forma cuantitativa basada en resultados anteriores)	59
Tabla 2.5 Peso y longitud iniciales (Dia 1)	65
Tabla 2.6 Peso y longitud finales (Dia 30)	66
Tabla 2.7 Factor de conversión alimenticia (FCA) y factor de eficiencia proteica (FEP)	66
Tabla 2.8 ANOVA ORAC	67
Tabla 2.9 Post ANOVA ORAC	67
Tabla 2.10 ANOVA SOD	68

Tabla 2.11 Post ANOVA SOD	68
Tabla 2.12 ANOVA GST	69
Tabla 2.13 Post ANOVA GST	69
Tabla 3.1 Producción mundial mediante acuicultura de las principales especies de aleta, ordenadas de mayor a menor expresado en miles de toneladas elaboración propia con datos de FAO 2024	92
Tabla 3.2 Principales importadores de filete de tilapia congelado en el periodo 2018 – 2022 obtenidos mayormente mediante acuicultura expresado en toneladas, elaboración propia con datos de la base de datos de fishStat, 2025	99
Tabla 3.3 Principales importadores de filete de tilapia congelado en el periodo 2018 – 2022 obtenidos mayormente mediante acuicultura expresado en USDX1000, elaboración propia con datos de la base de datos de fishStat, 2025	100
Tabla 3.4 Principales exportadores de filete de tilapia congelado en el periodo 2018 – 2022 obtenidos mayormente mediante acuicultura expresado en toneladas, elaboración propia con datos de la base de datos de fishStat, 2025	100
Tabla 3.5 Principales exportadores de filete de tilapia congelado en el periodo 2018 – 2022 obtenidos mayormente mediante acuicultura expresado en USDX1000, elaboración propia con datos de la base de datos de fishStat, 2025	101
Tabla 3.6 En esta tabla se muestran los cinco mayores productores de tilapia por estado ordenados de mayor a menor en el periodo 2014 - 2019. Elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2023	103
Tabla 3.6 En esta tabla se muestra a los cinco mayores productores de tilapia por estado ordenados de mayor a menor para el periodo 2020 - 2023. Elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2023	104
Tabla 3.7 Producción estatal de tilapia en el estado de Nuevo León en el contexto nacional para el periodo 2014 – 2023, elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2023	106
Tabla 3.8 Consumo Nacional Aparente de mojarra en el periodo 2019 – 2022, elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2022	108
Tabla 3.9 Nivel de producción en el horizonte de evaluación del proyecto. A partir del cuarto año se alcanza la producción plena	110

Tabla 3.8 Escenarios optimista, conservador y pesimista en la que se muestran los flujos netos de efectivo descontados, periodo de recuperación de la inversión inicial total y el valor presente neto de la inversión 110

Tabla 3.9 Tasa interna de retorno de los tres escenarios de inversión 111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del circuito hidráulico y su relación con el circuito de control. Líneas de sensores de temperatura en negro y en rojo líneas de control de potencia	15
Figure 2. Esquema de laso cerrado, el controlador corresponde al ArduinoUNO™, El proceso controlado es la temperatura del agua	15
Figura 3 (A) Diagrama de conexión del termómetro digital DS18B20 en modo parásito y 3 (B) Diagrama de la interfase de control a los relevadores para control de potencia	17
Figura 4. Diagrama de la sección transversal del intercambiador de calor de tubo de cobre cubierto con pintura ahulada.	22
Figura 5. Programa para control de temperatura, para el microcontrolador ArduinoUNO® y el escudo de relevadores SEEED® relay shield v2.1	31
Figura 6. Gráfica en la que se muestra la temperatura en el tanque de peces en el periodo invernal 2014 - 2015, oscilando entre 27 y 28 °C	32
Figura 7. Histograma de frecuencia y probabilidad acumulada de temperatura promedio por intervalo de clase para el periodo 1951 – 1912	34
Figura 2.1 Curva estándar Bradford para concentración de proteínas	60
Figura 2.2 Concentración de proteína en extracto	61
Figura 2.3 Concentración de proteína en fruta	61
Figura 2.4 Concentración de proteína en Hidrolizado completo en muestras (Extracto)	62
Figura 2.5 Concentración de proteína en Hidrolizado completo en muestras (Fruta)	62
Figura 2.6 Curva estándar de Trolox	63
Figura 2.8 Actividad antioxidante en fruta	64
Figura 2.9 ORAC	68
Figura 2.10 SOD	69
Figura 2.11 GS	70
Figura 3.1 Componentes de la evaluación de proyectos	79
Figura 3.2 Mercado de factores de Producción, Mercado de bienes y servicios finales y su relación con la empresa	80

Figura 3.4 Estructura general de los flujos netos de efectivo descontados llevados a valor presente	85
Figura 3.5 Movimientos a lo largo de la curva de demanda son provocados por cambios en el precio	86
Figura 3.6 Movimientos a lo largo de la curva de oferta son provocados por cambios en el precio	87
Figura 3.7 Cambios en todo lo demás, dan lugar a movimientos de la curva de oferta	87
Figura 3.8 Cambios en todo lo demás y movimientos de la curva de demanda	88
Figura 3.9 Tasa de crecimiento anual por década de la acuicultura a nivel mundial. Década de 2020's proyectado, fuente: FAO 2018	91
Figura 3.10 Tasa de crecimiento de las tres principales especies en acuicultura continental a nivel mundial, en el periodo 2018 - 2022, fuente: FAO 2024	92
Figura 3.11 Producción mediante acuicultura a nivel global en 2022 por región o continente, elaboración propia con datos de FAO 2024	93
Figura 3.12 Principales regiones o continentes productores mediante acuicultura a nivel mundial en 2022 expresada en porcentaje, elaboración propia con datos de FAO 2024	94
Figura 3.13 Principales países productores mediante acuicultura, expresado en toneladas y porcentaje acumulado, elaboración propia con datos de FAO, 2024	95
Figura 3.14 Oferta y demanda de filete congelado de tilapia en función del precio sin considerar otros factores año 2018, elaboración propia con datos de fishStat, 2025	96
Figura 3.15 Oferta y demanda de filete congelado de tilapia en función del precio sin considerar otros factores año 2019, elaboración propia con datos de fishStat, 2025	97
Figura 3.16 Oferta y demanda de filete congelado de tilapia en función del precio sin considerar otros factores año 2020, elaboración propia con datos de fishStat, 2025	98
Figura 3.17 Oferta y demanda de filete congelado de tilapia en función del precio sin considerar otros factores año 2021, elaboración propia con datos de fishStat, 2025	98
Figura 3.18 Oferta y demanda de filete congelado de tilapia en función del precio sin considerar otros factores año 2022, elaboración propia con datos de fishStat, 2025	99
Figura 3.19 Producción Nacional de tilapia en el periodo 2002 - 2012, elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2023	102
Figura 3.20 Producción Nacional de tilapia en el periodo 2013 - 2023, elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2023	102

Figura 3.21 Demanda histórica insatisfecha de tilapia en México (toneladas), elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2022	105
Figura 3.22 Importaciones de filete de tilapia (mojarra) en USDX1000, elaboración propia con datos de secretaría de economía, DATA MÉXICO	105
Figura 3.23 Consumo nacional aparente anual de peces y mariscos por habitante expresado en kg, elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2023	107
Figura 3.24 Unidades de proceso del sistema de recirculación propuesto para cultivo de tilapia	109

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

°K	grado Kelvin
2,4-D	2,4 dicloro fenoxi acético
AAP	H 2,2'Azobis(2 amidinopopane)dihydrochloride
AD	Activos Diferidos
AF	Activos Fijos
AHAW	Animal Health and Welfare
BKL	Blanks
BSA	Bovine Serum Albumin
CAN	Comisión Nacional del Agua
CAT	Catalasa
CDN	B 1-Chlorine-2,4-Dinitrobenzene
CF	Costo Fijo
Cp	Capacidad calorífica a presión constante
CT	Capital de Trabajo
CT	Costo Total
CVu	Costo Variable Unitario
DC-DC	Direct Durrent -Direct Durrent
dE	Cambio en energía interna
DHL	Express Dalsey Hillblom and Lynn (Herramienta global de comercio)
dQ	Cambio en cantidad de calor
EFSA	European Food Safety Authority
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FEP	Factor de eficiencia proteica
FCA	Factor de Conversión Alimenticia
GND	Ground
Gpx	Glutación peroxidasa
GR	Glutación Reductasa
GSH	Glutación en su forma reducida
GST	Glutación S transferasa
He	coeficiente de transferencia de calor
HP	hidrolizado de papaya
HS	Harmonized System
HTS	US Harmonized Tariff Schedule of the United States
ICS	P In circuit serial programming
IDE	Integrated Development environment
IIT	Inversión Inicial Total
INE	GI Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática
IT	Ingreso Total

J(g°K)-1	joule gramo grado kelvin
K	Conductividad térmica
KB	kilo bite
KJ	kilo joule
KW	kiloWatt
KW-H	kiloWatt hora
MCUp	Margen de Contribución Unitario Ponderado
MISO	Master in slave out
MMPT	Maximum Power Point Tracking
MOSI	Master out Slave in
MyG	TS My Global Trade Services (Herramienta global de comercio)
N N	úmero de Unidades
NAD	PH Nicotinamida Diculceótido Fosfato (reducida)
NPN	Negative positive Negative
ORAC	C Oxygen Radical Absorption Capacity
PC	Personal Computer
PCI	Product Complexity Index
PE	Punto de Equilibrio
pH	potencial de hidrógeno
PMS	G Permanent Magnet Synchronous Generator
PRII	Periodo de Recuperación de la Inversión Inicial
PVu	Precio Variable Unitario
RAM	Random Acces Memory
RAS	Recirculating Aquaculture System
RESET	Restart
RTD	Remote Temperature Device
SAD	ER Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SCAHAW	Scientific committee on animal and welfare
SCK	Set clock
SCP	Single Cell Protein
SD	Secure digital
SIA	P Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera
SOD	Super oxido dismutasa
TCA	Trichloroacetic
TCE	Tasa de Crecimiento Específico
UE	Unidades enzimáticas
VAN	Valor Actual Neto
VCC	Voltage continuous current
VPN	Valor Presente Neto
WCO	World Customs Organization

RESUMEN

El cultivo de tilapia *Oreochromis spp.*, es el más extendido en los diversos países del mundo. Sin embargo, su desarrollo en regiones con clima variable y escasez de agua como el caso de Nuevo León, México, implica la incorporación de técnicas de bajo impacto económico. La escasez de agua ha sido solucionada mediante RAS (Sistemas de Recirculación de Agua), entre los que destaca la acuaponía. Se diseñó un sistema que además de minimizar el uso de agua y energía permite recuperar los subproductos del metabolismo de alimento de los peces y obtener hortalizas de alto valor comercial mientras mantiene las variables abióticas, como la temperatura en condiciones óptimas para los peces y las plantas.

Por lo que se evaluó un sistema de calentamiento de agua de laso cerrado, elaborado con elementos sencillos y económicos para la producción de tilapia en RAS, bajo invernadero en Nuevo León. Un sistema hidráulico con intercambiador de cobre permite una rápida y eficiente transferencia de energía, la cual es generada por un calentador de agua de uso doméstico. Mientras que el encendido de la flama del calentador es controlado mediante la plataforma de uso libre Arduino®. El cual incluye sensores de temperatura en el reservorio del sistema hidráulico de calentamiento y en el estanque de peces. El resultado fue un control eficiente de la temperatura en el tanque de cultivo de peces en el rango de 27 °C a 28 °C, considerado como óptimo para la tilapia. El sistema propuesto tiene ventajas sobre otros diseños en inversión inicial y costos de operación.

Además, se evaluó la capacidad antioxidante de péptidos obtenidos de la hidrólisis de subproductos de tilapia producidos con papaína, y posteriormente se seleccionaron los hidrolizados con mayor capacidad antioxidante para ser utilizados en la elaboración dietas enriquecidas. Con el hidrolizado seleccionado se elaboraron tres dietas a diferentes concentraciones; 0% (control), 5% y 10% de hidrolizado. Posteriormente se determinó el efecto de las dietas enriquecida con hidrolizados en el crecimiento y biomarcadores en juveniles de tilapia. Se encontraron diferencias en significativas en la prueba de ORAC entre los tratamientos y el control, no así en las pruebas de SOD y GST.

ABSTRACT

Tilapia culture, *Oreochromis spp.*, is the most widespread fish cultivated throughout the world. In spite of this, the development in regions with variable climate and scarcity of water, as the state of Nuevo León, México implies the incorporation low economic impact techniques. Water scarcity has been solved through RAS (Recirculation Aquaculture Systems), among them aquaponics. A system was designed capable of minimizing the use of water and energy while at the same time allows the recovery of fish metabolism by products of feed consumption. These are then used as nutrient rich water to obtain high commercial value horticulture produce. Concurrently the system maintains the water abiotic variables such as water temperature in its optimal range for fish and plants.

To achieve the afore mentioned feat, a closed loop heating system was evaluated, made with simple and inexpensive elements to produce tilapia in a RAS within a green house in Nuevo León. A hydraulic system with a copper heat exchanger allows a rapid and efficient transfer of energy, generated with a household water heater. While the boiler flame ignition is controlled through the use of the free Arduino® platform. Temperature sensors are included in the water reservoir hydraulic system and in the fish tank. The result was an efficient control of the water temperature in the fish tank in the range 27 °C to 28 °C, considered as optimal for tilapia. The proposed system has advantages over other designs in initial investment and operation costs.

Additionally, the antioxidant capacity of peptides obtained from the byproducts of tilapia hydrolysis produced with papain was evaluated, subsequently the hydrolysates with higher antioxidant capacity were selected to be used in the elaboration of enriched diets. With the selected hydrolysate three diets were elaborated at different concentrations; 0% (control), 5% and 10% of hydrolysate. Then the effect the diets enriched with the hydrolysate had on growth and biomarkers of juvenile tilapia was evaluated. Significant differences were found in the ORAC (Oxygen Radical Absorption Capacity) among treatments and the control, not so in the SOD (Super Oxide Dismutase) and GST (Glutathione S Transferase).

INTRODUCCIÓN

Muchas de las tecnologías presentes han venido teniendo fuertes impactos en el medio ambiente (externalidades) por lo que es importante que el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías que tengan como base fundamentos científicos orientados hacia a desarrollar la sustentabilidad (Bruntland, 1987).

Actualmente, la comunidad mundial se enfrenta a múltiples e interrelacionados desafíos que van desde el impacto de la crisis financiera y económica a mayores vulnerabilidades impuestas por el cambio climático y los consecuentes fenómenos meteorológicos extremos. Al mismo tiempo, también se debe conciliar la creciente presión referente a las necesidades alimenticias y nutricionales de una población creciente con recursos naturales finitos. Así, a nivel mundial, se espera que el costo de los alimentos sea cada vez más alto, no solamente porque la población continuará incrementándose, (con consecuencias en el cambio de uso de suelo), sino también por el encarecimiento y escasez de los combustibles fósiles, lo que sin duda va a repercutir en un aumento en el precio de los mismos. Lo anterior va a generar que se destinen más tierras de cultivo para producir biocombustibles, lo que a su vez traerá consecuencias negativas para la tierra dedicada a la agricultura para alimentos (Searchinger, et al, 2008; Searchinger, 2010; Searchinger, 2018), así como para diversos cuerpos de agua debido a las extracciones (incluyendo ríos y mares) que serán depositarios de diversos contaminantes provenientes de estos cultivos (Díaz y Rosenberg, 2008).

A este respecto, la acuicultura es una de las alternativas más viables. Gracias al crecimiento de esta actividad productiva, en las últimas cinco décadas, el suministro mundial de pescado ha superado el crecimiento de la población mundial, y hoy en día el pescado constituye una de las fuentes más importantes de alimentos nutritivos y proteína animal (Fisheries, F.A.O., 2012). Adicionalmente, el sector proporciona medios de subsistencia e ingresos, tanto directa como indirectamente, para una parte significativa de la población mundial. De acuerdo a Fisheries, FAO, 2012, en las décadas 1980–2010, la producción mundial mediante

acuacultura ha crecido casi 12 veces, a una tasa anual de 8,8 %. Esto ha permitido que, desde mediados de la década de 1990, la acuacultura se haya convertido en el motor de crecimiento en la producción total de pescado, ya que las capturas globales se han estabilizado. Su contribución a la producción mundial de pescado aumentó constantemente pasando del 9% en 1980 al 47 % en 2010. Este crecimiento de la acuacultura se debe en gran parte a la eficiencia, costo y sustentabilidad de los cultivos de diferentes especies de peces, los cuales presentan bajas tasas de conversión alimenticia cercanas a 1:1 (Avnimelech, 2009), comparadas con otras especies de vertebrados como las aves 1.54:1 (De Beer, et al; 2011) y diversos tipos de ganado como el porcino 2.6:1 (Van Barneveld, 2003), y el bovino (5:1) (López-Campos, et al, 2012). Al mismo tiempo, siendo los peces evolutivamente más lejanos del hombre, son menos propensos a transmitir zoonosis como ha ocurrido recientemente con otros grupos de vertebrados (virus del Nilo, gripe aviar, gripe porcina, Ebola Reston, vaca loca, etc.) (SCAHAW, 2003; Cintra et al., 2006), lo que ha ocasionado que la preferencia se haya volcado hacia los productos acuícolas. En relación con lo anterior, la población en Nuevo León ha venido aumentando de forma acelerada, ya que de acuerdo a datos del INEGI se ha duplicado prácticamente en los últimos 30 años, pasando de 2.5 millones de habitantes en 1980 a 4.6 millones de habitantes en el 2010, y en 2023 ya sumaba 5.117 millones de habitantes lo que implica una necesidad creciente de abasto de alimentos y proteína de calidad a precios abordables.

Otro factor que ha contribuido a frenar el desarrollo de la acuicultura en el Estado, como en el resto del mundo, es la cantidad importante de alimento accesorio que se emplea en los métodos de producción tradicionales de peces, en particular los intensivos (Tacon and Metian; 2013, 2015), esto a pesar de que los peces son más eficientes en convertir el alimento suministrado que los cerdos y las vacas. Por otra parte, el estado de deterioro de las pesquerías a nivel mundial, ha propiciado que el costo de la harina de pescado, (principal insumo en los alimentos para acuicultura) se haya venido incrementando (FAO, 2012) y si se considera que más del 60% de los

costos de producción son debidos al alimento (Asian Development Bank, 2005) resulta lógica la búsqueda de eficiencia en este renglón. Debido a esto se han venido incentivando estrategias cuyo eje principal es la utilización de subproductos, lo que resulta más rentable y se puede sostener en el corto mediano y largo plazo (EFSA, 2005).

JUSTIFICACIÓN

Usar sistemas abiertos tradicionales en la acuicultura no es sostenible en la región Noreste de México ya que el recurso agua es escaso y va en contra de las directrices que establece la Carta Nacional Acuícola para el cultivo de la tilapia, dentro de las cuales se acentúa el promover el cuidado y reciclamiento del recurso agua. El estado de Nuevo León, al norte de México, tiene la segunda producción más baja de tilapia, a pesar de ser uno de los centros de consumo más importantes. Esto se debe al clima variable y escasez de agua.

Además, a pesar de ser un requerimiento en el cultivo de las especies tropicales como la tilapia el calentamiento del agua resulta prohibitivo en sistemas abiertos debido a la elevada capacidad calorífica del agua que es de 4.183 KJ/Kg °K (Wheaton, 1977, Himmelblau, 1974, Geick y Geick, 2006).

Del mismo modo tratar el agua de deshecho demanda de una gran cantidad de energía y es costoso, y no hacerlo afecta los embalses y escurrimientos naturales con consecuencia negativas para la biodiversidad y el ecosistema en su conjunto.

Sin embargo, la producción en ambientes templados o subtropicales, como sería el caso de Nuevo León, resulta posible mediante aproximaciones tecnológicas adecuadas. Dentro de este contexto, el cultivo en invernaderos resulta idóneo ya que permite la captura de energía solar renovable y su almacenamiento en los tanques, lo que contribuye a reducir o eliminar gran parte de la demanda del calentamiento requerido en invierno. Al mismo tiempo, los sistemas de producción intensivos ofrecen interesantes ventajas sobre los sistemas extensivos y semi intensivos, particularmente cuando no se dispone una gran cantidad de agua, o cuando se dispone de agua con temperaturas diferentes a las requeridas. Una ventaja adicional es que los cultivos realizados a altas densidades impiden el comportamiento reproductivo precoz de estas especies y permiten que ambos sexos puedan crecer juntos a tallas comerciales. Esto además de que los niveles de producción alcanzados se ven reflejados en mayores rendimientos y ciclos de producción más cortos, así como en una menor cantidad de descargas de aguas residuales al medio ambiente. Adicionalmente, al ser concebidos estos sistemas bajo un esquema de recirculación, se evita la posible fuga de estas especies exóticas al medio natural.

Con la presente propuesta se pretende establecer con bases científicas el desarrollo de una tecnología que permita hacer sustentable y rentable el cultivo de Tilapia, haciendo énfasis

en el aprovechamiento integral de los recursos del sistema por medio de la incorporación de la acuaponía y la utilización de subproductos para obtener rendimientos económicos altos. Adicionalmente, este desarrollo tecnológico contribuirá a la producción de proteína de buena calidad con un costo accesible y a la disminución del impacto de la actividad productiva en el medio ambiente.

HIPÓTESIS

La incorporación de nuevas tecnologías acuícolas (*e.g.* cultivo en invernaderos, acuaponía, bio-floc, automatización de sistemas, producción de metano) a sistemas de cultivo de tilapia puede generar las condiciones adecuadas para el desarrollo económico de esta actividad en el noreste de México en las condiciones de clima cambiante y escasez del recurso agua.

OBJETIVO DEL TRABAJO

1. Objetivo general

Establecer los requerimientos biológicos y tecnológicos para el desarrollo de sistemas de cultivo de tilapia bajo las condiciones climáticas del noreste de México, de tal forma que la actividad pueda ser ecológicamente sustentable y económicamente rentable.

2. Objetivos particulares

- 1.- Diseñar un sistema automatizado de registro y control de temperatura mediante microcontroladores.
- 2.- Evaluar la obtención de hidrolizados y su uso para enriquecer dietas de juveniles de tilapia.
- 3.- Evaluar los beneficios socioeconómicos del sistema de cultivo de tilapia desarrollado para el noreste de México.

CAPÍTULO 1.

MÉTODO RENTABLE PARA CONTROLAR Y REGISTRAR AUTOMÁTICAMENTE LA TEMPERATURA USANDO UN MICROCONTROLADOR DE CÓDIGO ABIERTO EN UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE TILAPIA

1.1 Resumen

El cultivo de tilapia se ha extendido a muchas regiones del mundo. Sin embargo, su desarrollo en regiones con clima variable y escasez de agua como el caso de Nuevo León, México, implica la incorporación de técnicas que solventen estas variables y al mismo tiempo que su incorporación sea de bajo impacto económico. La escasez de agua ha sido solucionada mediante sistemas de recirculación RAS. Mientras que, el control de la temperatura continúa siendo un reto que debe adaptarse a las condiciones climáticas particulares de cada región. Por lo anterior, en el presente trabajo se evalúa un sistema de calentamiento de agua de laso cerrado, elaborado con elementos sencillos y económicos para la producción de tilapia en RAS, bajo invernadero en Nuevo León. Un sistema hidráulico con intercambiador de cobre permite una rápida y eficiente transferencia de energía, la cual es generada por un calentador de agua de uso doméstico. Mientras que el encendido de la flama del calentador es controlado mediante la plataforma de uso libre Arduino®. El cual incluye sensores de temperatura en el reservorio del sistema hidráulico de calentamiento y en el estanque de peces. El resultado fue un control eficiente de la temperatura en el tanque de cultivo de peces en el rango de 27 °C a 28 °C, considerado como óptimo para la tilapia. El sistema propuesto tiene ventajas sobre otros diseños en inversión inicial y costos de operación.

1.2 Introducción

El cultivo de tilapia, entre estas la tilapia del Nilo, así como otras especies de cíclidos es la especie más distribuida en el mundo (FAO

2022). México, así como otros países tiene una elevada demanda de tilapia, la segunda especie más cultivada en el mundo después de las carpas (Prabuet et al. 2019, Miao y Wang 2020). Las estadísticas oficiales reflejan que esta demanda es satisfecha principalmente mediante importaciones de China (SADER 2018, FAO 2019, Cordero et al. 2021). El estado de Nuevo León, al norte de México, tiene la segunda producción más baja de tilapia, a pesar de ser uno de los centros de consumo más importantes. Esto se debe al clima variable y escasez de agua. La región más sureña de los Estados Unidos, así como el norte de México, tienen condiciones climáticas que hacen posible que la tilapia sobreviva en estanques a cielo abierto todo el año, en el resto de los Estados Unidos la tilapia debe de pasar el invierno en edificios debidamente aislados y calentados para mantener la temperatura adecuada. (Rakocy 1989). El modelo actual para producir tilapia en el norte de México hace uso de tecnologías para producir peces que implican un elevado consumo de recursos escasos como el agua. Es una práctica común el intercambio de agua como medida para reducir la concentración del material de desecho, reducir los niveles de amoníaco/ion amonio o para diluir el plankton para evitar bajas súbitas en oxígeno disuelto (Avnimelech et al. 1999, Choo y Caipang 2015). Lo antes mencionado, en primera instancia, obliga a el uso de sistemas de recirculación, lo cual reduce el volumen de agua utilizada. Sin embargo, esto implica un mayor seguimiento de los parámetros de la calidad de agua requeridos por la tilapia para obtener un crecimiento adecuado. (Rakocy 1989, DeLong et al. 2009). Pero tan solo hasta recientemente es que los sistemas de recirculación han ganado aceptación, pues eran utilizados principalmente en centros de investigación y las operaciones comerciales exitosas eran raras, debido principalmente a un excesivo costo administrativo general (Stickney 1979, Bardach et al. 1972). El cultivo de tilapia en tanques se ha considerado como una buena alternativa a los sistemas abiertos si el agua es insuficiente o la disponibilidad de tierra es limitada y si la oferta de insumos y la demanda de bienes y servicios es (Rakocy 1989, DeLong 2009).

Entre los parámetros requeridos por la tilapia, la temperatura del agua es el primer factor afectado por las condiciones extremas del clima, condiciones que están presentes en la región. (Stickney 1979), divide los aspectos físicos en los sistemas acuáticos en: conservativos, aquellos que son afectados de manera perceptible por el metabolismo de los peces, por ejemplo, oxígeno disuelto, pH, el complejo amoniacal/ion amonio ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^{+1}$), nitrito (NO_2^{-1}) y nitrato (NO_3^{-2}) y no conservativos: aquellos que no son afectados de manera sensible por la actividad de los peces, tales como, volumen, densidad y temperatura, este último, el parámetro físico no conservativo más importante para los organismos acuáticos.

Las tilapias son organismos resistentes de la región tropical, capaces de tolerar un amplio rango de condiciones de agua, incluyendo la temperatura. Sin embargo, el rango de tolerancia a la temperatura está en función de la especie, aun así, el rango de temperatura óptima para el desarrollo de la mayoría de las variedades en condiciones de acuicultura es de 27°C a 29°C (DeLong 2009).

Mantener un control estricto de la temperatura del agua tiene sus ventajas, la capacidad de hacerlo le permite al acuicultor tomar decisiones administrativas basadas en un análisis beneficio/costo. A este respecto (DeLong 2009) ha reportado tasas de crecimiento aceptables en el rango de 25°C a 32°C y advierte respecto a mantener la temperatura del agua en el rango superior ya que esto hace más difícil mantener el oxígeno disuelto dentro de los niveles aceptables. Esto tiene fuertes implicaciones económicas cuando el costo de calentar el agua en relación al incremento en la tasa de crecimiento es considerado al manejar la temperatura, ya que el costo adicional de disolver más oxígeno cuando la solubilidad de los gases en el agua es una función inversa de la temperatura y la tasa respiratoria de los peces incrementa.

Desde la perspectiva de la salud de los peces, se ha reportado que *Ichthiophthirius multifiliis*, conocido como mancha blanca, es un parásito de la tilapia de distribución global y uno de los patógenos más importantes en los sistemas de recirculación de agua (Lim and Webster 2006). Cuando las condiciones son favorables para que se multiplique rápidamente, la temperatura está entre los factores significativos más importantes en el desarrollo y duración del ciclo de vida (Nigrelli 1976, en Lim and Webster 2006).

Mortalidades altas en tilapia, debido al parásito, han sido reportadas en el rango de temperatura de 20°C a 25°C, y se ha sugerido que mantener la temperatura dentro del rango óptimo para el desarrollo de la tilapia podría limitar la severidad del brote. (Shoemaker 2006, en Webster and Lim 2006, Martins, et al. 2011).

Pero más allá de tener a la tilapia batallando para sobrevivir el invierno, desde la perspectiva del productor, en el noreste de México, es conveniente tener a la tilapia prosperando plenamente en los meses de invierno al mantener la temperatura del agua próxima a la temperatura óptima para alcanzar el mercado en la temporada cuando la demanda es alta y los precios son altos.

El rápido crecimiento de la industria acuícola en años recientes, nos ha impulsado a desarrollar nuevas técnicas y metodologías, entre estas la necesidad de automatizar varios aspectos del proceso de producción (Lee 2000). Por lo tanto, el uso de microcontroladores en el cultivo de tilapia dentro de los invernaderos y recirculación de agua permiten monitorear y controlar parámetros tales como temperatura de una manera eficaz y confiable, lo que hace posible la producción de estas especies en regiones con clima cambiante y escasez de agua todo el año, en zonas cercanas a importantes centros de consumo tales como Monterrey, Nuevo León, México.

Mantener la temperatura dentro de un rango específico en un sistema de recirculación de agua (RAS) comprende dos perspectivas; la transferencia de calor, en la que la mayoría de la energía se mueve en la forma de calor y el enfoque electrónico. Este acoplamiento de sistemas electrónico y termodinámico permite precisión y eficiencia de manera simultánea. Durante el invierno las pérdidas de calor debidas a la evaporación (cambio de estado) si no se controla, se traduce en una enorme cantidad de pérdida de calor del sistema al entorno circundante, debido a la elevada entalpía de vaporización del agua 2,250 KJ/Kg (Geick, 2006; Himmelblau and Riggs, 2012), y puede ser fácilmente eliminada si se cubre el tanque para condensarla y recuperar el calor vía entalpía de condensación.

El método para controlar la temperatura en un RAS, se puede hacer mediante un sistema de laso cerrado o abierto. El sistema de laso abierto se realiza independientemente de las temperaturas iniciales o intermedias, el elemento calentador se enciende y apaga por un

periodo predefinido de tiempo. Este método es simple, pero la temperatura objetivo no siempre se alcanza. En contraste, el método de laso cerrado incorpora uno o más mecanismos de retroalimentación y hace posible el uso de componentes de, relativamente, bajo costo para alcanzar la temperatura exacta, siendo el mayor problema estabilizar el sistema (Ogata, 2010). Por lo anteriormente mencionado, el propósito de este trabajo fue evaluar la funcionalidad de un sistema de laso cerrado de bajo costo que permitiera monitorear, registrar y controlar la temperatura de un RAS de tilapia.

1.3 Materiales y métodos

Con la finalidad de controlar la temperatura en el tanque de cultivo de tilapia (1,500 litros) se diseñó un circuito hidráulico como se muestra en la Figura 1. Los componentes del circuito incluyeron un reservorio de 19 litros en el cual se encontraba una bomba, cuyo caudal pasaba a través de una fuente de calor, después a un intercambiador de calor en el tanque de peces, y de regreso al reservorio. La bomba de agua que se usó para forzar el agua a través del circuito hidráulico fue de tipo centrífuga de medio caballo de potencia (Múnich[®], modelo BA-1208, 120 Volts y 6.0 amperes de corriente alterna). La fuente de calor consistió en un calentador de agua de paso para uso residencial con capacidad nominal de 13.3 KW (CINSA modelo CIN-11), el cual funciona con una electroválvula accionada por efecto Venturi cuando fluye el agua por el calentador. Finalmente, un intercambiador de calor de 4 m de longitud total y 25.4 mm de diámetro hecho de tubería de cobre recubierto con pintura plastificada. La bomba de agua y el calentador se accionaban automáticamente en función de la temperatura objetivo del agua en el tanque de peces y de la temperatura del agua del circuito del intercambiador de calor, respectivamente.

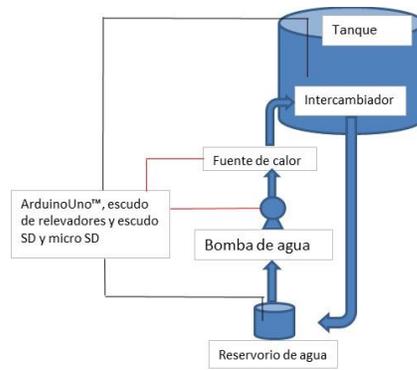


Figura 1. Diagrama del circuito hidráulico y su relación con el circuito de control. Líneas de sensores de temperatura en negro y en rojo líneas de control de potencia

El método de control de temperatura consistió en restringir la fuente de calor mediante el encendido y apagado de la misma utilizando una placa ArduinoUNO™, en un sistema de lazo cerrado como se muestra en la figura 2 (katz,1968; Kuo, 1996; Ogata, 1998).

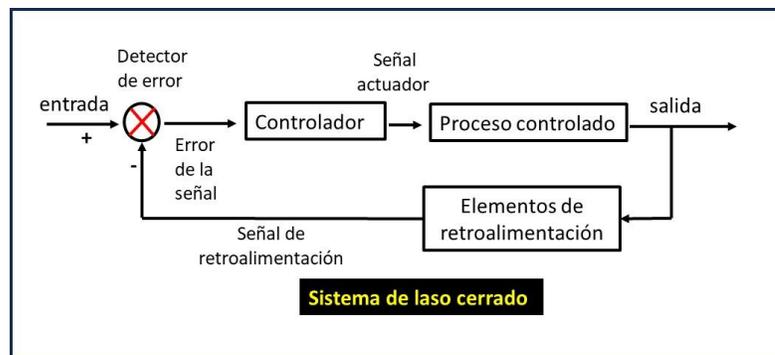


Figure 2. Esquema de lazo cerrado, el controlador corresponde al ArduinoUNO™, El proceso controlado es la temperatura del agua en la que se encuentran las tilapias y el agua del reservorio de 19 litros del circuito del intercambiador de calor, los elementos de retroalimentación son los sensores DS18B20 y el detector de error es el comparador en el ArduinoUNO™, la señal se envía a los actuadores, en este caso la bomba de agua y el calentador

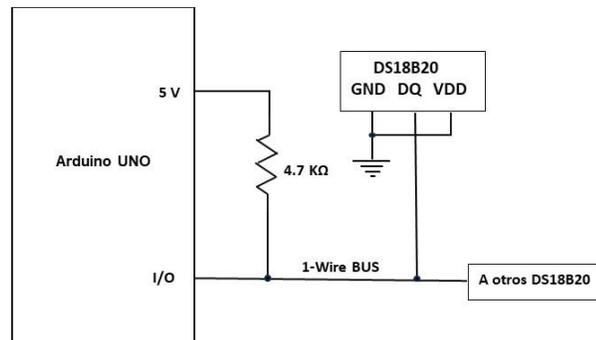
La placa ArduinoUNO® consta de un microcontrolador ATmega328P de 8 bits y operada a 5 volts. Igualmente cuenta con 14 pines digitales de entrada y/o salida, de los cuales seis se pueden usar como PWM (modulación de amplitud de pulsos), seis pines de entrada analógicos (corriente recomendada 20 mA, máxima 40 mA) y un pin para alimentación de 3.3 Volts (corriente 50mA). El cabezal de programación es ICSP (programación serial

en circuito), que incluye las funciones MOSI (master salida - esclavo entrada), MISO (master entrada - esclavo salida), SCK (establecer reloj), RESET (reestablecer), VCC (entrada de voltaje corriente continua), GND (tierra), un reloj, (oscilador cerámico de 16 MHz) (Sudhan et al, 2015; Abdullah et al, 2016).

La temperatura del agua del intercambiador de calor y del tanque de peces fueron monitoreadas mediante sensores remotos (RTD) modelo DS18B20, Maxim integrated® (figura 3A). El cual es un termómetro digital capaz de proveer lecturas de 9 a 12 bits, cuenta con una función de alarma no volátil programable de límite inferior y superior y se comunica a través de un bus 1-Wire® con el microprocesador. Cada sensor DS18B20 tiene un código de serie de 64 bits lo cual le permite conectarse al mismo bus 1-Wire®, con lo cual es sencillo usar un microprocesador para controlar varios sensores distribuidos en un área muy grande.

Para controlar el encendido y apagado de la bomba de agua mediante la placa Arduino empleamos un relevador mecánico con una bobina de disparo de 5 volts de hasta 10 amperes a 120 volts, un transistor de uso general NPN 2N2222, un diodo 1N4007 y una resistencia de 1 Kohm conectados como se muestra en la (figura 3A). Lo anterior permite que la electroválvula del calentador accione la chispa de encendido y abra la válvula de gas, encendiendo la flama solamente cuando las temperaturas programadas sean adecuadas. Del mismo modo para controlar el calentador de agua de manera independiente, su interruptor general fue conectado a la placa Arduino mediante otra interfase con el mismo diseño (figura 3B).

(A)



(B)

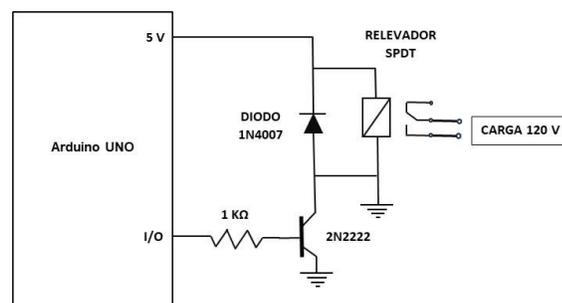


Figura 3 (A) Diagrama de conexión del termómetro digital DS18B20 en modo parásito y 3 (B) Diagrama de la interfase de control a los relevadores para control de potencia

De esta manera cuando la temperatura del agua del circuito hidráulico del intercambiador alcanzaba los 50°C, permitía el flujo de agua a través del circuito sin encender la flama, lo descrito corresponde al comportamiento de una compuerta lógica tipo AND (Tabla 1).

Tabla 1. Tabla de verdad del sistema lógico empleado para controlar la temperatura del agua en el circuito del sistema de calentamiento: reservorio y tanque de peces.

Componente	Estado			
	I	II	III	IV
Interruptor general	off	off	on	on
Electroválvula	off	on	off	on
Flama	off	off	off	on

*La electroválvula es accionada por el flujo de agua al encender la bomba de agua de 0.373 KW

El software empleado por Arduino es una plataforma de desarrollo integrado (IDE), la cual conecta el hardware Arduino para cargar programas y comunicarse con la computadora vía monitor serial (Lahfaoui, et al 2017; Louis, L, 2016). Con estos elementos, se programó el funcionamiento del sistema de lazo cerrado de acuerdo a los siguientes parámetros.

Estado I) La flama está apagada, el switch general y la bomba están apagados, la temperatura del agua de los peces está dentro del objetivo de 27 a 28 +/-0.5 °C, la temperatura en el circuito del intercambiador de calor puede o no estar en el rango 40 - 50 +/- 0.5 °C.

Estado II) La flama está apagada, la temperatura en el tanque de peces está por debajo de la temperatura objetivo 27 – 28 +/- 0.5°C, el switch general esta apagado y la temperatura en el circuito del intercambiador de calor está dentro del rango 40 - 50 +/- 0.5 °C.

Estado III) La flama esta apagada, este estado corresponde a un estado de transición muy breve, que se da cuando la temperatura en el tanque de peces acaba de disminuir por

debajo de la temperatura objetivo y aún no ha encendido la bomba de agua la cual a su vez acciona la electroválvula y enciende la flama.

Estado IV) La flama está encendida debido a que la temperatura del agua tanto en el tanque de peces como en el circuito del intercambiador de calor se encuentran por debajo del rango, por lo tanto, el switch general y la electroválvula están encendidas.

El funcionamiento del sistema fue evaluado en las instalaciones del laboratorio húmedo del Grupo Ecofisiología de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Para lo cual se realizaron pruebas intermitentes de control y registro de temperatura durante el periodo de invierno 2014 – 2015.

Las lecturas de temperatura fueron almacenadas en una tarjeta digital modelo “Seed studio® SD-card-shield v3.1”. Posteriormente estas fueron procesadas y analizadas empleando para ello, en primera instancia, el monitor serial del IDE de la plataforma Arduino™ para hacer los ajustes y posteriormente se pasó de la tarjeta SD el archivo delimitado por comas a un archivo de Excel. Como referencia se tomó la temperatura histórica máxima, mínima y promedio en Monterrey N.L., de la base de datos de la estación meteorológica 00019052, de la comisión nacional del agua, servicio meteorológico nacional.

Se calculó el costo de materiales para la construcción del sistema para controlar y registrar la temperatura en una tabla dividida en siete columnas; concepto, descripción del concepto, unidad de medida, número de unidades, precio unitario, importe y la proporción que cada uno de estos representa del total de la inversión en el sistema.

Los costos de operación del equipo se determinaron en base a los dos insumos principales, gas para calentar el agua y electricidad para operar la bomba de agua de medio caballo de potencia (.373 kW). El consumo de energía va a depender de que tan crudo sea el invierno por lo cual en base a los registros de temperatura de la estación meteorológica 00019052 de la CNA, del servicio meteorológico nacional primero se estimó el valor esperado en temperatura y posteriormente el consumo.

1.4 Resultados

Con respecto al circuito hidráulico, diseñado para estimar la cantidad de calor requerido para elevar la temperatura del agua en el tanque de peces, se consideró la ley de la conservación de la energía. Primero, se delimitaron las fronteras del sistema, en este caso los límites del sistema corresponden al agua a ser calentada contenida en el tanque de peces, el agua adopta la forma del contenedor y los límites quedan definidos por las paredes del tanque y la superficie del agua.

El intercambiador de calor (tubo de cobre) es la parte del sistema que en tanto está en contacto con el agua en el tanque permite la energía, en forma de calor, fluya de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura.

Para establecer el balance de energía, se hicieron las siguientes consideraciones: el calor fluye radialmente en una dirección, no se hace trabajo por o sobre el sistema en virtud de la diferencia de temperaturas, la fuerza de gravedad no tiene efecto debido a la diferencia en elevaciones dentro del sistema, no se genera o acumula calor en el intercambiador de calor, y la conductividad térmica permanece constante en el rango de las variaciones de temperatura del sistema.

Al tomar en cuenta las consideraciones previas, el balance de energía se reduce a la siguiente expresión: el cambio en la energía interna del sistema por unidad de tiempo es igual al cambio en la cantidad de calor, $dE/dt = dQ$.

Entonces, la cantidad de calor queda definida por la función $Q = mC_p\Delta T$, en la que m es igual a la masa de agua en kg, C_p , es la capacidad calorífica a presión constante expresada en $\text{kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})^{-1}$ y ΔT la diferencia en temperatura en $^\circ\text{C}$ entre la temperatura inicial, T_i y la temperatura final T_f .

La masa de agua contenida en el tanque de peces fue calculada en base a sus dimensiones (diámetro = 1.7 m, y altura = 1.0 m), considerando un nivel de operación de 0.7 m. El volumen de agua obtenido para el cilindro fue de 1.5 m^3 el cual se multiplicó por la densidad del agua ($1 \text{ ton}/\text{m}^3$) para obtener la masa 1,500 Kg de agua en el tanque de peces.

Con estos datos la energía a transferir para alcanzar la temperatura óptima se calculó considerando tres escenarios como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Energía sugerida (KW-H) y potencia (KW) para la fuente de calor para elevar la temperatura de 1,500 kg de agua en el siguiente rango: (17 – 28 °C), (24 – 28 °C) y (28 – 28 °C).

Temperatura/Energía/Potencia	Escenario		
	1	2	3
Temperatura inicial (T _i en °C)	17	24	28
Temperatura final (T _f en °C)	28	28	28
Energía requerida (KW-H)	19	7	0
Potencia sugerida (KW)	13	13	13

Las temperaturas consideradas en el proceso de diseño se seleccionaron en base a las características biológicas de la especie. La temperatura mínima, 17°C, corresponde a la temperatura mínima tolerada por la tilapia, la temperatura más alta corresponde a la temperatura óptima para el desarrollo de la tilapia y la temperatura intermedia es la temperatura a la cual comienzan a aparecer enfermedades en los sistemas de recirculación en acuicultura.

El calentador de paso seleccionado, con una capacidad de 13.3 KW produce energía en exceso para alcanzar a temperatura deseada en el tanque de peces, requisito indispensable para implementar el método de control propuesto consistente en alternar los estados encendido/apagado de la fuente de calor.

Finalmente, la longitud del intercambiador de calor se calculó con la siguiente función:

$$q/L = [2\pi (T_i - T_e)] / (1/r_1 h_1 + 1/k_1 \ln r_2/r_1 + 1/k_2 \ln r_3/r_2 + 1/r_3/h_e)$$

Las variables: T_i, T_e, h_i, h_e, k₁, k₂, r₁, r₂, r₃, se pueden apreciar en la figura 4.

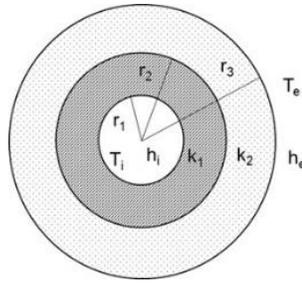


Figura 4. Diagrama de la sección transversal del intercambiador de calor de tubo de cobre cubierto con pintura ahulada (no a escala). T_i y T_e corresponden a las temperaturas interna y externa del tubo de cobre, en tanto que, h_i y h_e representan los coeficientes de transferencia de calor al interior y exterior del intercambiador de calor. Los diferentes radios están representados por r_1 , r_2 y r_3 , mientras que k_1 y k_2 representan la conductividad térmica del cobre y la pintura externa respectivamente

El coeficiente de transferencia de calor para el agua en condiciones de convección forzada y convección natural oscilan en el rango de $50 - 3,000 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$, and $50 - 10,000 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, respectivamente. En este caso estamos trabajando con convección forzada, de manera que para calcular la tasa de transferencia de calor por unidad de longitud, se consideraron los siguientes datos: El coeficiente de transferencia de calor al interior del tubo, h_i igual a $10,000 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ y para el tubo exterior tres valores de h_e : $5,000 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$, $7,500 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ $10,000 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$., en tanto que la conductividad térmica del cobre, k_1 , es $386 \text{ Wm}^\circ\text{K}$ y para la pintura ahulada, k_2 , consideramos la conductividad térmica del acrílico: $0.17 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

Los resultados de este cálculo, con respecto a los tres valores de h_e se resumen en la tabla 3, en esta tabla se puede apreciar que la transferencia de calor por unidad de longitud (q/L) es 5.6 KW/m , con el intercambiador de calor propuesto de 4 m de longitud, es posible disipar 22.4 KW , con lo que es posible disipar 22.4 KW , y es factible satisfacer los requerimientos de 19 KW-H con un margen de 17% .

Table 3. Resultados de la longitud estimada para el intercambiador de calor de tubo de cobre considerando convección forzada y tres valores diferentes para el coeficiente de transferencia de calor h_e .

Fórmula	h_e		
	5,000	7,500	10,000
$2\pi(T_i - T_e)$	176	176	176
$1/(r_1 h_i)$	0.01639	0.01093	0.00820
$1/k_1(\ln(r_2/r_1))$	0.000082	0.000082	0.000082
$1/k_2(\ln(r_3/r_2))$	0.009256	0.009256	0.009256
$1/(r_3 h_e)$	0.01515	0.01515	0.01515
q/L(KW/m)	5.6	6.7	7.5
q (KW)	22.25	26.90	30.03

En contraste con la temperatura óptima para un desarrollo vigoroso de las tilapias, la temperatura mínima promedio en la zona de influencia de la estación meteorológica 19052 en el periodo invernal 2014-2015, fue de 9.74 °C, S = +/- 3.99949, la máxima 20.75 °C, S = +/- 6.3729 y la promedio 15.24 °C, S = 4.5247, tabla 4.

Table 4. Temperatura mensual, mínima, máxima y promedio en el periodo invernal 2014-2015. Elaboración propia con datos de la estación meteorológica 19052.CNA, San Nicolás de los Garza Nuevo León, México.

MES	Estadístico	Max (°C)	Min (°C)	Prom (°C)
Nov	X_{media}	22.77	10.92	16.84
	S	5.33487765	4.07490921	3.90483969
	N	30	30	30
Dic	X_{media}	21.18	11.74	16.46
	S	4.62519979	3.31881246	3.1024834
	N	31	31	31
Ene	X_{media}	18.27	7.48	12.88
	S	6.9628044	3.75163047	4.9572636
	N	31	31	31
Feb	X_{media}	20.84	8.77	14.80
	S	7.6824157	3.4385671	4.9699826
	N	28	28	28
Nov -Feb	X_{media}	20.75	9.74	15.24
	S	6.3728665	3.9994660	4.5247293
	N	120	120	120

Para optimizar la cantidad de calor consumido por el sistema, se empleó un microcontrolador Arduino UNO®. En base a los supuestos mencionados en la metodología se diseñó un programa el cual se reproduce en a figura 5. Con este programa es posible controlar la temperatura y registrarla con fecha y hora.

```
// Include libraries for one wire, Dallas temp, SD card and real time clock  
  
#include <OneWire.h>  
  
#include <DallasTemperature.h>  
  
#include <SD.h>  
  
#include <DS3231.h>  
  
// spi settings  
  
// MOSI, MISO, SCLK Set by default  
  
//port 10 assigned to chip select (slave select)  
  
int pinCS = 10;  
  
float refresh_rate = 0.0;  
  
int powPin = 8;  
  
int relay1 = 5;  
  
int relay2 = 7;  
  
// Init the DS3231 using the hardware interface  
  
DS3231 rtc(SDA, SCL);  
  
// Data wire is plugged into port 2 on the Arduino  
  
#define ONE_WIRE_BUS 2  
  
#define TEMPERATURE_PRECISION 9  
  
// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices (not just //Maxim/Dallas  
temperature ICs)  
  
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);  
  
// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.
```

```

DallasTemperature sensors(&oneWire);

// arrays to hold device addresses

DeviceAddress insideThermometer, outsideThermometer;

void setup(void)
{
    //relay1 y relay2 salida "output"

    pinMode(relay1,OUTPUT);

    pinMode(relay2,OUTPUT);

    // start serial port

    Serial.begin(9600);

    // Initialize the rtc object

    rtc.begin();

    Serial.println("Iniciando tarjeta");

    //CS pin is an output

    pinMode(pinCS, OUTPUT);

    //Card will draw power from pin 8, so set it high

    pinMode(powPin, HIGH);

    digitalWrite(powPin, HIGH);

    //check if card is ready

    if(!SD.begin(pinCS))
    {
        Serial.println("Error, verifica que hay tarjeta...");

        return;
    }

    Serial.println("Acceso otorgado");

```

```

//read configuration information (COMMANDS.txt)

File commandFile = SD.open("COMMANDS.txt");

if (commandFile)
{
    Serial.println("Leyendo archivo");

    float decade = pow(10, (commandFile.available() - 1));

    while(commandFile.available())
    {
        float temp = commandFile.read() -('0');

        refresh_rate = temp*decade+refresh_rate;

        decade = decade/10;
    }

    Serial.print("Ciclos de = ");

    Serial.print(refresh_rate);

    Serial.println(" ms");

    commandFile.close();

    //Serial.println("Temperatura *C");
}

else
{
    Serial.println("Error no se puede leer el archivo de comandos.");

    return;
}

File logFile = SD.open("log.csv",FILE_WRITE);

if(logFile)
{

```

```

logFile.println(" ");

String header = ("Fecha, Hora, Temp 1, Temp 2");

logFile.println(header);

logFile.close();

//Serial.println(header);

}

else

{

    Serial.println("Error");

}

// Start up the library

sensors.begin();

// locate devices on the bus

Serial.print("Localizando dispositivos...");

Serial.print("Dispositivos encontrados ");

Serial.print(sensors.getDeviceCount(), DEC);

Serial.println(" dispositivos.");

// report parasite power requirements

Serial.print("parasite current: ");

if (sensors.isParasitePowerMode()) Serial.println("ON");

else Serial.println("OFF");

// method 1: by index

if (!sensors.getAddress(insideThermometer, 0)) Serial.println("Unable to find address for Device
0");

if (!sensors.getAddress(outsideThermometer, 1)) Serial.println("Unable to find address for Device
1");

```

```

// show the addresses we found on the bus

Serial.print("Dispositivo 0 direccion: ");

printAddress(insideThermometer);

Serial.println();

Serial.print("Dispositivo 1 direccion: ");

printAddress(outsideThermometer);

Serial.println();

// set the resolution to 9 bit

sensors.setResolution(insideThermometer, TEMPERATURE_PRECISION);

sensors.setResolution(outsideThermometer, TEMPERATURE_PRECISION);

Serial.print("Dispositivo 0 Resolucion: ");

Serial.print(sensors.getResolution(insideThermometer), DEC);

Serial.println();

Serial.print("Dispositivo 1 Resolucion: ");

Serial.print(sensors.getResolution(outsideThermometer), DEC);

Serial.println();

Serial.println(" Fecha , Hora , Temp1 Temp2");
}

// function to print a device address

void printAddress(DeviceAddress deviceAddress)

{

for (uint8_t i = 0; i < 8; i++)

{

// zero pad the address if necessary

if (deviceAddress[i] < 16) Serial.print("0");

Serial.print(deviceAddress[i], HEX);

```

```

}
}

// function to print the temperature for a device
void printTemperature(DeviceAddress deviceAddress)
{
    float tempC = sensors.getTempC(deviceAddress);
}

// function to print a device's resolution
void printResolution(DeviceAddress deviceAddress)
{
    Serial.print("Resolucion: ");
    Serial.print(sensors.getResolution(deviceAddress));
    Serial.println();
}

// main function to print information about a device
void printData(DeviceAddress deviceAddress)
{
    Serial.print("Dispositivo Direccion: ");
    printAddress(deviceAddress);
    Serial.print(" ");
    printTemperature(deviceAddress);
    Serial.println();
}

void loop(void)
{

```

```

sensors.requestTemperatures();

float Temp1 = sensors.getTempCByIndex(0);

float Temp2 = sensors.getTempCByIndex(1);

String dataString = (String(rtc.getDateStr()) + " , " + String(rtc.getTimeStr())+" , "+
String(Temp1) + " , " + String(Temp2));

{

Serial.println(dataString);

}

//Serial.println("DONE");

File logFile = SD.open("log.csv", FILE_WRITE);

if(logFile)

{

logFile.println(dataString);

logFile.close();

}

else

{

Serial.println("Error");

}

//Si la temperatura está arriba de 28 abre interruptor general

if (Temp2 < 28)

digitalWrite(relay2, HIGH);

else

digitalWrite(relay2, LOW);

// Si la temperatura está por debajo de 40 C enciende la bomba de agua

if (Temp1 < 40)

```

```
digitalWrite(relay1, HIGH);  
  
else  
  
digitalWrite(relay1, LOW);  
  
delay (10000);  
  
}
```

Figura 5. Programa para controlar la temperatura codificado con el Arduino IDE, para el microcontrolador ArduinoUNO® y el escudo de relevadores SEEED® relay shield v2.1

Con este diseño, el Sistema fue capaz de encender y apagar la bomba para recircular el agua en el circuito hidráulico, consecuentemente, alternando el encendido y apagado de la flama en la Fuente de calor. El resultado es un control eficiente de la temperatura en el rango de 27 - 28 °C, considerado como óptimo, figura 6.

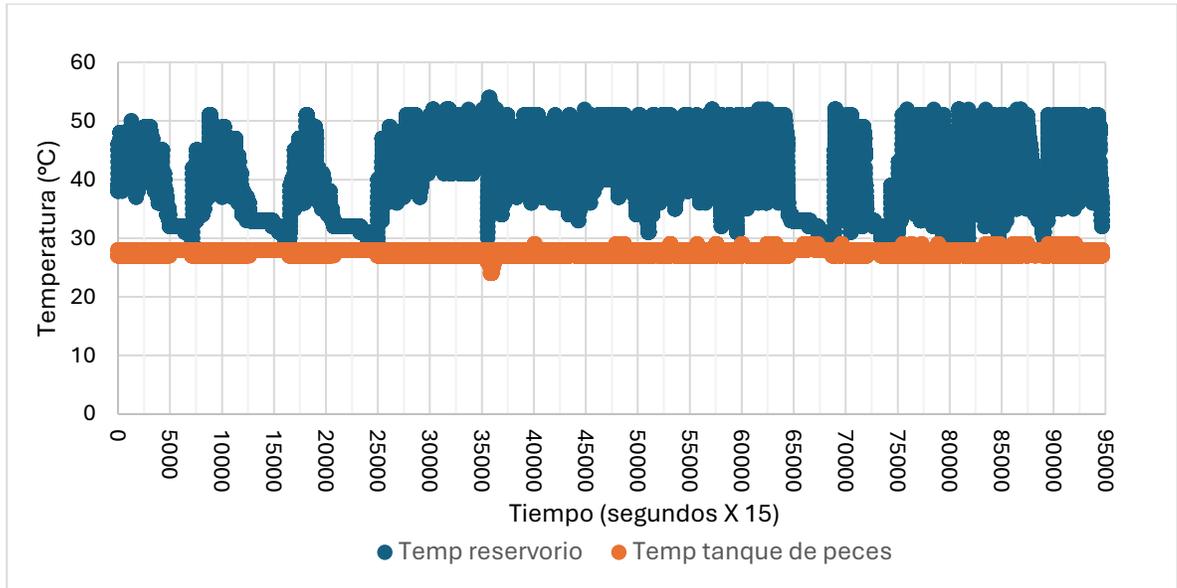


Figura 6. Gráfica en la que se muestra la temperatura en el tanque de peces en el periodo invernal 2014 -2015, oscilando entre 27 y 28 °C, como se programó. En tanto la temperatura del agua en el reservorio oscila entre 40 y por arriba de 50 °C por lo que la temperatura de corte se reprogramó para cortar a 40 °C para evitar que la temperatura alcance los 50 °C o más.

A continuación, en la tabla 5, se muestra la inversión requerida en el intercambiador de calor por componente. El precio unitario de los elementos que integran el sistema se clasificó en orden descendente y la suma asciende a diez y seis mil cincuenta y seis pesos (\$16,056). Del costo total, 41.79% corresponde a la fuente de calor, 16.78% a la unidad electrónica de registro y control de temperatura, y 12.08% a la bomba de agua. Estos tres componentes constituyen el 70.59% del costo total del sistema.

Con respecto a la componente de registro y control de temperatura del intercambiador de calor, 65.31% del costo total está integrado por tres elementos: el escudo de relevadores 30.24%, el escudo de tarjetas SD 22.45% y los termómetros digitales 12.62%.

Tabla 5. Lista de materiales en orden descendente en función del importe del intercambiador de calor.

Concepto	Descripción del concepto	Medida Unidad	Unidades (#)	Precio Unitario (\$/unidad)	Suma (\$)	Suma (%)
Calentador de paso	Calentador de paso 13.1 KW	unit	1	6,700	6,700	41.73
Unidad de control	Unidad de registro y control de temperatura	unit	1	2,695	2,695	16.78
Bomba de agua	Bomba centrífuga 0.373 KW	unit	1	1,939	1,939	12.08
Pintura	Pintura ahulada para albercas	unit	1	776	776	4.83
Soldadura	Soldadura de plomero y pasta de solder	unit	1	546	546	3.40
Tubo de cpvc	Tubo de cobre de 1" de diámetro	meter	4	127	509	3.17
Tee's	Tee 1" diametro de cpvc	unit	7	73	508	3.16
Xylen	Solvente para diluir la pintura ahulada	unit	1	432	432	2.69
Valvula de fondo	Valvula check y rejilla de 1"	unit	1	341	341	2.12
Soplete y gas	propane torch and 1 lb gas tank	unit	1	311	311	1.94
Tubo de cpvc	cpvc tube 1" de diameter	meter	4	72	288	1.79
Tee de bronce	Tee de cobre de 1" de diámetro 90 grados	unit	4	70	280	1.74
Toalla	Toallas desechables para pintura	unit	1	247	247	1.54
Codos de cpvc	cpvc 1" diameter	unit	5	30	152	0.95
Brocha de pintor	Brocha de uso general de 2.5"	unit	1	132	132	0.82
Adesivo cpvc	Adesivo de alta temperatura cpvc	unit	1	123	123	0.77
Copper elbows	1" diámetro 90° copper elbows	unit	2	39	78	0.48
Total					16,056	100

Los costos de operación varían en función del estado del tiempo, sin embargo, es posible establecer en base a los tres escenarios considerados, mediante pulsos de amplitud modulada el tiempo que permanece encendida la bomba de recirculación de agua y la flama en la fuente de calor. Los resultados de estas estimaciones se presentan en la tabla 6 y figura 7.

Table 6 Emergía requerida para calentar el agua en el tanque de peces y operar la bomba de agua de 0.373 KW usada para recircular el agua en el intercambiador de calor.

Concepto	kW-h
Calentar agua	5,596
Bomba de agua	157
Total	5,753

Considerando que el precio de un KW-h es de \$1.08/KW-h, los costos para operar el intercambiador de calor ascienden a \$6,213 (seis mil doscientos trece pesos).

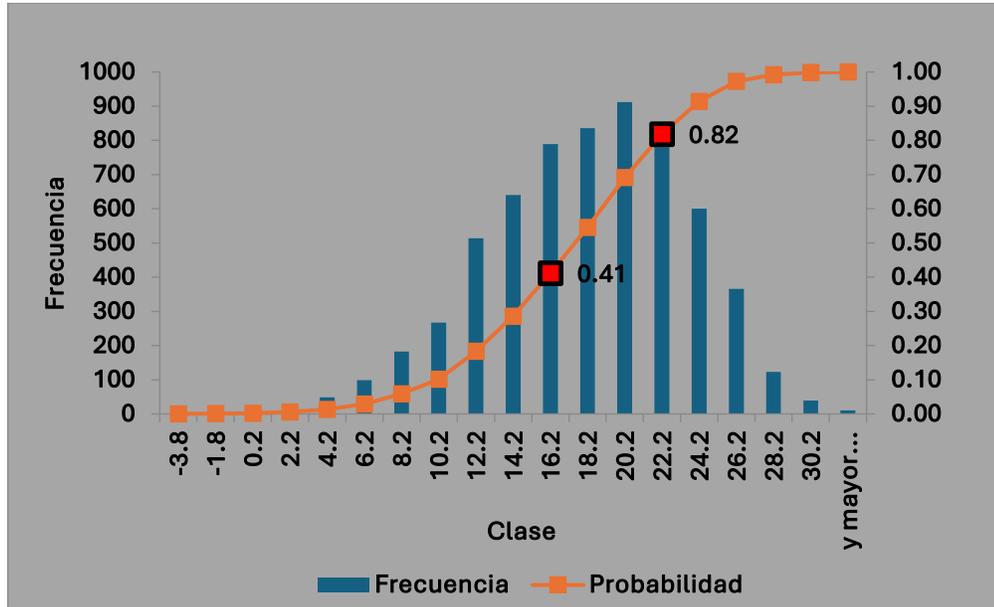


Figura 7. Histograma de frecuencia y probabilidad acumulada de temperatura promedio por intervalo de clase para el periodo 1951 – 1912, n = 6,288. Elaborada con datos de la estación meteorológica oficial de la CNA, número 00019052.

1.5 Discusión

Durante las pruebas iniciales del sistema hidráulico observamos que de manera frecuente la temperatura del agua en recirculación rebasaba los 50°C, no obstante que el programa de apagado de la flama fuera esta temperatura. Lo anterior se puede producir ya que después de apagar la flama aún hay una diferencia de temperatura y energía remanente en el intercambiador de cobre en virtud de su capacidad calorífica ($0.385 \text{ J}(\text{g}^\circ\text{K})^{-1}$), por lo que continúa calentado el agua que está recirculando en el sistema (Gieck y Gieck 2006). Al mismo tiempo, revisando las especificaciones del fabricante de la bomba de agua indican que la temperatura máxima de operación debe ser menor a 50°C, para evitar dañar o reducir el tiempo de vida de este equipo. Considerando lo anterior, se decidió modificar el programa para que la temperatura de apagado de la flama fuera a los 40°C, con lo que se asegura el buen funcionamiento del equipo y se aprovecha la transferencia de la energía remanente en el cobre.

Un sistema hidráulico de calentamiento similar fue propuesto por (Le et al. 2020), el cual utiliza 34 metros de tubo de acero inoxidable distribuido en espiral contiguo a la pared exterior del tanque de peces. No obstante, debido a que las líneas de flujo de agua en circulación no se cruzan, son deflactadas por fricción hacia el centro al llegar al fondo del tanque (Oca y Masalo 2013), lo cual genera un sector circular de agua a elevada temperatura a lo largo de todo el cilindro de 5.88 metros cuadrados, generando pérdidas de energía. En contraste, el sistema propuesto utiliza menos material, 4 metros de tubo de cobre colocado alejado de las paredes y en el extremo opuesto a la descarga del tanque de peces, con lo que se maximiza la transferencia de calor hacia el agua del tanque de peces al mezclarse agua a menor temperatura con agua a temperatura más alta.

Por otra parte, en el diseño inicial del sistema de control no incluimos como parte del mismo el registro de la fecha y hora correspondiente a las temperaturas. Lo anterior, dado que no se requieren para que funcionara de manera eficaz y efectiva. Además, pudimos observar que las temperaturas más bajas, generalmente se presentaron en la noche, después de la puesta del sol y justo antes del amanecer (MicrosoftStartWether, sf; SMN-CNA, sf). Sin embargo, posteriormente se incorporó un reloj en tiempo real al sistema, ya que es de bajo costo y resulta conveniente para dar un seguimiento adecuado del

funcionamiento del sistema y analizar posibles adecuaciones para su mejoramiento, como la incorporación de un calentador de agua con energía solar, u otra forma de energía renovable tendiente a que esta actividad sea más ecológica, pero de máxima productividad (Le et al. 2020, Reyes Lastiri et al. 2016, Karimanzira 2018).

En este mismo sentido, es posible diseñar la interfase para el control de potencia personalizado con el uso de alguno de los softwares que existen en el mercado. Estos permiten hacer uso del software de manera gratuita para módulos que no rebasan cierta dimensión, como en el caso del software Eagle (Williams 2004), en tanto otros como KiCad, el cual es software libre, no tiene restricciones en cuanto a las dimensiones de la placa e incluso permiten el diseño en múltiples capas (KiCad.org Home Discover in pcbNew, s.f.). Una vez que se tiene el diseño, existen varias alternativas como: 1) imprimir la imagen espejo del circuito en una impresora láser en papel fotográfico y transferirlo a la placa fenólica universal mediante alguna de sus variantes de serigrafía, 2) Generar los archivos Gerber los cuales se envían a alguno de las empresas del ramo, para que solamente impriman el circuito en placa y el cliente ensamble los componentes o que la empresa imprima la placa y ensamble los componentes (Williams 2004). En las empresas dedicadas a fabricar circuitos impresos la calidad de los productos es buena y el precio competitivo, por ejemplo, 10 placas impresas a dos capas tienen un costo de cinco dólares, \$ 0.50/placa. También existe la opción respecto al tiempo de entrega el cual puede ser de 24 horas (PCBWay s.f.). De esta manera se pueden bajar costos al emplear solamente los componentes indispensables para cumplir la función. En el presente proyecto la placa empleada tiene 4 puertos para control de potencia de los cuales solamente se emplean dos.

Existe una gran variedad de opciones para diseñar e implementar un sistema de control, tanto en aplicaciones domésticas como industriales. A este respecto, (Lahfaoui et al. 2017) hacen referencia a que la mayoría de los artículos científicos para eficientar las turbinas de viento discuten sobre la simulación del Maximum Power Point Tracking (MPPT), cuando en la práctica el verdadero desafío está en la realización y ejecución de la simulación en una tarjeta electrónica. Debido a lo anterior estos autores, para controlar el generador síncrono de imanes permanentes (PMSG) de la turbina de viento, optan por utilizar el ArduinoUNO acoplado a una computadora personal (PC), un convertidor de

corriente directa DC-DC (amplificador) y un optoacoplador. Así logran alcanzar en la turbina de viento el punto óptimo de funcionamiento de manera eficiente, debido a su efectividad, bajo costo y facilidad de uso. De manera análoga, (Naveenkumar y Krishna 2013) desarrollaron una plataforma para hacer prototipos de bajo costo para control y adquisición de datos empleando la plataforma de Arduino y LabView. En su análisis, destaca la falta de flexibilidad y versatilidad de los sistemas tradicionales empleados en la industria para el monitoreo y adquisición de datos. Al mismo tiempo, logran demostrar algunas de las características del sistema propuesto, como el bajo costo, facilidad de uso, así como una amplia gama de aplicaciones para la recopilación y monitoreo de datos en el laboratorio y la industria.

Los principios de la manera en que funciona el microcontrolador ArduinoUNO, su uso en tareas relacionadas con el estudio y la investigación, se describen en (Louis 2016). Destaca que esta plataforma fue diseñada para satisfacer las necesidades de aficionados, estudiantes y profesionales para desarrollar dispositivos que interactúan con el medio ambiente a través de sensores y actuadores de bajo costo. De la investigación realizada destaca, además de su bajo costo, que es una tecnología altamente confiable y hace una breve descripción de sus características y múltiples posibilidades.

En el otro extremo, entre las opciones para automatización y control está el desarrollo de soluciones mediante inteligencia artificial. (Lee 2000) menciona tres grandes categorías y sus combinaciones: 1) sistemas expertos basados en conocimiento; 2) sistemas expertos basados en lógica difusa; y 3) redes neuronales y sistemas híbridos. Siendo el costo y la compatibilidad entre hardware y software los factores más relevantes en la de selección de la solución. A este respecto, el ESP32 es un microcontrolador que incorpora una gran flexibilidad como alternativa de solución de bajo costo, es compatible con la plataforma integrada Arduino y tiene mayor capacidad. Posee un procesador LX6 de núcleo dual, 512 KB de RAM, 36 puertos generales de entrada y salida, Bluetooth, WiFi de 2.4G y fuente de alimentación de 3.3V, programable en C, C++ y MicroPython (ESPRESSIF Hardware Product Overview DevKits Esp32- S series, s.f.).

Los sistemas de recirculación (RAS) se caracterizan por minimizar el impacto en el uso de tierra y agua, sin embargo esto conlleva un incremento en el consumo de energía, lo

cual aumenta los costos de producción y el impacto medioambiental por lo que los esfuerzos en optimizar los diseños deben considerar el uso de cuatro elementos; energía, agua, descargas y productividad, siempre considerando que los combustibles fósiles son menos convenientes para el medio ambiente en comparación con las energías renovables (Badiola, et al. 2018). No obstante, para satisfacer las necesidades de energía en sistemas de acuicultura y/o acuaponia requiere del uso híbrido de fuentes de energía y el problema se reduce a administrar la proporción óptima en que estas se emplean (Krimanzira y Rauschenbach 2018). Para tal efecto se han usado diversas estrategias, entre ellas sistemas independientes acoplados para optimizar el uso de nutrientes, agua y energía. Estos sistemas, pueden separar los componentes para la producción de plantas y peces, y el agua rica en nutrientes de los peces es transferida a las plantas para fertilizar, mientras que la evapotranspiración de las plantas, libre de nutrientes, se condensa y se retorna al tanque de peces (Reyes Lastiri et al. 2016).

La presente propuesta para el sistema de control de temperatura en el cultivo de tilapia para el noreste de México, puede incrementar la eficiencia en el uso de la energía independientemente de su fuente. Igualmente, al elegir ArduinoUNO entre el creciente y amplio rango de plataformas, esta es considerada como la primera elección debido al soporte, costo, confiabilidad, consumo de energía, corriente de salida de los pines generales de entrada y salida, tiempo de arranque y la curva de aprendizaje (Monk 2016).

CAPÍTULO 2.

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE PÉPTIDOS OBTENIDOS DE LA HIDRÓLISIS DE SUBPRODUCTOS DE TILAPIA CON PAPAÍNA Y SU EFECTO EN DIETAS PARA PECES

2.1 Resumen

Se evaluó la capacidad antioxidante de péptidos obtenidos de la hidrólisis de subproductos de tilapia producidos con papaína, y posteriormente se seleccionaron los hidrolizados con mayor capacidad antioxidante para ser utilizados en la elaboración dietas enriquecidas. Con el hidrolizado seleccionado se elaboraron tres dietas a diferentes concentraciones; 0% (control), 5% y 10% de hidrolizado. Posteriormente se determinó el efecto de las dietas enriquecida con hidrolizados en el crecimiento y biomarcadores en juveniles de tilapia. Se encontraron diferencias en significativas en la prueba de ORAC entre los tratamientos y el control, no así en las pruebas de SOD y GST.

2.2 Introducción

El consumo per cápita de pescado se ha incrementado de manera continua en los últimos años. Este continuo aumento de la demanda ha provocado una sobreexplotación de los recursos pesqueros. De esta cantidad, el 81% se destinó a uso alimentario, mientras que el 19% restante se destinó a fines no alimentarios, como la elaboración de pienso para animales o uso farmacéutico.

En México se cultiva tilapia en 31 estados de la República, cuya producción se destina principalmente al consumo humano. Tan sólo durante el 2013 la producción de tilapia en México mediante acuicultura fue de 96,827 toneladas y 5,212 toneladas a través de captura (SAGARPA, 2013).

La industria procesadora de pescado genera una gran cantidad de subproductos que puede llegar a ser incluso superior al 50% del peso total. Entre estos subproductos, se incluyen

los recortes de músculo (15-20%), piel y aletas (1-3%), espinas (9-15%), cabezas (9-12%), vísceras (12-18%) y escamas. Estos residuos, conjuntamente con los descartes, son mayoritariamente eliminados, lo que constituye un serio problema medioambiental, o bien son destinados a la producción de productos de bajo valor añadido, como harinas para peces o mascotas, ensilados de pescado, fertilizantes, etc.

El uso de hidrolizados es muy diverso y se han venido empleando como fuente de nitrógeno en dietas entéricas para niños y adultos enfermos, como ingrediente en cultivos microbianos, como suplemento para aumentar el valor nutritivo de alimentos con bajo contenido proteico y de manera muy extensa en alimentación animal. Los péptidos provenientes de la hidrólisis de proteínas confieren propiedades funcionales a algunos péptidos tales como una mayor digestibilidad, actividad antimicrobiana, antioxidante y efecto hipoadérgico.

El término antioxidante hace referencia a la actividad que numerosas vitaminas, minerales y otras sustancias fitoquímicas tienen sobre sustancias consideradas como nocivas, llamadas radicales libres. Los radicales libres pueden reaccionar químicamente con otros componentes de las células (oxidándolos) alterando su estabilidad y funcionalidad.

Existe una considerable cantidad de estudios científicos a nivel químico, de cultivos celulares y en animales que indican que los antioxidantes pueden ralentizar o posiblemente prevenir el desarrollo de algunas enfermedades, como el cáncer o las enfermedades cardiovasculares, y otras degenerativas, como el alzhéimer o el propio envejecimiento.

El efecto tóxico de muchos xenobióticos está mediado por la formación de especies reactivas de oxígeno. Un xenobiótico es capaz de inducir estrés oxidativo como resultado de un proceso cíclico de oxidación-reducción (ciclo redox) en el cual, al ser biotransformado, sufre la reducción por un electrón donado por el NADPH (la mayor fuente de equivalentes reducidos), transformándose luego en un intermediario o especie reactiva que puede ser un radical libre. Esta especie reactiva, al intentar recuperar su configuración original, busca transferir o donar su electrón no apareado al oxígeno (O_2). Así el O_2 se reduce transformándose en el anión superóxido (O_2^-) con la consecuente regeneración del componente parental. El (O_2^-) reacciona a su vez con otras moléculas o

consigo mismo y genera el radical hidroxilo (OH^{\cdot}) que mediante una serie de reacciones en cadena y la capacidad de oxidar macromoléculas puede ocasionar la muerte celular.

Tanto los mamíferos como los peces exhiben respuestas celulares muy similares ante el estrés oxidativo. La importancia de las defensas antioxidantes es proteger los sistemas celulares del estrés oxidativo inducido por xenobióticos. Peces de agua dulce expuestos a diferentes clases de contaminantes, como insecticidas organofosforados (diclorvos, azinfosmetil), herbicidas fenoxiacéticos (2,4-D), piretroides (deltametrina) o hidrocarburos aromáticos policíclicos (fenantreno), mostraron daño tisular por estrés oxidativo en exposiciones crónicas, así como alteración en la actividad de las enzimas antioxidantes, con tendencia al aumento, principalmente en hígado y branquias, en exposiciones agudas. No obstante, con altos niveles de contaminación la concentración de dichas enzimas puede verse reducida.

Tres de las principales fuentes antioxidantes son las enzimas superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (Gpx); sin embargo, debe tenerse en cuenta otra serie de enzimas especializadas con funciones indirectamente antioxidantes, como es el caso de la glutatión reductasa (GR) cuya función es regenerar el glutatión a su forma reducida (GSH) y la glutatión-S-transferasa (GST) que participa en el transporte y la eliminación de componentes reactivos y en el sistema de transporte de conjugados con el glutatión. Estas enzimas antioxidantes han sido propuestas como biomarcadores de estrés oxidativo y su inducción como una respuesta específica ante la exposición a contaminantes.

Considerando lo anterior, el propósito del presente trabajo fue evaluar la capacidad antioxidante de péptidos obtenidos de la hidrólisis de subproductos de tilapia producidos con papaya como fuente de enzimas, así como su efecto en organismos alimentados con los hidrolizados.

2.3 Objetivos

General: Evaluar la capacidad antioxidante de péptidos obtenidos de la hidrólisis de subproductos de tilapia producidos con papaína y sus efectos al incorporarlos en dietas para peces.

Específicos:

- Evaluar la capacidad antioxidante de hidrolizados a diferentes tiempos con pulpa de papaya y extractos de papaína.
- Seleccionar los hidrolizados con mayor capacidad antioxidante para ser utilizado en la elaboración de productos.
- Elaborar dietas enriquecidas con el hidrolizado seleccionado a diferentes concentraciones.
- Determinar el efecto de dietas enriquecida con hidrolizados en el crecimiento y biomarcadores en juveniles de tilapia.

2.4 Hipótesis: La capacidad antioxidante de péptidos obtenidos de la hidrólisis de subproductos de tilapia con papaína incorporados a un alimento comercial, mejora el crecimiento y condición fisiológica de peces.

2.5 Antecedentes

2.5.1 Proteínas y péptidos

La proteína es uno de los componentes más importantes ya que influye en las características funcionales y nutricionales de los alimentos al proveer aminoácidos esenciales, nitrógeno y energía. Están compuestas por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. La mayoría también contienen azufre y fósforo. Las mismas están formadas por la unión de varios aminoácidos, unidos mediante enlaces peptídicos. El orden y disposición de los aminoácidos en una proteína depende del código genético, ADN, del organismo que las sintetiza. Las proteínas constituyen alrededor del 50% del peso seco de los tejidos y no existe proceso biológico alguno que no dependa de la participación de este tipo de sustancias.

La calidad nutricional de una proteína depende de su contenido en aminoácidos esenciales. Esa calidad está medida por un índice llamado valor biológico. Por lo tanto, una proteína es de alta calidad o tiene un alto valor biológico cuando es rica en aminoácidos esenciales. Se considera en general que las proteínas de origen animal son más nutritivas y completas que las de origen vegetal, que son incompletas y de un menor valor biológico.

Por su gran tamaño molecular, las proteínas aportadas por la dieta no pueden ser absorbidas directamente en el proceso de la digestión. Para hacerlo, deben ser descompuestas en péptidos y después en sus aminoácidos constituyentes, tarea que realizan las enzimas proteolíticas producidas en el estómago, páncreas y en el intestino delgado.

Los aminoácidos se dividen en aminoácidos esenciales y no esenciales. Los esenciales son aquellos que no son elaborados por nuestro organismo y deben incorporarse a través de la dieta. Los no esenciales son sintetizados por nuestro metabolismo. Los aminoácidos esenciales ayudan en la síntesis de tejidos, y constituyen la materia prima del organismo para la formación de jugos digestivos, hormonas, vitaminas, enzimas, hemoglobina y proteínas plasmáticas. Resultan imprescindibles para el adecuado crecimiento y desarrollo del organismo, favoreciendo las funciones estructural, inmunológica,

enzimática (acelerando las reacciones químicas), homeostática (colaborando al mantenimiento del pH) y protectora-defensiva.

Los péptidos es la unión de aminoácidos o bien son fragmentos derivados de la hidrólisis de proteínas. Se conforman de entre 2 y 50 aminoácidos. Estas unidades son más fáciles de digerir al ser de un menor tamaño que las proteínas, por lo cual es un medio más fácil para la obtención de aminoácidos.

2.5.2 Hidrolizados

El proceso conocido como hidrólisis, conlleva a la disociación de la estructura primaria de la proteína, y a su fragmentación en péptidos y aminoácidos libres dando como resultado, hidrolizados proteicos (Rustad 2013). Estos hidrolizados proteicos pueden ser obtenidos mediante métodos químicos que utilizan sustancias alcalinas o ácidas, o bien, métodos biológicos basados en la utilización de enzimas que hidrolizan los enlaces peptídicos (Li et al. 2010). La hidrólisis enzimática presenta indudables ventajas frente a la tradicional hidrólisis química, ácida o alcalina, entre las que destacan la selectividad de enzimas, condiciones moderadas de temperatura y pH, la no adición de sustancias extrañas y el mantenimiento de su valor nutritivo (Bucci y Unlu 2000).

El objetivo de la elaboración de hidrolizados proteicos, es la solubilización de fuente proteica para incrementar su valor biológico y/o nutricional, con lo que se logra un producto con valor agregado y comerciable (Nilsang et al. 2005). Debido a la hidrólisis, las proteínas dan lugar a péptidos y aminoácidos libres, generando así cambios en la molécula como incremento en la carga, exposición de grupos hidrofóbicos y desenmascaramiento de cadenas laterales reactivas de algunos aminoácidos (Caessens et al. 1999). Características que confieren propiedades funcionales biológicas nutricionales importantes como digestibilidad, hipoalergenicidad y actividad antimicrobiana (Van der Ven 2002).

El efecto de agregar la proteína parcialmente hidrolizada da lugar a que esta se aproveche mejor. Esto se debe a que la velocidad de absorción de la proteína a nivel intestinal está dada por la velocidad a la que las enzimas digestivas hidrolizan la fuente proteica para que ésta pueda ser absorbida (Espe et al. 1993).

La funcionalidad de los hidrolizados de proteína está influenciada por el grado de hidrólisis, la especificidad de la enzima y las condiciones de hidrólisis. Los productos obtenidos pueden ser utilizados al ser incorporados en alimentos para proveer un valor nutricional agregado (Briones-Martínez et al. 1997).

Dentro de la industria alimentaria, el residuo que queda después de la separación del mosto durante el proceso de elaboración de la cerveza, es rico en proteínas y fibra, y generalmente es destinado solamente a la alimentación de animales; se ha buscado aumentar su aplicación en otras áreas para hacer uso de las proteínas insolubles que tiene y esto se ha hecho, con la elaboración de hidrolizados enzimáticos (Celus et al. 2009).

El uso de hidrolizados proteicos es muy diverso, se emplean como fuente de nitrógeno en dietas entéricas para niños y adultos enfermos (Lebenthal et al. 1983), como ingrediente en medios de cultivo microbianos (Gildberg et al. 1989), en la producción de fertilizantes (Suzuki 1981, Diniz y Martin 1996, Aspino 2005), para aumentar el valor nutritivo de alimentos con bajo contenido proteico y de manera muy extensa, en alimentación animal, donde se utilizan como agentes hipoalergénicos (Shahibi y Venugopal 1994) y atrayentes (Strom y Raa 1991).

2.5.3 Sustrato

El sustrato es el sitio donde actúa la enzima. El material de partida utilizado para la obtención de los hidrolizados proteicos puede ser de origen animal, vegetal o bacteriano. Entre los vegetales, los más usados son las proteínas de soja, trigo y arroz, principalmente en países desarrollados. De los sustratos de origen animal se emplea el pescado, principalmente en países orientales, como Japón o Corea. También se han aprovechado las proteínas de residuos cárnicos como tendones o huesos y de microorganismos, como algas. Normalmente la elección del sustrato a utilizar en el proceso de hidrólisis se realiza en función del uso final que vaya a tener el hidrolizado y del valor añadido conseguido con respecto al sustrato de partida. Una de las aplicaciones más importantes de los hidrolizados de proteínas es su utilización como fuente de nitrógeno en la formulación de dietas. Cuando su finalidad es esta se usan principalmente proteínas de pescado (Mackie 1982) y proteínas microbianas (SCP, acrónimo del inglés Single Cell Protein) en alimentación animal, y proteínas de soja y lácteas en alimentación humana.

2.5.4 Enzimas proteolíticas

Las enzimas son unidades proteicas y su actividad catalítica depende de su conformación estructural (Lenhninger et al. 2005). Las enzimas proteolíticas o proteasas, son aquellas que actúan rompiendo los enlaces peptídicos de las proteínas que son catalizadas (Palma et al. 2002). Las proteasas pueden clasificarse según su origen ya sea animal, vegetal, bacteriano o fúngico. Su acción catalítica las divide en endopeptidasas o proteinasas si rompen al azar el interior de las cadenas peptídicas, y exopeptidasas o peptidasas, si separan aminoácidos y dipéptidos de los extremos de las cadenas polipeptídicas. Estas enzimas se unen a las proteínas haciendo cortes en los enlaces peptídicos formando péptidos y aminoácidos libres. Las proteasas constituyen al grupo más importante de las enzimas que son usadas en la industria, por su alta especificidad y la modificación de sustratos (Walsh 2002).

2.5.5 Papaína

Se ha visto que algunos vegetales contienen enzimas digestivas, entre algunas de ellas están la papaína (endoproteasa cisteínica obtenida de la papaya) y la bromelaína (endoproteasa cisteínica obtenida de la piña) y su uso se ha reportado como ablandadores de carne, así como para mejorar algunas funcionalidades de proteínas como las de soya, o para resaltar el sabor en ciertos alimentos (Briones-Martínez y Cortés Vázquez 2008). Enzimas como bromelina, ficcina y papaína, son obtenidas a partir del látex de frutos o plantas, mientras que proteasas digestivas de origen animal como la tripsina, quimiotripsina y pepsina, fueron las primeras en emplearse en la industria alimenticia (Guadix et al. 2000), sin contar con aquellas que han sido utilizados desde tiempos remotos como en la industria de quesos y bebidas alcohólicas (Kirk et al. 2002).

La papaína es una enzima que se extrae del fruto llamado papaya y que pertenece a una familia de proteínas relacionadas, que incluye endopeptidasas, aminopeptidasas, dipeptidil peptidasas y otras enzimas con actividades tanto exo-peptolíticas como endo-peptolíticas (Fersht 1980).

Las propiedades peptolíticas de la papaína provocan la ruptura de múltiples enlaces en las proteínas animales, lo que tiene por consecuencia que se pueda utilizar para ablandar la

carne destinada al consumo humano. La papaína también hidroliza proteínas vegetales, y es útil para evitar la formación de los sedimentos proteicos que produce la proteína de la cebada en el proceso de fabricación de cerveza. También posee propiedades antiinflamatorias cuando es consumida directamente, por lo que los frutos que la contienen han sido usados como medicamento natural. Un entorno alcalino con pH mayor de 8, o una temperatura mayor de 37°C desnaturaliza la papaína rápidamente (Garibay et al. 1993).

Por otra parte, la papaína es uno de los componentes utilizados por laboratorios oftalmológicos para fabricar tabletas enzimáticas para la limpieza de lentes de contacto. También forma parte de suplementos dietarios, debido a su capacidad de favorecer el proceso digestivo, y de procesos de depuración de aguas (Osuna et al. 2005).

2.5.6 Hidrolizados de pescado

En los últimos años se ha buscado en la industria pesquera una forma de optimizar los subproductos que se generan; estos residuos son importantes fuentes de proteínas, que pueden ser extraídos de los demás componentes por hidrólisis enzimática, con el uso de proteasas (Beaulieu et al. 2009). Tal es el caso de los hidrolizados con potencial fertilizante, de las proteínas de los residuos de calamar (cabeza, vísceras, tendones, tentáculos y pequeñas partes musculares), estos subproductos constituyen el 50% del total de su peso, y frecuentemente son desechados, convirtiéndose en un problema económico y ambiental; se ha visto que a través de hidrólisis enzimática se pueden modificar estos residuos y generar un producto.

El emplear la proteína de pescado para hidrolizar, resulta atractivo porque se conserva el valor nutritivo y se consigue un producto con valor agregado, y altamente comercializable. La industria pesquera genera grandes volúmenes de subproductos, que generalmente son desechados o utilizados para ser procesados como harina de pescado (Sathivel et al. 2003), frecuentemente de baja calidad, ya sea por su bajo contenido de proteína y/o alto de cenizas.

En la actualidad y en el futuro el mejorar el aspecto nutricio del alimento, ya sea para consumo humano o animal, es una de las metas más importante, y más aún si se trata de

las proteínas que es el grupo de nutrientes que más carencias tiene. Las limitaciones de orden ambiental y económico en la producción de alimento de origen animal ha propiciado que se enfoque la atención a la necesidad de utilizar sus subproductos; un volumen importante de residuos son obtenidos de la acuicultura, la pesca y la elaboración de productos a base de pescado, ya que los residuos pueden llegar a constituir un 70 % de su peso inicial, sin considerar las pérdidas que son generadas por la manipulación, almacenamiento y procesamiento (Chalamaiah et al. 2010). Existen diferentes géneros de pescado que a partir de sus residuos se han generado hidrolizados enzimáticos con propiedades funcionales modificadas entre los cuales se encuentran *Clupea sp* (arenques) (Hoyle y Merritt 1994, Sathivel et al. 2003), *Selaroides sp* (chicharro banda dorada) (Klompong et al. 2007), *Mallotus sp* (capelín) (Shahidi et al. 1995), y *Merluccius sp* (merluza) (Benjakul y Morrissey 1997).

Diversas enzimas se han usado para la elaboración de hidrolizados a partir de proteínas de pescado, con el fin de mejorar sus propiedades funcionales (Sugiyama et al. 1991, Briones-Martínez et al. 1994, Shahidi et al. 1995, Benjakul y Morrissey 1997); siendo las proteínas de bacalao y salmón las más usadas para este fin (Liaset et al. 2003, Aspino et al. 2005, Slizyte et al. 2005) ya que han mostrado mejores resultados a los reportados con otras variedades de pescado (Ruttanapornvareesakul et al. 2006). Además, al presentar incremento en la absorción, hace que este tipo de productos sean altamente utilizados en la formulación de alimentos para larvas y juveniles de diversas especies de importancia acuícola tales como el salmón del Atlántico (Berge y Storenbakken, 1996), la curvina europea (Kotzamanis et al. 2007) y el camarón tigre *Panaeus monodon* Fabricius, 1978 (Anggawati et al. 1990).

La tilapia es un pez que actualmente se cultiva tilapia en los 31 estados de la República Mexicana por medio de tres sistemas: extensivo, intensivo y semi-intensivo. La clasificación en cada uno de estos sistemas depende de la densidad de la siembra. Su producción se destina principalmente al repoblamiento de embalses y al consumo humano, para lo cual se comercializa a pie de granja, en mercados y restaurantes locales, para satisfacer la demanda de las grandes ciudades, se importa tilapia congelada de China principalmente. Tan sólo durante el 2011 la producción de tilapia en México fue de 75,927

toneladas (SAGARPA 2013). De esta cantidad, el subproducto muchas veces es desperdiciado por lo que actualmente se busca formas de aprovecharlo.

En la región Noroeste de México, el procesamiento de tilapia tiene capacidad de generar subproductos equivalentes al 35% del peso de los organismos, los cuales no son aprovechados, por lo que pueden emplearse también como fuente proteica, al igual que otras especies sin valor comercial.

La calidad microbiológica de estos hidrolizados depende en gran parte de la higiene en la que estos se realizan. Sin embargo, debido a la naturaleza ácida de estos hidrolizados, confieren una protección adicional contra el crecimiento microbiano, y de forma más específica, contra la proliferación bacteriana. Así mismo, la acidez de la fruta utilizada confiere protección contra el crecimiento de microorganismos (Machado et al. 2014).

2.5.7 Capacidad antioxidante de péptidos

En la actualidad, las proteínas alimentarias se investigan no sólo desde el punto de vista nutricional o funcional, sino como materia prima para la obtención de péptidos (Korhonen 2002).

Proteínas de distinta procedencia (animal y vegetal) han sido utilizadas para el aislamiento de péptidos a partir de hidrolizados enzimáticos siendo interesante destacar que, dependiendo de la fuente proteica, del tipo de enzima usado y de las condiciones de procesado, la actividad biológica y los péptidos obtenidos es distinta (Wang y De Mejía 2005).

Los antioxidantes no sólo son importantes en la prevención de la oxidación en los alimentos, sino también a nivel fisiológico. Los radicales libres son unas moléculas que están en continua formación en las células y que son neutralizados de manera natural por las defensas antioxidantes del organismo. Sin embargo, existen factores que producen un desequilibrio en el número de radicales libres, y un exceso de éstos puede dar lugar a un envejecimiento celular o al desarrollo de enfermedades (Bray 2000). Todo esto ha llevado a la búsqueda de compuestos antioxidantes naturales para la prevención de la oxidación por parte de los radicales libres.

Los péptidos actúan impidiendo que otras moléculas se unan al oxígeno, al reaccionar-interactuar más rápido con los radicales libres que con el resto de las moléculas presentes en un determinado microambiente de membrana plasmática, citosol, núcleo o líquido extracelular (Venereo 2002).

Se ha reportado actividad antioxidante en péptidos de gelatinas de pescado. Los péptidos derivados del hidrolizado trípico de la gelatina de piel de corvina *Johnius belangerii*, **Cuvier, 1830** exhiben significativa actividad eliminadora de radicales superóxidos, centrados en carbón y DPH, de acuerdo a estudios de espectroscopia por resonancia de giro de electrón (Yamamoto 2003). Así mismo, en otro estudio, la gelatina del abadejo de Alaska fue hidrolizada en serie con alcalasa, pronasa y colagenasa, mostrando una alta actividad antioxidante (Marshall 2004).

2.6 Materiales y métodos

2.6.1 Lugar, área de trabajo y periodo de estudio

Este trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Ecofisiología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL en Monterrey NL, en un periodo comprendido de octubre del 2015 a Julio del 2016.

2.6.2 Elaboración de los extractos de papaina

Se elaboraron extractos enzimáticos utilizando pulpa de papaya. Se cortaron cubos de 1 cm de lado aproximadamente de papaya para ser colocados en un matraz con buffer citrato fosfato pH 6.0, en una proporción de 20 g de papaya por 20 ml de buffer. El buffer utilizado fue realizado con diferentes volúmenes de ácido cítrico 0.1 M y fosfato de sodio 0.2 M para dar el pH deseado. Una vez que los cubos de fruta estaban en matraces, estos se colocaron en un refrigerador a 4°C durante 24 horas. Posteriormente, se recolectó la solución de buffer-extracto para ser centrifugada a 14,000 rpm durante 15 minutos a 4°C. Finalmente, se recuperó el sobrenadante y se almacenaron en alícuotas a - 20°C para su posterior análisis y uso en la elaboración de los hidrolizados.

2.6.3 Cuantificación de la proteína de los extractos de papáina

La concentración de proteína soluble fue determinada mediante el método de (Bradford 1976). Para la cuantificación se utilizaron 4 tubos (3 replicados y un blanco) para cada tipo de extracto.

Se pesó 3 mg de suero de albumina bovina (BSA) y se agregó un volumen de 3 ml de buffer citrato fosfato a pH 7. Con esta solución se realizó una curva estándar de proteína mediante las siguientes diluciones:

Tabla 2.1 Concentraciones para curva estándar de trolox

Estándar	Proteína (mg/ml)	BSA (μl)	Buffer (μl)
7	0.50	500	1500
6	0.40	400	1600
5	0.30	300	1700
4	0.25	250	1750
3	0.20	200	1800
2	0.10	100	1900
1	0.05	50	1950

El ensayo se realizó en microplacas donde se aplicó 20μl por pozo de cada dilución de la curva estándar o de muestra, con sus debidas repeticiones (3), en los blancos (BKL) se utiliza 20μl del buffer correspondiente.

Para Las muestras problema en tubos eppendorf se colocó 50μl de las muestras (extracto enzimático de papaya) y 50 μl de buffer, de esta dilución se tomaron 20μl por pozo para realizar la lectura de placas.

Posteriormente, a cada uno de los pozos se le agregó 200 μL de solución de trabajo de Bradford y se realizó la lectura de la absorbancia a 595 nm en un lector de microplacas ELx800 (Biotek). Los cálculos de la curva estándar y concentración de proteína en la muestra se realizaron con el Software Gen5 (Biotek) incorporado al lector.

2.6.4 Cuantificación de la actividad enzimática de la papaína

Para su determinación se utilizó el método propuesto por Kunitz modificado por (Clark et al. 1986), el cual propone la utilización de una solución al 1% de sustrato a base de caseína para la actividad proteolítica. La determinación consistió en mezclar 0.5ml de buffer, 0.1ml de extracto enzimático y 0.5ml sustrato. Los blancos fueron elaborados sustituyendo el extracto enzimático por buffer. La mezcla se incubó durante 30 min a 37° C. Posteriormente se agregó 0.5 ml de ácido tricloroacético (TCA) al 12% (w/v) frío con el fin de parar la reacción y se mantiene a 4° C durante 15 minutos. Y por último se centrifugó a 10,000 rpm durante 5 minutos, para medir la absorbancia del sobrenadante a 280 nm en celdas de cuarzo de 1 ml en un espectrofotómetro Genesis 2 (Spectronic). La actividad enzimática fue expresada por el incremento de absorbancia por minuto por mg de proteína en el extracto enzimático (abs/min/mg proteína).

2.6.5 Elaboración de hidrolizados de subproductos de Tilapia

Para la elaboración de hidrolizados se utilizaron tilapias frescas de 300 g producidas en el laboratorio húmedo del Grupo Ecofisiología FCB/UANL, del cual se utilizó en dos formas: 1) musculo del fileteado; ó 2) restos de filete consistentes en piel, vísceras, cabeza y huesos con musculo adherido, los cuales fueron triturados y homogenizados para evitar diferencias en la composición de la muestra. Para la hidrólisis se mezclaron 40 gramos de tilapia con 20 ml de extracto de papaína y 20 ml de buffer citrato fosfato (pH 5.0). Posteriormente se incubó a 37°C durante 72 horas sin agitación. Se tomaron muestras de 1.5 ml de cada uno de los frascos a los 30 minutos, 1, 24, 48 y 72 horas de incubación. En estos tiempos de muestreo el pH del medio fue ajustado, en caso de ser necesario, al valor inicial con las soluciones de preparación del buffer. Las muestras se llevaron a congelación a -70°C para su posterior análisis. Como tratamientos alternativos se realizaron hidrolizados sustituyendo los extractos de papaína por 20 g de trozos de pulpa de papaya con 40 g de pescado y 40 ml de buffer, siguiendo las mismas condiciones de hidrólisis y muestreo.

2.6.6 Cuantificación de la proteína soluble y péptidos en los hidrolizados

La concentración de proteína soluble fue determinada mediante el método de (Bradford 1976), de acuerdo al procedimiento previamente descrito.

Para la separación y cuantificación de los péptidos en las muestras de hidrolizados se realizó el precipitado de la proteína con TCA, para lo cual se mezcló el hidrolizado con un volumen igual de TCA al 12% frío y se mantuvo a 4°C durante media hora. Posteriormente se centrifugó a 14,000 rpm y 4°C durante 15 minutos. El sobrenadante fue recuperado y la concentración de aminoácidos y péptidos libres fue determinada midiendo la absorbancia a 280 nm.

2.6.7 Actividad antioxidante de péptidos en los hidrolizados

La actividad antioxidante de los péptidos obtenidos en los hidrolizados se analizó por la técnica Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno (ORAC) (Huang et al. 2002). El ORAC se basa en la pérdida de fluorescencia en la Fluoresceína por el radical 2,2 – Azobis (2-amidinopropano) dihidrocloruro *AAPH). Una curva estándar de Trolox (análogo sintético de la vitamina E, soluble en agua) en concentraciones de 0 a 100 µM permite expresar el resultado en equivalentes de Trolox.

Se tomó de un stock de fluoresceína (0.004mM a 4°C) 50 µl y se aforó a 10 mL en Buffer de fosfatos 75 mM (pH 7.4). Posteriormente se preparó el AAPH (para una concentración final 153 mM), en el mismo buffer de fosfatos. El ensayo se realiza en microplacas oscuras de 96 pozos aplicando 150 µL de fluoresceína y 25 µL de trolox, muestra o buffer (blancos), para someterla a pre-incubación (37°C) por 30 min. Posteriormente se añadió 25 µL de AAPH a los pozos y se inició el programa lecturas durante una hora (cada minuto) de la fluorescencia a 485 nm de excitación y 528 nm de emisión en un lector de microplacas Synergy 2 (Biotek). Los cálculos de la curva estándar y de concentración de las muestras se realizaron con el Software Gen5 (Biotek) incorporado al lector. Los resultados obtenidos fueron expresados en equivalentes de trolox (µM) considerando el factor de dilución de cada muestra.

2.6.8 Efecto del hidrolizado incorporado en una dieta para peces

Para evaluar el efecto del hidrolizado como agente antioxidante en una dieta y la respuesta fisiológica, se realizó un bioensayo con crías de tilapia para lo cual se prepararon 3 dietas experimentales:

- Alimento sin hidrolizado (HP 0%)
- Alimento con hidrolizado de papaya al 5% (HP 5%)
- Alimento con hidrolizado de papaya al 10% (HP 10%)

Las dietas se elaboraron utilizando un alimento comercial para peces (Purina) con el hidrolizado seleccionado de los ensayos anteriores, de acuerdo al que presente la mayor actividad antioxidante.

El diseño experimental consistió en un sistema de bloques completamente al azar con un factor a evaluar, la concentración del hidrolizado. En total se utilizaron 9 acuarios (3 por tratamiento), con 15 peces por acuario. Los acuarios estuvieron conectados a un sistema de filtración y recirculación de agua para mantener las condiciones adecuadas. Los peces fueron pesados en una balanza OHAUS (0.001 g de sensibilidad) para comprobar que no existiera diferencia significativa entre los pesos de los acuarios. Los peces de cada acuario fueron alimentados diariamente con el 4% de su biomasa total con las dietas experimentales de acuerdo al tratamiento correspondiente, ajustando la ración a los 15 días. Después de 30 días se finalizó el experimento mediante el pesado de los organismos. Para evaluar la capacidad antioxidante y la actividad de enzimas del sistema antioxidante se tomaron muestras de musculo de los peces de cada acuario, las cuales fueron almacenadas a – 70 C para su posterior análisis.

2.6.9 Evaluación del crecimiento y aprovechamiento del alimento

Para evaluar el aprovechamiento de las diferentes dietas se determinaron los siguientes parámetros:

Tasa de crecimiento específico (TCE) = $[(\ln W_f - \ln W_i) / (t_f - t_i)](100)$

En la que W_f es el peso al final del periodo, W_i peso inicial, t_f es el tiempo final en días y t_i tiempo inicial en días.

Factor de conversión alimenticia (FCA) = peso alimento consumido / ganancia en peso

Factor de eficiencia proteica (FEP) = Ganancia en peso / consumo de proteína

2.6.10 Evaluación de indicadores fisiológicos

Elaboración de extractos enzimáticos

Para la elaboración de los extractos enzimáticos, se utilizaron las muestras individuales de musculo congeladas y se pesaron en una balanza digital para determinar el peso y posteriormente se homogenizaron en agua bidestilada en una proporción de 1:10 (peso/volumen). Los homogenizados se colocaron en tubos eppendorf y se centrifugaron durante 15 minutos a 4°C y 10000 rpm, se separó el sobrenadante para ser utilizado como extracto enzimático. Para determinar la concentración de proteína se utilizó una modificación del método de Bradford (1976) de acuerdo a lo descrito.

2.6.11 Capacidad antioxidante no enzimática

La actividad antioxidante de las muestras de musculo fue determinado por la técnica de ORAC de acuerdo a lo previamente descrito.

2.6.12 Evaluación de actividad antioxidante enzimática

Superóxido dismutasa (SOD). Se utilizó xantina oxidasa a una concentración 1mM para la liberación de radicales superóxidos y sal tetrazolium a una concentración 1mM como detector de radicales. Se colocaron 200 μ L de detector radical en cada pozo y 10 μ L de extracto enzimático y la reacción se inició agregando 20 μ L de xantina oxidasa. La microplaca se incubó en agitación durante 20 minutos y se realizó una lectura de absorbancia a 450 nm. La concentración de radicales es inversamente proporcional a la actividad de SOD en las muestras.

Glutación S-trasferasa (GST). La actividad GST fue evaluada utilizando el método descrito por (Wilce y Parker 1994), en un lector de microplacas (ELx800TM, BioTek). La mezcla de reacción consistió de 300 μ L de buffer Dulbecco's (pH 7.2) conteniendo 1-clorine-2,4-dinitrobenceno (CDNB) 100 mM y L-glutation reducido (200 mM), con 10 μ L de extracto enzimático. La absorbancia fue inmediatamente registrada a 340 nm cada 60 segundos durante un periodo de 10 minutos. La actividad GST fue expresada como μ mol/min/mg proteína, utilizando un coeficiente de extinción para el CNDB de 9.6 Mmol/cm.

Para cada extracto enzimático se realizaron 3 replicados por muestra para cada enzima. Para determinar el efecto de las dietas experimentales en la actividad de las enzimas analizadas en los peces, se realizaron análisis de varianza (ANOVA one way) entre los tratamientos y la prueba de comparación múltiple de medias Duncan a un nivel de significancia de $P < 0.05$. Los análisis estadísticos correspondientes se realizaron mediante el programa SPSS.

2.7 Resultados

2.7.1 Cuantificación de la proteína en los extractos de papaína

Para la cuantificación se utilizaron 4 tubos (3 replicados y un blanco). Los replicados contenían buffer, extracto y 0.5 ml de TCA (Ácido tricloroacético). Se registró la absorbancia a 280 nm encontrándose que la mayor concentración de proteína se obtuvo en la muestra 4 (tabla 2.2).

Tabla 2.2 Concentración de proteína (mg/ml) en los extractos de papaína

Muestra (relación buffer : extracto en ml)				
	1	2	3	4
Replica	(0.5 : 0.1)	(0.4 : 0.2)	(0.3 : 0.3)	(0.2 : 0.4)
1	0.116	0.142	0.135	0.166
2	0.169	0.139		0.167
3	0.119	0.126	0.137	0.156
X_{media}	0.135	0.136	0.136	0.163

Utilizando la técnica de Bradford se cuantificó la proteína de los extractos de papaya sin diluir y con dilución, arrojando que las muestras de papaya sin dilución contenían mayor cantidad de proteína por mililitro (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Promedios de proteína (mg/ml) en extractos de papaína con y sin dilución, SPL2 y SPL1, respectivamente.

SPL1	SPL2
0.109	0.031

SPL1 - extracto de papaya sin diluir.

SPL2 - extracto de papaya diluido.

2.7.2 Cuantificación de la enzima

Se hicieron los cálculos necesarios para obtener la cantidad de enzima de cada extracto. Para obtener este dato se utilizó la siguiente fórmula: $UE = Abs / (min / (mg \text{ de proteína}))$ donde Abs es la absorbancia de los extractos, min es el tiempo en que se incubaron y mg de proteína es el promedio de la cuantificación por la técnica de Bradford. Promedio: Unidades enzimáticas de papaína por ml: 0.218 UE/ ml

2.7.3 Hidrolizados de subproductos de tilapia

2.7.3.1 Cuantificación de péptidos solubles

Para cuantificar los péptidos solubles en los extractos se realizó una lectura en el espectrofotómetro a 280 nm (tabla 2.4). Los hidrolizados de tilapia producidos con fruta completa presentaron mayor concentración de proteína soluble comparados con los producidos con extractos enzimáticos excepto a las 72 horas, donde la concentración es mayor en los hidrolizados elaborados con extracto. Para la cuantificación de péptidos presentes en el hidrolizado completo se realizó una lectura en el espectrofotómetro a 280nm (tabla 5) obteniéndose los mayores resultados a 72 horas para ambos tipos de hidrolizados.

2.7.4 Concentración de proteínas con espectrofotómetro

La cantidad de proteína obtenida fue superior en el extracto de papaya a 48 horas, mientras que para los hidrolizados elaborados con fruta completa la cantidad más alta se encuentra a las 72 horas. (Hidrolizado completo-ps=proteína) (Tabla 2.4).

Tabla 2.4 Diferencia de concentraciones (mg/ml) de proteína en extractos elaborados con Hidrolizados de fruta completa y extracto de papaya calculados por diferencia. (Forma cuantitativa basada en resultados anteriores).

Tiempo (horas)	Papaya		Tiempo (horas)	Papaya		Tiempo (horas)	Papaya	
	Extracto	Fr completa		Extracto	Fr completa		Extracto	Fr completa
0	0.182	0.31	0	0.435	0.654	0	0.253	0.344
1	0.247	0.486	1	0.622	0.77	1	0.375	0.284
24	0.326	0.852	24	0.72	0.916	24	0.394	0.064
48	0.675	1.016	48	1.391	1.391	48	0.716	0.375
72	1.542	1.005	72	1.505	1.498	72	0	0.493

2.7.5 Concentración de proteínas (Bradford):

Se tomaron alícuotas de cada una de las muestras y se realizaron diluciones correspondientes:

Tiempo 0-1 hora = 1:50

Tiempo 24-72 horas = 1:100

Se realizó por la curva estándar de proteína obtenida por método de Bradford; siendo los estándares iguales a los utilizados anteriormente (STD1- STD7)

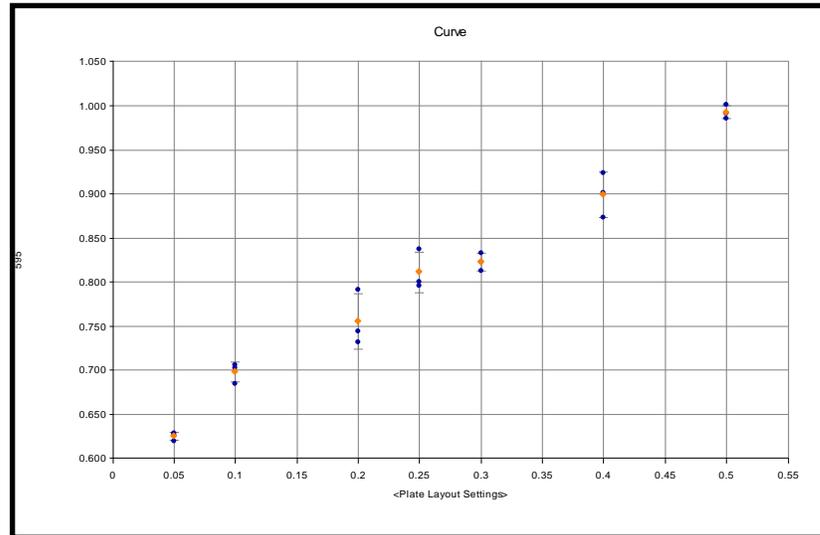


Figura 2.1 Curva estándar Bradford para concentración de proteínas

En donde las concentraciones obtenidas se multiplicaron por su dilución realizada obteniéndose la mayor concentración de extracto a las 48 horas.

La concentración de proteína en extracto fue mayor a las 72 horas y casi nula durante las primeras 24 horas, Figura 2.2 Así mismo se encontró una mayor concentración de proteína a las 48 horas en el hidrolizado elaborado con fruta, pero una menor cantidad de proteína (mg/ml) que el obtenido con el extracto de papaya. Pasando las 48 horas, se puede notar una disminución de concentración de proteína, Figura 2.3.

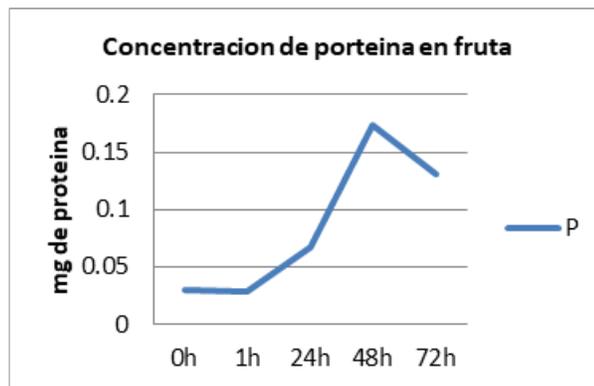
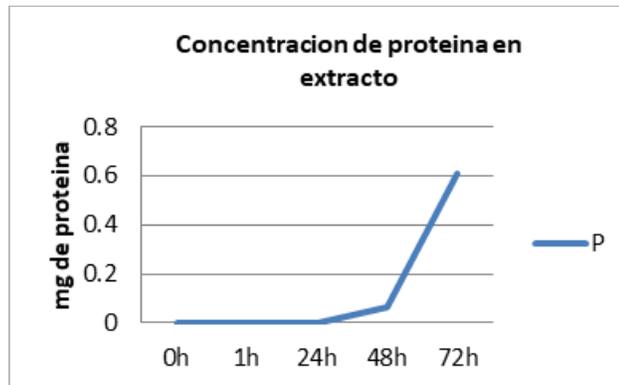


Figura 2.2 Concentración de proteína en extracto Figura 2.3 Concentración de proteína en fruta

2.7.6 Hidrolizado completo:

En la concentración de proteína en el hidrolizado completo utilizando extracto de papaya se encontró una mayor cantidad de proteína entre la primera hora y las 24 horas, observándose un decrecimiento con el paso del tiempo hasta llegar a las 72 horas (Imagen 4). La concentración de proteína para el hidrolizado completo elaborado con la fruta completa mostró mayor cantidad en la primera hora (Imagen 5), mostrándose posteriormente un decrecimiento como el observado con el otro hidrolizado. La mayor concentración encontrada se encuentra en el hidrolizado completo elaborado con fruta.

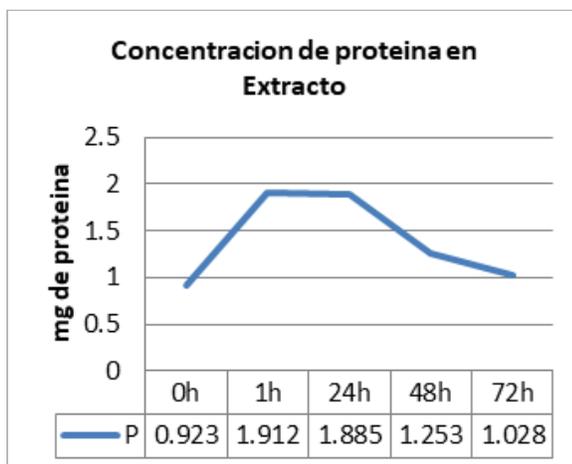


Figura 2.4 Concentración en mg de proteína en Hidrolizado completo en muestras (Extracto)

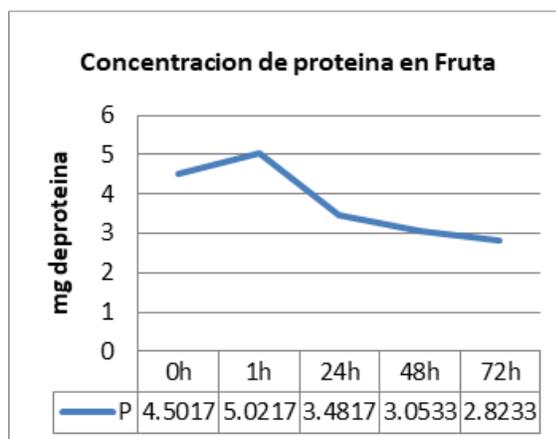


Figura 2.5 Concentración en mg de proteína en Hidrolizado completo en muestras (Fruta)

2.7.7 Capacidad antioxidante de los péptidos solubles (ORAC)

La actividad antioxidante de las muestras de Péptidos Solubles se analizó por técnica ORAC, la curva estándar Trolox fue preparada al momento con diluciones 100-0 utilizando Buffer de fosfatos 75 mM pH 7.4.

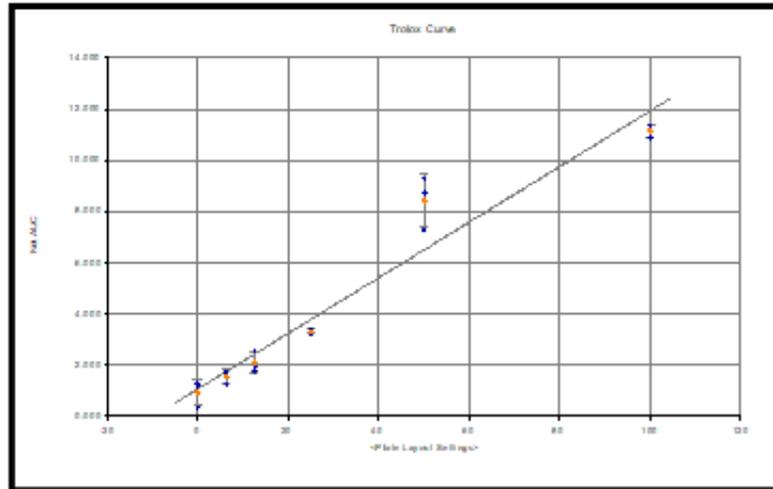


Figura 2.6 Curva estándar de Trolox

Los resultados obtenidos se multiplicaron por la dilución de cada una de las muestras y se comparó con la Curva de Trolox.

Se obtuvo una mayor actividad antioxidante en el hidrolizado elaborado con extracto a las 72 horas (Imagen 7). La actividad antioxidante en el hidrolizado elaborado con fruta (Imagen 8) resulto ser más alto a las 48 horas, 24 horas menos que el elaborado con extracto de papaya, con una actividad muy similar a la mostrada por el hidrolizado elaborado con el extracto.



Figura 2.7 Actividad antioxidante del extracto.

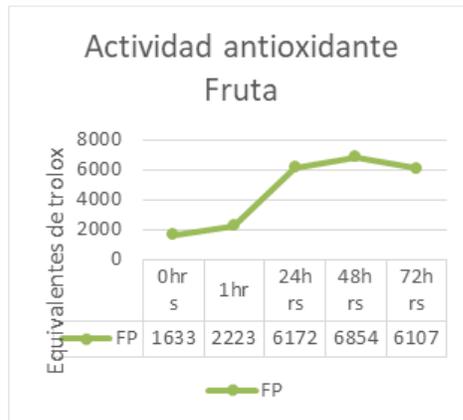


Figura 2.8 Actividad antioxidante en fruta

2.7.8 Efecto del hidrolizado incorporado en una dieta para peces

Los peces alimentados con la dieta control (0%) consumieron un total de 763,35 g de alimento en un periodo de alimentación de 30 días. Los peces alimentados con la dieta adicionada con hidrolizado al 5% consumieron 726,9 g de alimento en el mismo periodo. Y los peces alimentados con la dieta adicionada con un 10% de hidrolizado consumieron 731,25 g de alimento.

Tabla 2.5 Peso y longitud iniciales (Dia 1)

T1 (0%)					
Ac. 1		Ac. 8		Ac. 9	
Peso	Longitud	Peso	Longitud	Peso	Longitud
5.98	6.20	5.28	6.90	5.62	6.30
7.95	6.50	12.97	9.00	5.56	6.00
9.16	8.50	9.63	8.80	6.63	6.50
8.25	6.40	6.23	7.20	9.60	7.00
6.39	6.30	11.48	8.70	8.83	7.10
4.70	4.80	13.53	9.00	7.44	6.90
6.00	6.10	10.67	8.30	6.47	7.30
6.77	6.90	9.47	8.20	8.24	6.90
5.80	6.20	7.37	8.50	8.81	7.00
4.39	5.00	10.32	8.50	5.96	6.10

T2 (5%)					
Ac. 2		Ac. 3		Ac. 6	
Peso	Longitud	Peso	Longitud	Peso	Longitud
9.01	7.00	6.79	6.00	10.94	7.50
10.14	7.20	10.26	7.70	9.53	7.20
11.41	7.30	9.12	6.30	8.13	7.00
7.86	7.00	5.39	6.00	8.97	7.00
6.00	6.30	8.20	6.30	7.10	6.70
7.26	6.40	6.30	6.30	5.55	6.00
7.37	6.70	4.57	5.90	6.68	6.60
6.64	6.50	10.08	7.70	5.38	5.90
4.32	5.20	7.79	7.00	8.26	7.00
6.45	6.30	6.10	7.00	9.79	7.50

T3 (10%)					
Ac. 4		Ac. 5		Ac. 7	
Peso	Longitud	Peso	Longitud	Peso	Longitud
10.57	6.00	5.40	6.15	9.47	7.30
6.20	6.60	3.00	4.90	8.03	7.00
4.86	6.30	5.60	6.00	11.00	7.70
9.70	7.50	5.44	6.00	9.26	7.20
6.84	6.70	7.24	6.80	10.00	7.90
9.20	7.50	5.97	6.30	6.73	6.70
6.38	6.60	6.91	6.80	7.74	6.80
8.32	7.20	7.37	6.80	8.96	7.50
8.18	6.80	8.55	7.20	3.42	5.40
5.32	6.30	8.49	7.30	3.98	5.70

Tabla 2.6 Peso y longitud finales (Día 30)

T1 (0%)						
X	Ac. 1		Ac. 8		Ac. 9	
	Peso	Longitud	Peso	Longitud	Peso	Longitud
1	7.72	7.40	12.60	8.40	12.03	8.50
2	5.50	6.80	7.90	7.20	10.80	8.50
3	9.27	7.90	12.48	8.80	10.13	8.20
4	8.88	7.90	12.94	8.40	9.92	8.30
5	7.27	7.60	15.84	9.40	7.42	7.60
6	10.97	8.40	14.66	9.20	7.26	7.60
7	7.67	7.00	15.78	9.30	10.28	8.50
8	10.52	8.50	7.00	7.30	11.38	9.00
9	6.80	7.00	11.14	8.50	8.41	7.90
10					7.62	7.90
TCE	0.79%		0.78%		0.87%	

T2 (5%)						
X	Ac. 2		Ac. 3		Ac. 6	
	Peso	Longitud	Peso	Longitud	Peso	Longitud
1	5.92	7.00	12.00	8.50	7.68	7.60
2	12.15	8.40	11.59	8.70	11.50	8.70
3	10.50	8.20	10.13	8.40	9.42	8.30
4	12.40	8.40	11.10	8.30	11.77	8.50
5	9.60	8.00	12.30	9.00	7.56	7.30
6	5.26	6.30	7.23	7.00	10.56	8.30
7	9.06	8.00	6.24	7.20	13.45	9.00
8	8.03	7.50	8.14	7.60	9.16	8.00
9	8.40	7.20	8.05	7.50	12.74	8.80
10			10.16	8.30	10.98	8.50
TCE	0.55%		0.87%		0.88%	

T3 (10%)						
X	Ac. 4		Ac. 5		Ac. 7	
	Peso	Longitud	Peso	Longitud	Peso	Longitud
1	8.91	7.20	10.15	8.30	13.66	9.30
2	11.60	8.90	10.28	8.20	12.87	9.20
3	10.40	7.40	9.52	8.00	10.70	8.50
4	6.64	7.50	4.35	6.40	12.47	8.80
5	10.72	8.30	8.42	7.30	12.68	8.80
6	8.10	7.50	6.20	7.00	14.06	9.20
7	12.82	9.20	7.73	7.50	5.38	6.40
8	8.56	7.90	7.93	8.00	11.50	8.30
9	7.14	7.20	9.13	8.20	5.36	7.20
10	11.63	11.50	9.65	8.40	9.71	8.00
TCE	0.81%		0.88%		1.07%	

Tabla 2.7 Factor de conversión alimenticia (FCA) y factor de eficiencia proteica (FEP)

Tratamiento			
Indicador	T1 (0%)	T2 (5%)	T3 (10%)
FCA	6.27	5.47	4.11
FEP	-	1.42	0.96

Factor de conversión alimenticia (FCA): 2.60

2.7.9 Evaluación de indicadores fisiológicos

Una vez acabado el bioensayo se realizó las pruebas de GST, ORAC y SOD encontrándose un mayor resultado para GST en el hidrolizado de 10%, en ORAC en el hidrolizado de 5% y en el SOD en el hidrolizado de 10%.

2.7.10 ORAC

Se encontró una diferencia significativa donde se puede observar que el tratamiento control fue más bajo que los tratamientos al 5% y al 10%. En el cuadro de resultados del ANOVA, el valor del estadístico de prueba, $F=7.893$, por lo tanto, es significativamente distinto de 1 para cualquier nivel de significación y se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias.

Tabla 2.8 ANOVA ORAC

ANOVA					
SOD					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.016	2	.008	1.886	.174
Dentro de grupos	103	24	.004		
Total	.119	26			

Tabla 2.9 Post ANOVA ORAC

Comparaciones múltiples							
SOD							
	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	0% Hidrolizado	5% Hidrolizado	.04599865	.03083957	.313	-.0310166	.1230139
		10% Hidrolizado	-.01021943	.03083957	.941	-.0872347	.0667958
	5% Hidrolizado	0% Hidrolizado	-.04599865	.03083957	.313	-.1230139	.0310166
		10% Hidrolizado	-.05621808	.03083957	.184	-.1332333	.0207972
10% Hidrolizado	0% Hidrolizado	.01021943	.03083957	.941	-.0667958	.0872347	
	5% Hidrolizado	.05621808	.03083957	.184	-.0207972	.1332333	

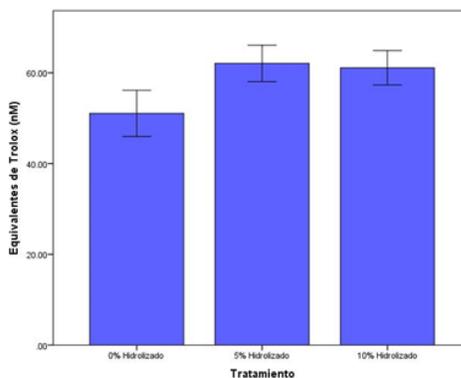


Figura 2.9 ORAC

2.7.11 Superóxido dismutasa (SOD)

No se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos, pero notándose una ligera diferencia menor en el tratamiento con 5% de hidrolizado. En el cuadro de resultados del ANOVA, el valor del estadístico de prueba, $F=1.886$, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias.

Tabla 2.10 ANOVA SOD

SOD					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.016	2	.008	1.886	.174
Dentro de grupos	.103	24	.004		
Total	.119	26			

Tabla 2.11 Post ANOVA SOD

SOD							
(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza		
					Límite inferior	Límite superior	
HSD Tukey	0% Hidrolizado	5% Hidrolizado	.0459865	.03083957	.313	-.0310166	.1230139
	5% Hidrolizado	10% Hidrolizado	-.01021943	.03083957	.941	-.0872347	.0667958
	5% Hidrolizado	0% Hidrolizado	-.0459865	.03083957	.313	-.1230139	.0310166
	10% Hidrolizado	10% Hidrolizado	-.05621808	.03083957	.184	-.1332333	.0207972
	10% Hidrolizado	0% Hidrolizado	.01021943	.03083957	.941	-.0667958	.0872347
	5% Hidrolizado	5% Hidrolizado	.05621808	.03083957	.184	-.0207972	.1332333

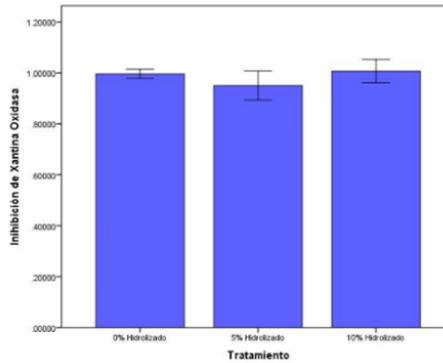


Figura 2.10 SOD

2.7.12 GST

No se encontró diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, se puede notar una actividad menor en el tratamiento control. En el cuadro de resultados del ANOVA, el valor del estadístico de prueba, $F=0.707$, no es significativamente distinto de 1 para cualquier nivel de significación y, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias.

Tabla 2.12 ANOVA GST

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.000	2	.000	.707	.497
Dentro de grupos	.014	72	.000		
Total	.015	74			

Tabla 2.13 Post ANOVA GST

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza		
					Límite inferior	Límite superior	
HSD Tukey	0% hidrolizado	5% hidrolizado	-.00376798441	.00402961491	.620	-.0134113520	.0058753832
	0% hidrolizado	10% hidrolizado	-.00427710354	.00390431114	.520	-.0136206037	.0050663966
	5% hidrolizado	0% hidrolizado	.00376798441	.00402961491	.620	-.0058753832	.0134113520
	5% hidrolizado	10% hidrolizado	-.00050911913	.00402961491	.991	-.0101524867	.0091342485
	10% hidrolizado	0% hidrolizado	.00427710354	.00390431114	.520	-.0050663966	.0136206037
	10% hidrolizado	5% hidrolizado	.00050911913	.00402961491	.991	-.0091342485	.0101524867

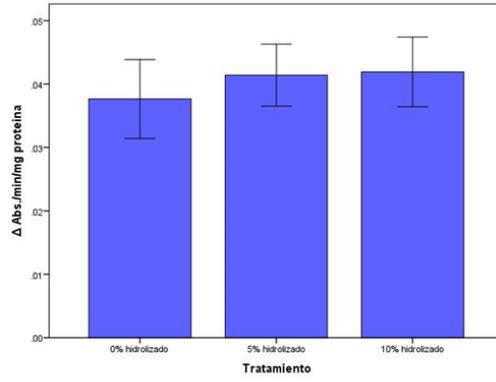


Figura 2.11 GS

2.8 Discusión

En la elaboración de los extractos de papaya se observó que los extractos sin dilución contenían mayor cantidad de proteína a diferencia de los extractos diluidos, dando un promedio de 0.109 mg/ml de muestra. Observando la tabla nutricia de los alimentos, se puede encontrar que la papaya contiene 0.5 mg de proteína por cada 100 gramos, haciendo la escala podemos encontrar que nuestros extractos contienen una mayor cantidad de proteína y esto puede ser debido a la madurez de la papaya utilizada (FAO).

En la cuantificación de enzimas de los extractos se obtuvo 0.218 UE/ ml. Comparando nuestro resultado con la literatura (Vishal. et al. 2013) podemos encontrar que es muy similar, variando solo por unas cuantas unidades. En cambio, los resultados de otro experimento (Itoyama. et al 1994) muestran cantidades más altas de unidades enzimáticas, esto puede ser debido a la utilización de papaína purificada para su experimento.

En la medición de los péptidos solubles, mediante lecturas del espectrofotómetro a 280 nm de absorbancia. Para el hidrolizado elaborado con extracto arrojaron mayores concentraciones de péptidos a las 72 horas, mientras que con la fruta entera fue mayor a las 48 horas. No obstante, siendo aun así mayor la concentración total en el extracto a las 72 horas que con la fruta. Comparando estos resultados con la medición en el hidrolizado completo, podemos observar que el hidrolizado completo contiene mayor cantidad de péptidos solubles en cada una de las horas, siendo este el más efectivo. Con estos resultados se calculó el contenido de proteína mediante las diferencias de hidrolizado completo y péptidos solubles, obteniendo que a 48 horas la proteína era mayor en el extracto y en el elaborado con fruta completa la concentración más alta fue a las 72 horas.

Posteriormente se calculó el contenido de proteína mediante la técnica de Bradford, encontrándose que la concentración más alta fue a las 48 horas para el hidrolizado elaborado con extracto, siendo similar a como se calculó anteriormente mediante la absorbancia a 280 nm. Donde sí se encontró diferencias fue en la proteína del hidrolizado de fruta completa, el cual en esta ocasión fue mayor a las 48 horas, y no a las 72 horas como se había calculado anteriormente. En todos los casos las variaciones en la

concentración de proteína podrían estar más relacionada con la afinidad entre el reactivo de Bradford y la estructura de los péptidos en cada muestra (Gilbota et al. 2000).

Para los hidrolizados completos se observó que la concentración mayor de proteína fue a la primera hora y fue decreciendo con el tiempo en ambos casos, pero encontrándose mayor concentración de proteína en el hidrolizado elaborado con fruta. Esto contrasta con los péptidos solubles elaborado con fruta el cual tuvo menor concentración, esto debido a la precipitación y separación por centrifugación de proteínas no hidrolizadas que se pierden, quedándose solo los péptidos y las proteínas solubles (López, B. y G, Sampedro. 1977).

La actividad antioxidante en el hidrolizado elaborado con fruta y con extracto resultaron tener una actividad antioxidante similar. Diferenciándose en que el hidrolizado elaborado con fruta obtuvo su mayor actividad a las 48 horas y no a las 72 como el elaborado con extracto. Esto debido a la alta concentración de proteínas en la fruta a comparación del extracto tal como se puede observar en la literatura (Uman, 2008).

Estos resultados fueron considerados para seleccionar la forma y tiempo de elaboración del hidrolizado (Hidrolizado completo a 48 horas) que fue utilizado para ser incorporado en el alimento utilizado en el bioensayo con los peces.

Durante el bioensayo se observó que las tasas de crecimiento específico (TCE) fueron en promedio más bajas para esta especie de pez frente a las realizadas por otros autores (Tacon et al. 1983). Los cuales obtuvieron unos resultados similares, pero aun así más altos lo cual es lógico pues las tilapias más jóvenes tienen una mayor tasa de crecimiento. El tratamiento con una mayor tasa de crecimiento específico fue con el alimento con un 10% de hidrolizado, lo cual puede atribuirse a la mayor cantidad de proteína ingerida por los peces como se puede observar en el trabajo de Jover et al. (1993).

El factor de conversión alimenticia (FCA) es un indicador de cuánto alimento consume un pez para producir cierta cantidad de carne. Este es un valor que entre más cercano a uno se encuentre es mejor para el productor (Mynor, 2012). En nuestro bioensayo se observa que nuestros resultados están lejos del 1, viéndose así mismo que entre mayor sea

la cantidad de proteína en el alimento, este factor se acerca a 1. Este alto factor de conversión nos sugiere la implementación de mayor proteína a la dieta o en su defecto, mayor cantidad de alimento.

La tasa de eficiencia proteica (TEP) fue más alta en los acuarios alimentados con el alimento adicionado con el 5% de hidrolizado, viéndose un descenso en el alimento con el 10% de hidrolizado. Este resultado es similar al visto en el trabajo de Cerda et al. (1998) en donde se observa un descenso en la tasa de eficiencia proteica conforme se incrementó la proteína en su alimento. La disminución de la tasa de retención proteica puede estar relacionada con el antagonismo entre AA sulfurados o con otros AAs reduciendo la utilización de los AAs como un todo (Furuya et al. 2010), este hecho también fue observado por Jackson et al. (1982).

Se encontró una diferencia significativa en la prueba de Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC). Donde se puede observar que el tratamiento control fue más bajo que los tratamientos al 5% y al 10%. Comparando esto con la literatura podemos ver un resultado similar al de Ann et al. (2008), en donde el control sin hidrolizado mostró una actividad más baja en comparación con los hidrolizados incorporados a las diferentes concentraciones que utilizó.

Mientras que en la prueba de superóxido dismutasa (SOD) no se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos. Este resultado indica que la cantidad de hidrolizado en el alimento no afecta la enzima. También puede deberse a que los peces no estuvieron expuestos a estrés, como lo visto en el trabajo de Muñoz (2010), en donde se puede observar una alta actividad de esta enzima posterior al exponer los peces a un estrés oxidativo.

Para la prueba de Glutación S Transferasa (GST) no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, se puede notar una actividad más alta en el tratamiento con 10% de hidrolizado, por lo que podría considerarse que, entre mayor cantidad de hidrolizado, esta actividad podría verse incrementada. El incremento en la actividad GST permite detoxificar una gran variedad de contaminantes. Esto puede observarse en el trabajo de Llopis et al. (2006), en donde a cierta cantidad de aditivo se

pudo observar este fenómeno de detoxificación con mayor presencia en los peces lo que puede trasladarse a nuestro trabajo, en donde a mayor cantidad de hidrolizado, mayor será la actividad de esta enzima.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD FINANCIERO Y SOCIOECONÓMICO DE PRODUCCIÓN DE TILAPIA EN EL NORESTE DE MÉXICO

3.1 Resumen

El cultivo de tilapia *Oreochromis spp*, es el más extendido en los diversos países del mundo. Sin embargo, su desarrollo en regiones con clima variable y escasez de agua como el caso de Nuevo León, México, implica énfasis en la incorporación de técnicas de bajo impacto económico. La escasez de agua ha sido solucionada mediante sistemas de recirculación RAS, entre los que destaca la acuaponía. Se diseñó un sistema que además de minimizar el uso de agua y energía permite recuperar los subproductos del metabolismo de alimento de los peces y obtener hortalizas de alto valor comercial mientras mantiene las variables abióticas, como la temperatura en condiciones óptimas para los peces y las plantas.

3.2 Introducción

3.2.1 Objetivos de la Economía, breve reseña histórica.

“Para entender en qué consiste la valoración de una empresa hay que hacer la distinción entre valor y precio. Aunque parecen sinónimos si existe una diferencia entre valor y precio. Valor es un concepto más abstracto que precio puesto que presenta connotaciones ideales, mientras que precio es algo más tangible, es simplemente una referencia para adquirir algo a cambio de un pago en dinero o en especie.” (Zitzmann 2009).

De manera general se puede decir que el objetivo de la mayoría de las naciones o estados y en general de la sociedad, es la de conseguir el uso óptimo de los recursos, tradicionalmente; tierra, trabajo y capital, inevitablemente limitados. El desafío consiste en asignar estos recursos limitados entre actividades diversas que compiten por estos en usos alternativos para alcanzar los tres grandes propósitos macroeconómicos que son: estabilidad de precios, crecimiento económico y pleno empleo. (Méndez 2003, 2020,

Samuelson 1980, Samuelson et al 1998, Samuelson y Nordhaus 2002, Wonnacott 1979, Spencer 1976).

Para lograrlo, los economistas recurren a tres grandes instrumentos de política económica que son: la política fiscal, que se refiere a la recaudación por un lado y el gasto público, la política de rentas (también conocida como política de precios) y la política monetaria. (Méndez 2020, Samuelson 1980, Samuelson et al 1998, Samuelson y Nordhaus 2002, Wonnacott 1979, Spencer 1976).

En este renglón vale la pena enfatizar otros dos objetivos adicionales que menciona de manera explícita Wonnacott 1979 y de manera implícita Samuelson y Nordhaus 2002, que son la eficiencia, y la equidad en la distribución de la riqueza.

Al momento de su publicación, Samuelson 2002, menciona que “de los 6000 millones de persona que hay en el mundo, posiblemente 1000 millones vivan en un estado de absoluta pobreza, casi incapaces de sobrevivir diariamente. En cambio, el 1 por 100 más rico, que vive en el opulento norte, recibe el 20 por 100 de la renta mundial. ¿A qué se deben las grandes diferencias en riqueza de los diferentes países? ¿Puede sobrevivir el mundo pacíficamente habiendo pobres en medio de la abundancia, mucho consumo ostentoso y excedentes agrícolas en Estados Unidos e inanición y degradación del medioambiente en África? ¿Qué medidas pueden tomar los países más pobres para mejorar su nivel de vida? ¿Qué responsabilidades tienen los países opulentos?” (Samuelson y Nordhaus 2002).

“De ahí que la filosofía Marxista-Leninista establezca el análisis objetivo de los valores, a partir del “determinismo aplicado a la vida social, donde se gesta el valor y las dimensiones valorativas de la realidad”, es decir la capacidad que poseen los objetos y fenómenos de la realidad objetiva de satisfacer alguna necesidad humana.” (Zitzmann 2009).

“A finales el siglo XIX y principios del siglo XX, con la aportación del marxismo, se comienza a abordar el concepto de valor sobre la base de la relación sujeto-objeto, de la correlación entre lo material y lo ideal. Para Marx, la determinación de la magnitud de valor de una mercancía es la cantidad de trabajo requerido socialmente para producirla. Marx considera que lo específico de la sociedad moderna es que las cosas útiles aparecen

a ojos de los hombres como mercancías, tanto los bienes necesarios para la subsistencia, como la propia capacidad de trabajar.” (Zitzmann 2009).

“El eje de la obra de Marx es un incisivo análisis de las virtudes y defectos del capitalismo. Marx sostenía que es la fuerza de trabajo (tanto el trabajo directo como el indirecto plasmado en el equipo de capital) la que da valor a una mercancía. Por ejemplo, el valor de una camisa se deriva del esfuerzo de los trabajadores textiles que la realizan y del esfuerzo de los trabajadores que han fabricado los telares. Imputando todo el valor de la producción al trabajo, Marx intento demostrar que los beneficios -la parte de la producción que es producida por los trabajadores, pero recibida por los capitalistas-equivalen a una renta no ganada”. (Samuelson y Nordhaus 2002).

“Como muchos grandes economistas, pero con más pasión que la mayoría de ellos, Marx se sintió extraordinariamente conmovido por la lucha de la población trabajadora y confiaba en mejorar su vida. Suyas son las palabras que figuran en su lápida: Hasta ahora los filósofos solo han interpretado el mundo de distintas formas. “¡Lo importante sin embargo es cambiarlo!”. Nuestro epitafio dedicado a Marx podría recordar la valoración del destacado historiador intelectual Sir Isaiah Berlin: “Ningún pensador del siglo XIX ha ejercido una influencia tan directa, deliberada y poderosa en la humanidad como Karl Marx.” (Samuelson y Nordhaus 2002).

“Trabajadores del mundo únense no tienen nada más que perder que sus cadenas”. La cita de ésta, la más popular frase de Marx ilustra su apasionado punto de vista. En sus escritos, áridos pasajes de economía eran puntualizados mediante explosivos emocionales en contra del sistema establecido”. (Wonnacott 1979).

“Mientras que Smith y Marshall creían que la libre empresa, (con la intervención del gobierno solamente en circunstancias especiales) Karl Marx creía que el sistema de la libre empresa debería e inevitablemente sería reemplazado por un sistema completamente diferente, el comunismo”. (Wonnacott 1979).

Con frecuencia se considera que la economía moderna nace en el año de 1776 año en que Adam Smith publicó el “Tratado Sobre La Naturaleza y Causa de la Riqueza de las Naciones”, en el que Smith argumenta a favor de la libertad económica, es decir la libre

empresa al interior de los países y el mercado libre entre los países. El gobierno debería interferir menos en el mercado, dejando a las personas buscar su propio interés. (Samuelson 1980, Samuelson et al 1998, Samuelson y Nordhaus 2002, Wonnacott 1979, Spencer 1976).

“Al combinar temas desarrollados por otros economistas y agregar sus propias contribuciones Alfred Marshall es considerado como el padre de la microeconomía, que es el estudio detallado de cómo los bienes son producidos y se establecen (definen) los precios”. (Wonnacott 1979).

“Así como Marshall es considerado el padre de la microeconomía, John Maynard Keynes, su alumno más destacado, es considerado el padre de la macroeconomía. La gran contribución de Keynes a la economía es “La Teoría General del Empleo Interés y el Dinero” publicado en 1936 después de la gran depresión, en la que había 14’000,000 de desempleados en los Estados Unidos. La obra se caracteriza por ser un ataque que “levantó ámpula” en la teoría tradicional (clásica) la que creía que con el tiempo el desempleo se curaría a sí mismo. Keynes afirmó que no es así. En tales circunstancias el gobierno debe de intervenir aumentando el gasto. Así se incrementaría la producción y de esta manera se crearían más empleos”. (Wonnacott 1979).

“En el siglo XIX, Karl Marx había profetizado el fin del sistema económico existente. Keynes reconoció que el sistema tenía serias fallas, pero creía que podía ser reformado. De tal manera que su punto de vista es un lugar intermedio entre el punto de vista del economista Adam Smith y el de un economista revolucionario como Karl Marx”. (Wonnacott 1979).

3.2.2 Evaluación social de proyectos

La elaboración y evaluación de proyectos es una herramienta con un sólido fundamento técnico y científico que se usa como auxiliar para determinar la asignación de recursos (siempre limitados) entre actividades o procesos alternativos que compiten por estos recursos escasos, a saber: tiempo, dinero, materiales, tecnológicos y humanos, de todos los anteriores el humano es el recurso más valioso y el fin último de cualquier proyecto, pues son las personas, los individuos, los beneficiarios.

Un estudio de esta naturaleza comienza como parte de buscar dar respuesta a una necesidad en la que entran en conflicto caminos alternativos, o para aprovechar una oportunidad y se hace a través del cálculo sistemático de cuatro grandes bloques, o apartados, de los cuales el primero es el estudio de mercado. (Baca 2001, Silva 2000, Fontaine 1999, 2009).

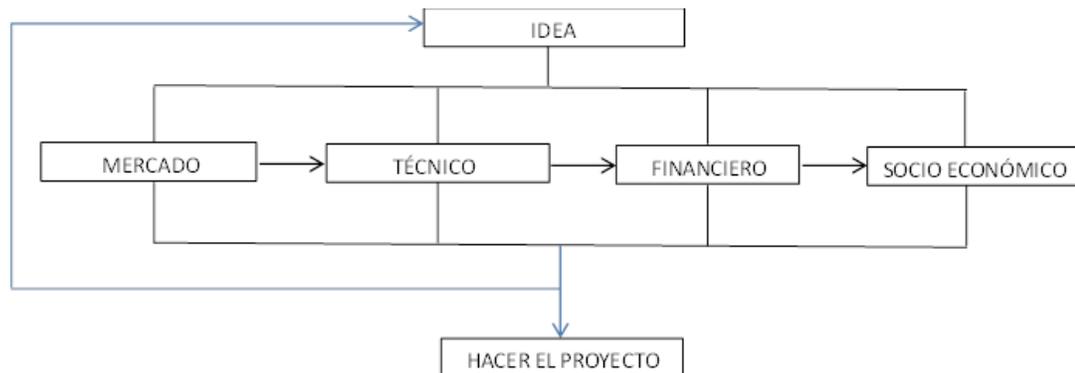


Figura 3.1 Componentes de la evaluación de proyectos

En el lenguaje de la evaluación socioeconómica se contrastan beneficios contra costos para la sociedad, de manera que evaluación socioeconómica equivale a decir evaluación social en el lenguaje de los evaluadores, en tanto que evaluación financiera es sinónimo con evaluación privada. (Silva 2000, Fontaine 1999, 2009, FIRA 2011).

3.2.2.1 Estudio de Mercado

En un aspecto del estudio de mercado se busca determinar la cantidad de oferentes (oferta) y demandantes (demanda) para una serie de precios y cantidad. Por definición un mercado es un lugar común físico o virtual en donde convergen o coinciden compradores (demandantes) y vendedores (oferentes) en precio y cantidad. Dicho de manera muy simple, no tiene sentido producir algo para lo que no existe un mercado.

Así mismo se determina si es un mercado libre, monopolio, oligopolio; canales de distribución, presentación (cada presentación es un producto diferente con un mercado

característico), productos relacionados; complementarios o sustitutos. (Samuelson 1980, Samuelson et al 1998, Samuelson y Nordhaus 2002, Wonncoatt 1979). Lo anterior deberá de hacerse para cada producto.

En relación al tipo de mercado es importante definir si el mercado que se va a atender es el mercado de factores de producción (bienes intermedios) o el mercado de bienes y productos finales, ya que tienen características muy diferentes y la estrategia para poder participar en ellos cambia. Normalmente la empresa se encuentra entre estos dos mercados. Figura 3.2.



Figura 3.2 Mercado de factores de Producción, Mercado de bienes y servicios finales y su relación con la empresa

El mercado de factores de producción se caracteriza porque tanto el que compra como el que vende son profesionistas especializados en el ramo y normalmente están muy bien informados, los márgenes de negociación son muy estrechos y el precio está en función del volumen, además del poder de negociación del que compra y el que vende.

En cambio, en el mercado de bienes y servicios finales, las compras se dan por impulso, los márgenes suelen ser muy superiores y la utilidad (entendida como satisfacción) define la aceptación de un producto.

Otra técnica empleada son las series de tiempo con lo cual se estima la demanda histórica y oferta histórica, se basa en el análisis de regresión lineal por el método de los mínimos cuadrados y la regresión puede ser lineal en los factores o en las variables, (Baca 2001, Pindyck y Rubinfeld 2001, Gujarati 1992, Griffiths et al 1993) con base a esta función se hacen las proyecciones, y la bondad de ajuste se determina mediante contraste de hipótesis.

3.2.2.2 Estudio Técnico

En lo que respecta al estudio técnico es importante definir los procesos, es decir lo que se conoce como ingeniería básica, esta consiste en describir el número de estaciones de proceso su capacidad y como están interconectadas, acompañando a este estudio deberá realizarse el estudio de ingeniería de detalle, la macro y micro localización. Aquí se determina la factibilidad técnica de producir o desarrollar el producto o los productos para el cual o los cuales se hace el estudio de mercado, pues podría resultar que existe una demanda, pero es imposible técnicamente producir aquello para lo cual se tiene esa demanda.

3.2.2.3 Estudio Financiero

En el estudio Financiero se busca dar respuesta a la manera en la que se van a obtener los recursos financieros es decir el capital necesario. Va a responder básicamente a la pregunta de dónde van a salir los recursos y a qué se van a destinar. Además, se define el monto de la inversión inicial total (IIT) en la cual incluye: activos fijos, activos diferidos y capital de trabajo. El período de recuperación de la inversión inicial total (PRII), así como los flujos netos de efectivo descontados (llevados a valor presente neto, conocido como VAN o VPN), y el punto de equilibrio (PE). Este último mediante el enfoque de Harris y Harrison, que es una herramienta para la planeación, en el cual se segmentan los costos en fijos y variables. En la figura 6 se muestra el procedimiento para determinar el punto de equilibrio en el caso que exista una mezcla de productos, en tal caso se obtiene el margen de contribución unitario ponderado (Baca 2022, Fontaine 1999, 2009, Keat 2003).

Producto	PVU	CVU	MCU	F	f(MCU)
1	PVU ₁	CVU ₁	MCU ₁	f ₁	f(MCU) ₁
2	PVU ₂	CVU ₂	MCU ₂	f ₂	f(MCU) ₂
3	PVU ₃	CVU ₃	MCU ₃	f ₃	f(MCU) ₃
4	PVU ₄	CVU ₄	MCU ₄	f ₄	f(MCU) ₄
5	PVU ₅	CVU ₅	MCU ₅	f ₅	f(MCU) ₅
.
.
.
N	PVU _n	CVU _n	MCU _n	f _n	f(MCU) _n
Σ = MCU_p					

Figura 3.3 Procedimiento para el cálculo del margen de contribución unitario ponderado, base para estimar el punto de equilibrio según el enfoque de Harris y Harrison, elaboración propia.

En el estudio financiero es relevante hacer un análisis de sensibilidad, existen muchas variantes, de las cuales el análisis de tornado es una. En este se clasifican las oscilaciones de precios y costos en una tabla ordenados de mayor a menor y a cada una de ellas se les asigna en base a los históricos (costos unitarios de compra y precios unitarios de venta) límites superiores e inferiores y se verifica como impactan el estado de resultados del proyecto.

Se ha visto que los proyectos en los que se integra el cultivo de tilapia y la planta de proceso para obtener filete son altamente sensibles a: Precio de venta 29%, rendimiento del fileteado 27%, coeficiente de crecimiento 26%, Precio del alimento 14%, conversión alimenticia 2.5% y sobrevivencia 1% (de Llano Massino et al. 2004).

3.2.2.4 Política de precios

Establecer la política de precios adecuada permite a la empresa obtener buenos resultados, maximizar el ingreso por ventas resulta conveniente para lo cual, a partir de la demanda en función del precio y el punto de equilibrio se procede de la siguiente manera:

En el punto de equilibrio el ingreso total (IT) es igual al costo total (CT):

$$IT = CT$$

El ingreso total se puede expresar como el producto de número de unidades vendidas (N) por el precio de venta unitario (PUu), de manera similar el costo total se segmenta en costo fijo (CF) más el producto del costo variable unitario (CVu) y el número de unidades producidas N,

$$N(PVu) = CF + N(CVu)$$

$$N(PVu) - N(CVu) = CF$$

$$N(PVu - CVu) = CF$$

Entonces en el punto de equilibrio el número de unidades a producir es igual a:

$$N = CF / (PVu - CVu);$$

La diferencia entre el Precio de venta unitario y el costo variable unitario (PVu - CVu) se conoce como margen de contribución unitario ya que contribuye a cubrir los costos fijos.

$$N = CF / MCUp$$

Que en el caso de tener una mezcla de productos se emplea el margen de contribución unitario ponderado (MCUp). Pero además no es deseable trabajar en el punto de equilibrio, el objetivo obtener una utilidad, de modo que a la función se le suma en el numerador la utilidad deseada (UD) de manera que sea cubierta por el margen de contribución unitario ponderado.

$$N = (CF + UD) / MCUp$$

Para establecer el nivel de precios de la mezcla de productos se busca el precio de venta unitario ponderado (PVu_p) que maximice el ingreso. Sabemos que el ingreso total es igual al precio de venta unitario ponderado por el número de unidades vendidas;

$$IT = N(PVu_p)$$

Sin embargo, también sabemos que al incrementar el precio el número de unidades vendidas baja, de acuerdo a la ley de demanda descendente (Samuelson, 1980, 2000, 2002, Baca 2001, Fontaine 1999, 2009, Keat 2003, Wonnacott 1979) de tal manera que en general el ingreso, I, es igual al producto de precio de venta y cantidad:

$$I = QP$$

Función del precio descendente (lineal con pendiente negativa)

$$P = -mQ + b$$

$$Q = -(P-b)/m$$

$$Q = (b-P)/m$$

Sustituyendo en;

$$Q = (b-P)/m$$

$$I = P[(b-P)/m]$$

$I = -P^2/m + P(b/m)$, esta es la ecuación de una parábola que se “abre hacia abajo” por lo que igualamos a cero.

$$-P^2/m + P(b/m) - I = 0$$

y obtenemos la primera derivada para obtener el máximo.

$$-2P/m + b/m = 0$$

Despejamos P

$$P = (-b/m)/(-2/m)$$

$$P = b/2$$

El resultado anterior nos indica que el precio que maximiza el ingreso de nuestra curva de demanda hipotética es igual a la ordenada al origen dividida en dos.

Una vez definido el nivel de precios se determinan los flujos respectivos a efecto de evaluar financieramente el proyecto, se tendrá un flujo inicial negativo en el año cero, la inversión inicial total, que a su vez es la suma de activos fijos, activos diferidos y capital de trabajo, y para cada año en el horizonte de la evaluación del proyecto, que en la Figura 6 es a 5 años, se tendrán flujos netos de efectivo proyectados, positivos idealmente, que se deflactan (deflación lo contrario de inflación) en base a los datos proyectados por instituciones públicas (Banxico e INEGI), así como la iniciativa privada.

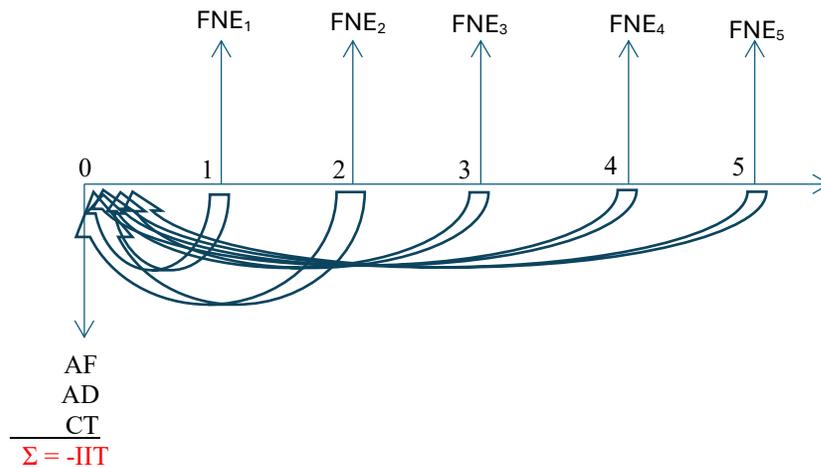


Figura 3.4 Estructura general de los flujos netos de efectivo descontados llevados a valor presente para hacer el análisis financiero partiendo de los datos obtenidos del estado de resultados proforma.

3.2.2.5 Estudio socioeconómico

En el contexto específico de la evaluación social de proyectos un mayor consumo significa un beneficio social mientras que un menor consumo implica un costo social. (Ibarra 2000, Silva 2000, Fontaine 1999, 2009).

Así mismo, una mayor producción significa un costo social por mayor uso de recursos, en tanto una reducción en la producción implica un beneficio social por menor uso de recursos los cuales son liberados para su mejor uso alternativo. (Ibarra 2000, Silva 2000, Fontaine 1999, 2009).

La evaluación social de proyectos radica en contrastar los beneficios sociales con los costos que la realización de los proyectos tiene como consecuencia para la sociedad, es decir, el efecto neto que de llevar a la práctica dicho proyecto tendrá sobre el bienestar de la sociedad. (Silva 2000, Fontaine 1999, 2009).

En este contexto se parte de los siguientes supuestos: todo tiene un costo de oportunidad, estar bien es sinónimo de riqueza y los precios se expresan en términos reales, es decir se trabaja con pesos constantes (dólares o el tipo de moneda en cuestión a valor constante,

deflactando o llevando a valor presente según sea el caso). Esto último en contraposición a pesos corrientes conocido también como pesos nominales. (Ibarra 2000, Silva 2000, Fontaine 1999, 2009, FIRA 2011, Baca 2001).

3.2.2.6 Conceptos básicos de microeconomía

Los movimientos a lo largo de la curva de demanda son provocados por cambios en el precio (*seteris parivus*, permaneciendo “todo lo demás” constante), ver figura 3.5 (Ibarra 2000, Silva 2000, Fontaine 1999, 2009).

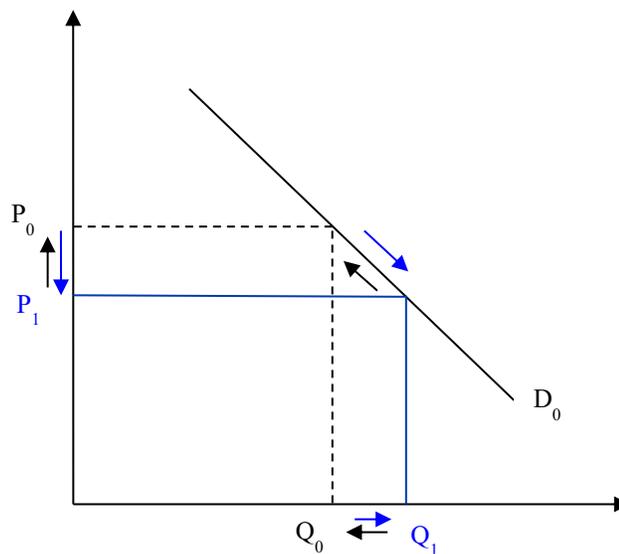


Figura 3.5 Movimientos a lo largo de la curva de demanda son provocados por cambios en el precio

En la figura 3.6 se muestran los movimientos a lo largo de la curva de oferta son inducidos por cambios en el precio (*seteris parivus*, permaneciendo “todo lo demás constante”) (Ibarra 2000, Silva 2000, Fontaine 1999, 2009).

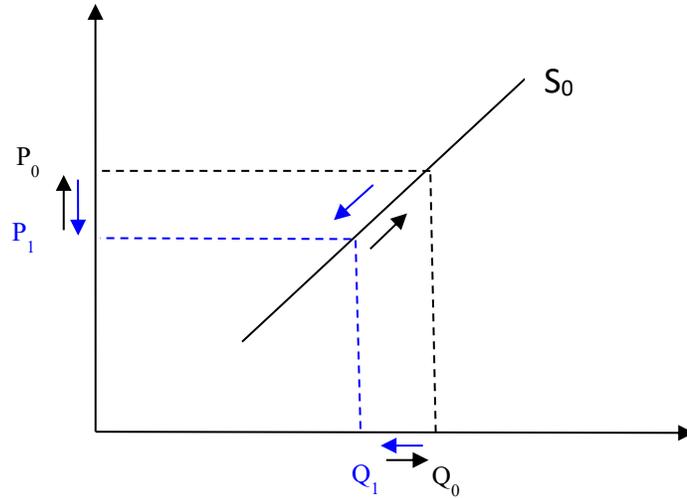


Figura 3.6 Movimientos a lo largo de la curva de oferta, provocados por cambios en el precio

En la figura 3.7 se muestra como los cambios en “todo lo demás”: tecnología, expectativas futuras, estructura de costos, número de productores, entre otros, salvo el precio dan lugar a movimientos de toda la curva de oferta (Ibarra 2000, Silva 2000, Fontaine 1999, 2000).

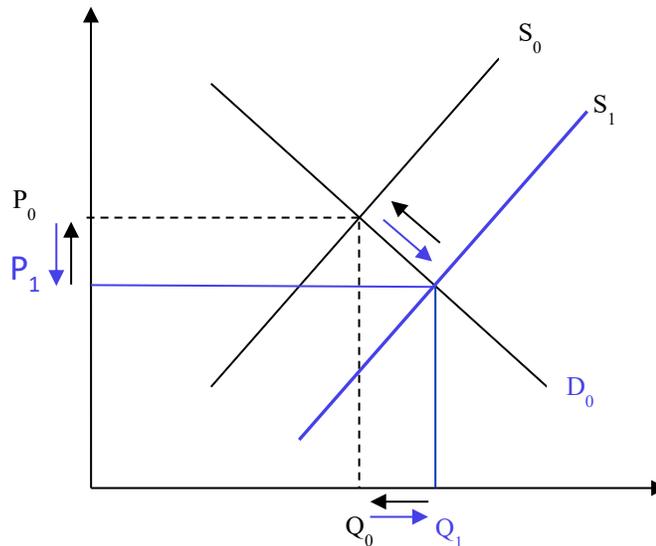


Figura 3.7 Cambios en todo lo demás, dan lugar a movimientos de toda la curva de oferta

Los incrementos en la oferta significan un costo social por mayor uso de recursos, y a la inversa una disminución de la oferta da lugar a un beneficio social por liberación de recursos.

En la figura 3.8 se muestra gráficamente como los cambios en “todo lo demás”: gustos y preferencias, ingreso disponible, expectativas futuras, entre otros, salvo el precio dan lugar a movimientos de la curva de demanda. Los incrementos en la demanda significan un beneficio social por mayor consumo, una disminución en la demanda se traduce en costo social por menor consumo (Ibarra 2000, Silva 2000, Fontaine 1999, 2009).

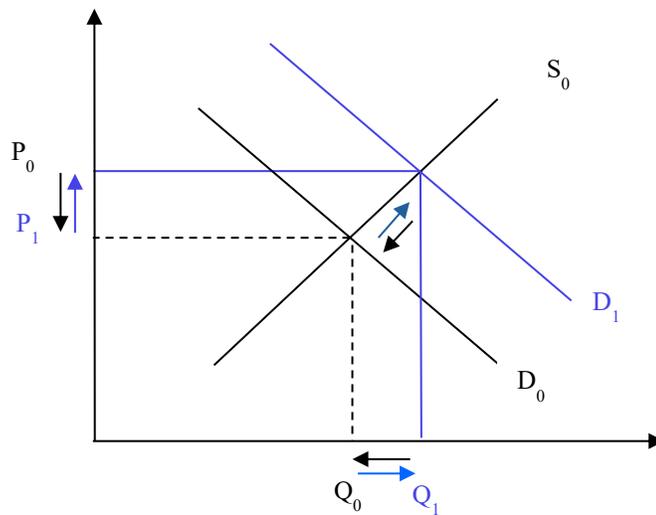


Figura 3.8 Cambios en todo lo demás provocan movimientos de toda la curva de demanda

Descrito en formas general, un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema tendente a resolver, entre muchas una necesidad humana. (Baca 2022).

El marco teórico en el que se sustenta la Evaluación Económica, es el denominado Análisis Beneficio-Costo o simplemente Análisis Económico de Proyectos. Este análisis determina los beneficios y costos asociados a los proyectos, obteniéndose a través de ellos los indicadores de rentabilidad: Punto de equilibrio (PE), Inversión Inicial total (IIT), Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Periodo de Recuperación de la Inversión Inicial (PRII), aplicable tanto a la evaluación financiera como económica de

los proyectos de inversión. El fundamento de la Evaluación Económica, radica en que los precios de mercado, determinantes de Ingresos y costos, no miden de forma adecuada los beneficios y costos económicos y por lo tanto acelera la necesidad de calcular los precios “reales” (precios sombra o de cuenta) de los productos, insumos, factores de la producción y servicios de los proyectos de inversión. (Silva 2000).

La diferencia entre los precios de mercado y los económicos, es decir entre los precios derivados del análisis desde la perspectiva privada y social, se debe a las distorsiones producidas por la existencia de impuestos, aranceles, subsidios, monopolios, precios máximos (mínimos), cuotas, entre otros. Estas distorsiones se incorporan a los valores de mercado, son absorbidas y percibidas por las unidades económicas, por tanto, consideradas en sus cálculos de beneficio y costo. La Evaluación Económica elimina estas distorsiones generando beneficios y costos económicos “reales”, es decir, beneficios y costos que gravitan sobre el bienestar de la sociedad. (Silva 2000, Fontaine 1999, 2009).

3.3 Material y Métodos

Las fuentes para la elaboración del documento son de carácter oficial relacionadas con el sector agropecuario en México. Padrón Nacional Acuícola, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), así como el Censo Agropecuario y la Encuesta Nacional Agropecuaria del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Se seleccionaron estas fuentes porque hacen uso de metodologías estandarizadas para la recolección de datos por municipio.

Para la obtención de información específica sobre productividad y rentabilidad de la actividad económica se complementó la información con números índice y estudios de instituciones de investigación nacional y extranjeras. Finalmente, se hicieron sondeos en las cadenas comerciales de venta al detalle en el municipio de Monterrey.

Con los datos recopilados se realizó: 1) estudio de mercado, oferta histórica y la oferta proyectada, así como la demanda histórica y demanda proyectada mediante el método de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados y el nivel de precios, 2) factibilidad técnica 3) factibilidad financiera, medida a través de los indicadores de rentabilidad (PE, IIT, VPN, TIR y PRII), finalmente, 4) los efectos socioeconómicos de realizar el proyecto.

3.4 Resultados

3.4.1 Mercado

3.4.1.1 Oferta mundial

En las últimas cuatro décadas la producción mediante acuicultura a nivel mundial ha tenido un crecimiento vertiginoso figura 3.9, sin embargo, el ritmo ha decrecido con cada década y se espera que producción se estabilicé en la década de los 2020's ligeramente por debajo del 2% anual (FAO 2018).

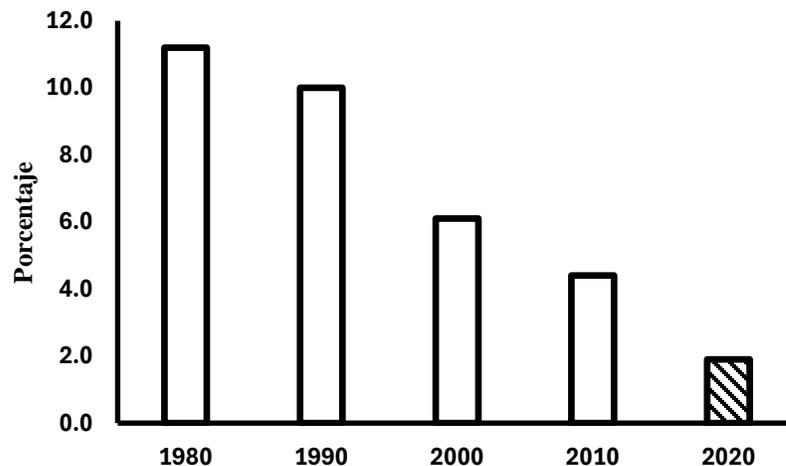


Figura 3.9 Tasa de crecimiento anual por década de la acuicultura a nivel mundial. Década de 2020's proyectado, fuente: FAO 2018

Entre las principales especies de aleta producidas mediante acuicultura se encuentran tres grupos de especies cultivadas en aguas continentales, de estas tres las carpas contribuyen con el mayor volumen, en 2022 aportaron 31'788,000 ton, lo que corresponde al 51.6% del total obtenido en agua interiores. Los bagres, mayormente *Pangasius spp*, alcanzaron 6'628,000 ton, 10.8% del total y los cíclidos dominados por la tilapia del Nilo, obtuvieron 6'549,000 ton equivalente al 10.6% del total producido. En conjunto, estos tres grupos; carpas, bagres y cíclidos aportan el 73% del total de la producción mundial en aguas continentales mediante acuicultura, si incluimos a los salmónidos al porcentaje de estos cuatro grupos rebasa el 83% (FAO 2024).

Tabla 3.1 Producción mundial mediante acuicultura de las principales especies de aleta, ordenadas de mayor a menor expresado en miles de toneladas elaboración propia con datos de FAO 2024

Especie	2018	2019	2020	2021	2022	2022
	Ton					(%)
Carpas	29,015	29,426	30,208	30,901	31,788	51.63
Bagres	5,782	6,286	6,092	6,199	6,628	10.77
Cíclidos	6,043	6,407	6,066	6,293	6,549	10.64
Salmónidos	3,517	3,812	3,996	4,205	4,243	6.89
Subtotal	46,375	47,950	48,382	49,619	51,230	83.21
Resto	8,189	8,404	9,299	9,983	10,337	16.79
Total	54,564	56,354	57,681	59,602	61,567	100

La producción de carpas en el periodo 2018 – 2022 pasó de 29’015,000 ton a 31’788,000 ton en tanto que la producción de bagres creció de 5’782,000 ton a 6’628,000 ton en este mismo lapso los cíclidos incrementaron su producción de 6’043,000 a 6’549,000 ton (SOFIA, 2024). Esto supone un crecimiento anual de 2.39% para carpas, 3.66% para bagres y un 2.09% para los cíclidos, este crecimiento promedio anual decreciente es parte importante de la tendencia estimada ya que son una componente significativa de la acuicultura a la fecha.

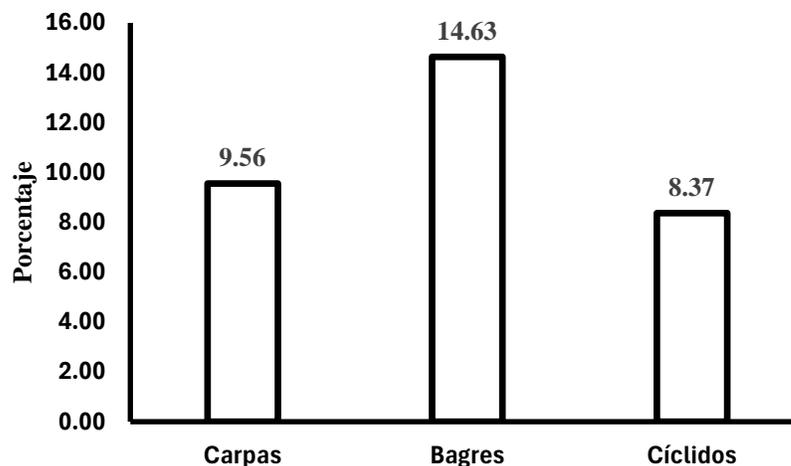


Figura 3.10 Tasa de crecimiento de las tres principales especies en acuicultura continental a nivel mundial, en el periodo 2018 - 2022, fuente: FAO 2024

La importancia de la producción obtenida mediante acuicultura de especies de agua dulce queda de manifiesto en la clasificación internacional estadística estándar de plantas y animales acuáticos, ISSCAAP por sus siglas en inglés, en la que la aportación mediante acuicultura corresponde al 83% en tanto que la contribución mediante captura es tan solo del 13%, además la carpa herbívora, la tilapia nilótica y la carpa plateada, se encuentran entre las principales cinco especies producidas en 2023 mediante acuicultura, solamente por debajo del camarón blanco y los ostiones (FAO 2024).

La oferta mundial de las tres principales especies obtenidas mediante acuicultura en aguas interiores está dominada por la región asiática, figura 3.11, en esta región se produjo un poco más de 83'399,000 toneladas, seguido por el continente americano que aportó alrededor de 4'958,000 ton, en este mismo ciclo Europa contribuyó con 3'503,000 ton en tanto que en África la oferta alcanzó un poco más de 2'317,000 toneladas, finalmente Oceanía aportó tan solo 235,000 ton.

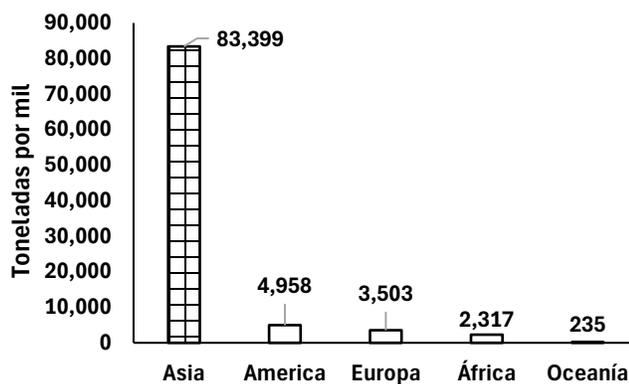


Figura 3.11 Producción mediante acuicultura a nivel global en 2022 por región o continente, elaboración propia con datos de FAO 2024

3.4.1.2 Principales países productores

La producción mundial de las principales especies obtenidas mediante acuicultura se encuentra dominada por los países asiáticos que en el 2022 aportaron un poco más del 88% de la producción, figura 3.12, siendo China el mayor productor, aportó 52'884,000 ton lo que corresponde al 63.41% del total producido por Asia, seguido de la India cuya producción ascendió a 10'230,000 ton 12.27% de la producción asiática, Indonesia y Viet-Nam produjeron ese mismo año 5'414,000 ton y 5'160,000 ton equivalentes a 6.49 y 6.19 % respectivamente. En conjunto estos cuatro países, figura 3.13, aportaron un total de 73'688,000 ton en 2022 lo que representó un 78.05 % de las 94'412,000 ton producidas a nivel global, cuando consideramos el resto de la producción de los países asiáticos en 2022, 83'399,000 ton, la aportación llega ser 88.34%.

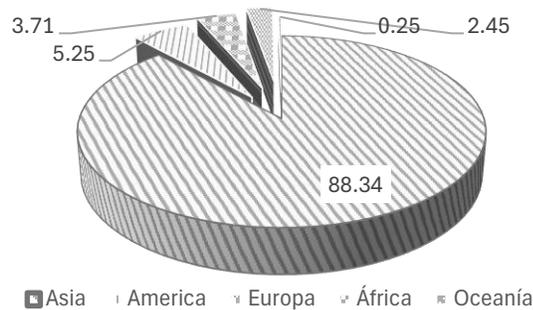


Figura 3.12 Principales regiones o continentes productores mediante acuicultura a nivel mundial en 2022 expresada en porcentaje, elaboración propia con datos de FAO 2024

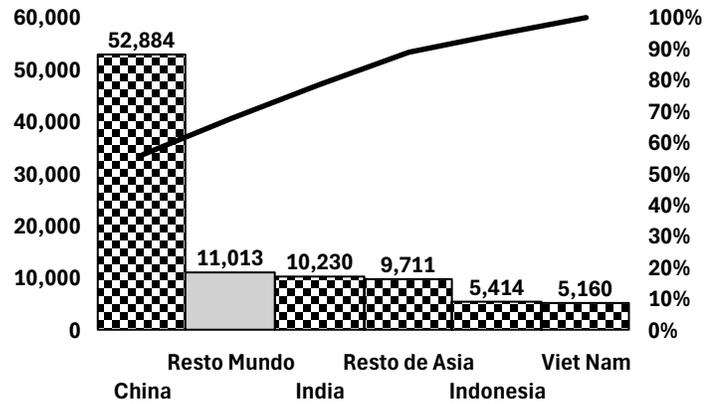


Figura 3.13 Principales países productores mediante acuicultura, expresado en toneladas y porcentaje acumulado, elaboración propia con datos de FAO, 2024

3.4.1.3 Oferta y demanda de filete de tilapia congelado

En el mercado internacional la organización mundial de aduanas desarrolló y le da mantenimiento a un sistema armonizado de seis dígitos (HS, harmonized system), Los primeros seis dígitos de un código HS están estandarizados globalmente lo que significa que todos los países que emplean el sistema HS utilizan el mismo código para sus productos. En este sistema, a los filetes de tilapia congelados corresponde el número 0304.61 (WCO 2025).

Los Estados Unidos emplea su propio sistema de diez dígitos para las importaciones, denominado catálogo de tarifas armonizado de los estados unidos (HTSUS, Harmonized Tariff Schedule of the United States). Los primeros seis dígitos de un número HTS corresponden al sistema HS del sistema global de aduanas para ese producto (WCO 2025).

Se puede encontrar el código HS para un producto en particular empleando el sitio de internet de tu país, la herramienta de base de datos de la organización mundial de aduanas o la DHL Express mi herramienta global de servicios de comercio, MyGTS, de sus siglas en inglés (WCO 2025).

Haciendo uso de la base de datos de la organización mundial de aduanas (WCO) se puede tener acceso a los HS, ver las actualizaciones más recientes al HS, dar seguimiento a la evolución de los códigos HS a través de las ediciones y comparar las diferentes ediciones de códigos HS o idiomas (WCO 2025).

El filete de tilapia congelado, mayormente *Oreochromis spp*, se posicionó en el lugar 2,639 de los productos más intercambiados de un total de 5,198 productos intercambiados. En total, el mercado de este bien ascendió a 709 mil millones de dólares, lo cual representa un descenso en el ciclo 2023 de -25.4% en comparación con el año anterior en el que se mercaron 905 mil millones de dólares. El volumen comercializado de filetes congelado en el 2023 representa el 0.0031% del total de bienes intercambiados en el mercado global y está rankeado en el 4,564^{avo} lugar en el PCI (Product Complexity Index) de sus siglas en inglés, este índice compara el riesgo y el valor estratégico de las oportunidades potenciales de exportación de un producto. La afinidad en el índice de complejidad es predictiva de la probabilidad de que un país incremente sus exportaciones. La complejidad está asociada con un mayor nivel de ingresos, crecimiento potencial, menor inequidad en la distribución del ingreso y menores emisiones. (OEC 2023).

En el mercado internacional la oferta y demanda de filete congelado de tilapia es dinámico, en las figuras 3.14 a la figura 3.18 se muestra la oferta y demanda en función al precio para el periodo 2018 - 2022 sin considerar otros factores.

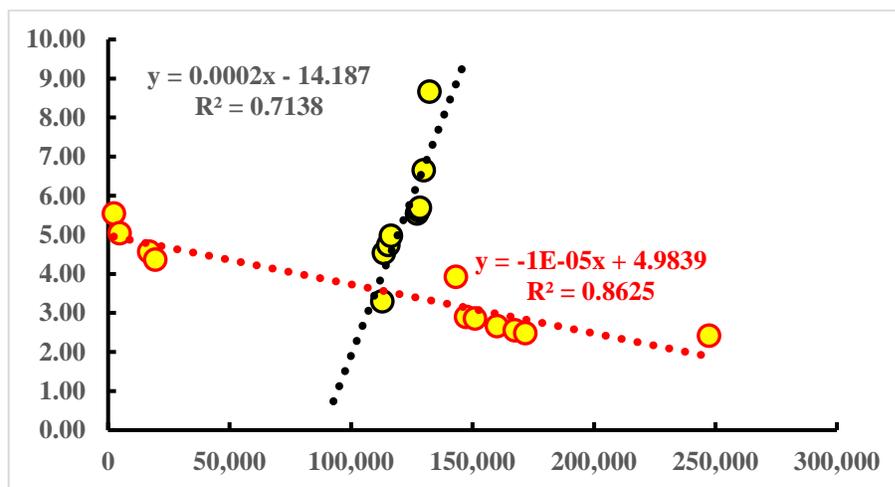


Figura 3.14 Oferta y demanda de filete congelado de tilapia en función del precio sin considerar otros factores año 2018, elaboración propia con datos de fishStat, 2025

En 2018, figura 3.14, los principales países oferentes fueron China, que participó con 112,729 toneladas, Indonesia 10,797 ton, Taiwán, Países bajos, México, Vietnam, Honduras, Malasia, y Alemania.

Los principales demandantes en 2018, corresponden en orden descendente a: Estados Unidos, el mayor importador, 123,752 ton, seguido de México que en ese mismo año importó 75,000 ton, Israel, Federación Rusa, Costa rica, Colombia, Perú, España, Alemania, Países Bajos y Canadá.

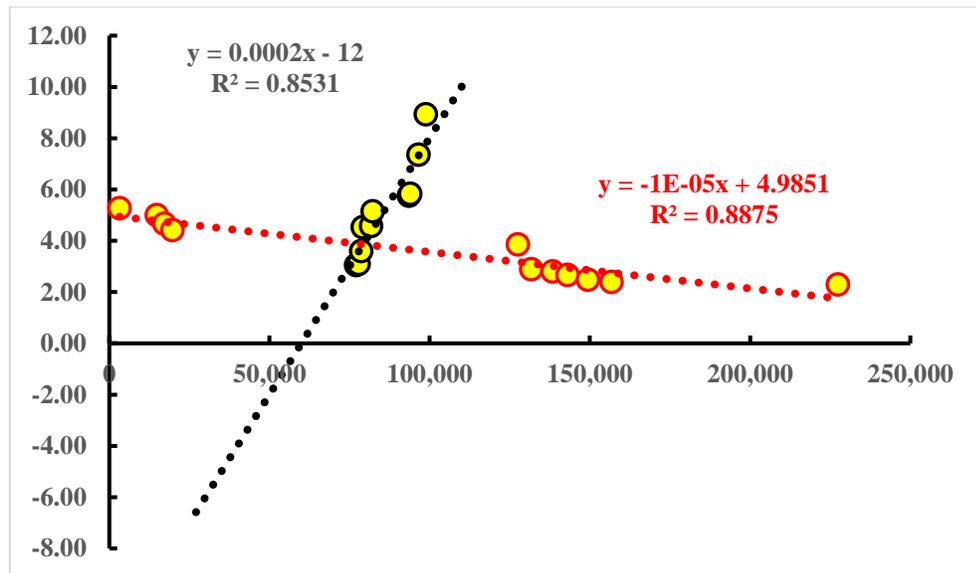


Figura 3.15 Oferta y demanda de filete congelado de tilapia en función del precio sin considerar otros factores año 2019, elaboración propia con datos de fishStat, 2025

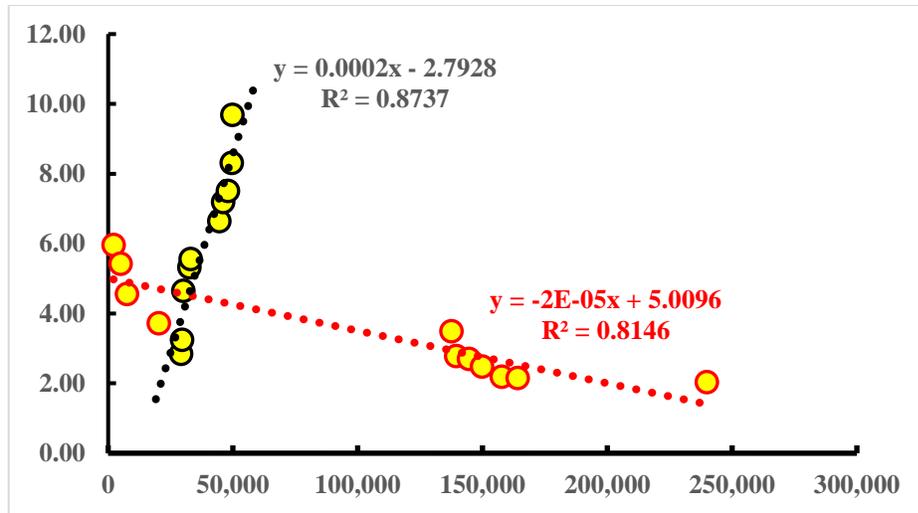


Figura 3.16 Oferta y demanda de filete congelado de tilapia en función del precio sin considerar otros factores año 2020, elaboración propia con datos de fishStat, 2025

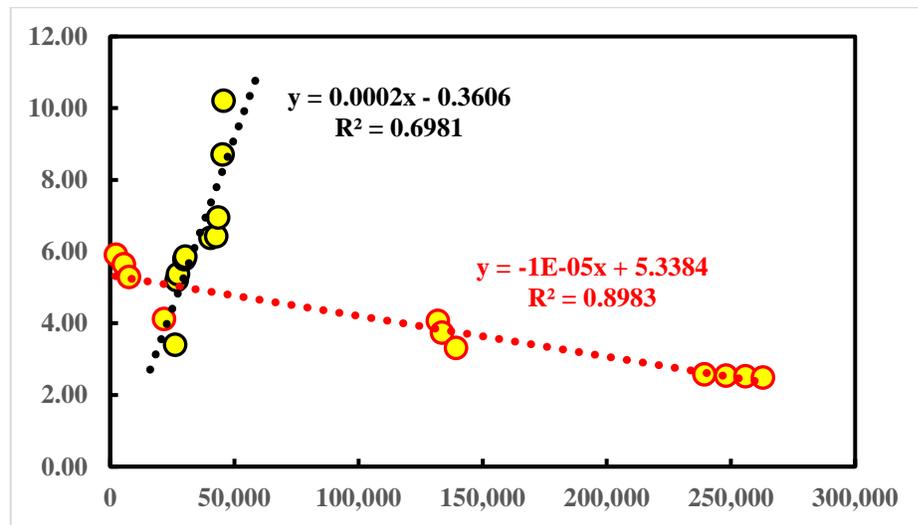


Figura 3.17 Oferta y demanda de filete congelado de tilapia en función del precio sin considerar otros factores año 2021, elaboración propia con datos de fishStat, 2025

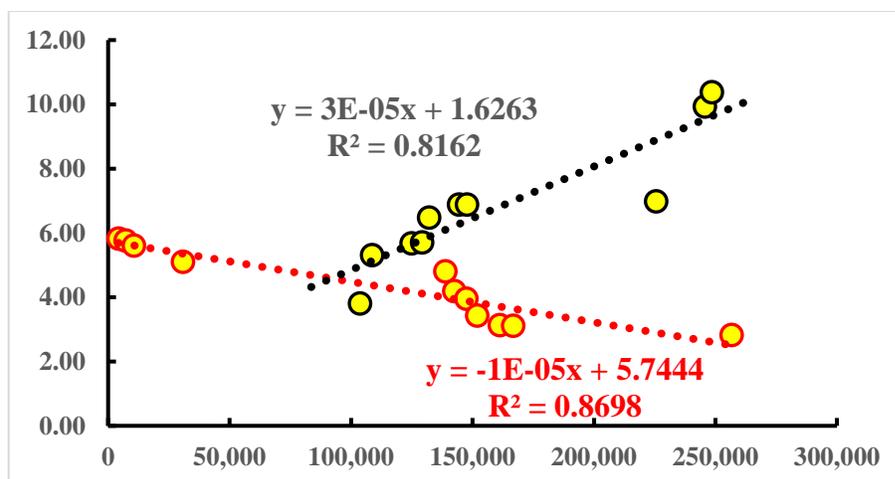


Figura 3.18 Oferta y demanda de filete congelado de tilapia en función del precio sin considerar otros factores año 2022, elaboración propia con datos de fishStat, 2025

Los principales países importadores de filetes congelados de tilapia en el periodo 2018 - 2022, mayormente *Oreochromis spp*, fueron Estados Unidos, México e Israel en tanto que los principales exportadores fueron China, Taiwán (provincia de China) e Indonesia, ver tablas 3.2 a 3.5, también destacan las exportaciones de tilapia China vía Vietnam, siendo éste el principal productor de *Pangasius spp*, (fishStat 2025).

Tabla 3.2 Principales importadores de filete de tilapia congelado en el periodo 2018 – 2022 obtenidos mayormente mediante acuicultura expresado en toneladas, elaboración propia con datos de la base de datos de fishStat, 2025

País	Toneladas				
	2018	2019	2020	2021	2022
Estados Unidos	123,752	107,893	117,300	110,315	108,103
Mexico	75,652	70,632	75,815	99,946	89,869
Israel	12,242	11,571	12,744	14,106	20,159
Costa Rica	7,437	7,362	7,931	8,824	9,237
Colombia	4,259	6,429	6,325	7,712	5,516
Subtotal	223,342	203,888	220,114	240,903	232,885
Resto del mundo	50,655	47,482	41,380	43,468	45,818
Total global	273,997	251,370	261,495	284,371	278,702

Tabla 3.3 Principales importadores de filete de tilapia congelado en el periodo 2018 – 2022 obtenidos mayormente mediante acuicultura expresado en USDX1000, elaboración propia con datos de la base de datos de fishStat, 2025

País	USDX1000				
	2018	2019	2020	2021	2022
Estados Unidos	486,386	416,284	409,876	449,544	519,564
México	183,402	162,276	154,893	258,066	254,752
Israel	56,052	57,862	47,428	58,268	103,020
Costa Rica	19,078	17,650	17,389	22,508	29,016
Canadá	12,678	16,826	15,695	18,226	24,677
Subtotal	757,596	670,897	645,282	806,611	931,028
Resto del mundo	168,444	156,505	133,933	157,445	188,972
Total global	926,040	827,402	779,215	964,056	1,120,000

Tabla 3.4 Principales exportadores de filete de tilapia congelado en el periodo 2018 – 2022 obtenidos mayormente mediante acuicultura expresado en toneladas, elaboración propia con datos de la base de datos de fishStat, 2025

País	2018	2019	2020	2021	2022
	toneladas				
China	135,189	109,243	92,070	78,835	74,784
Taiwan	19,258	21,631	24,268	20,730	17,298
Viet Nam	9,887	8,155	7,707	8,631	8,058
Brazil	23	86	635	2,979	4,835
India	2,608	1,863	1,375	4,679	4,683
Subtotal	166,965	140,978	126,055	115,853	109,658
México	132	3.98	19.4	104.98	157.65
Resto del mundo	22,432	20,886	30,315	22,653	16,254
Global	189,529	161,868	156,390	138,611	126,069

Tabla 3.5 Principales exportadores de filete de tilapia congelado en el periodo 2018 – 2022 obtenidos mayormente mediante acuicultura expresado en USDX1000, elaboración propia con datos de la base de datos de fishStat, 2025

	2018	2019	2020	2021	2022
País					
	USD (\$)				
China	372,198	235,479	82,956	89,001	103,574
Indonesia	59,944	65,339	76,036	64,664	77,798
Taiwan	20,524	19,811	12,473	15,711	20,130
Netherlands	9,108	11,521	13,137	14,840	16,253
Honduras	2,962	1,891	11,206	14,383	12,383
Subtotal	464,736	334,041	195,809	198,598	230,137
México	10,169	18,972	14,632	5,501	1,760
Resto del mundo	35,530	41,270	34,137	32,313	33,039
Global	500,266	375,311	229,946	230,911	263,176

3.4.1.4 Oferta Nacional

De manera semejante el mercado y consumo de tilapia en México ha evolucionado, en el periodo comprendido de 2002 a 2012 la producción osciló entre 61,516 y 76,986 ton, $X_{media} = 69,744$ ton, $S = +/- 4,813$ ton figura 3.19.

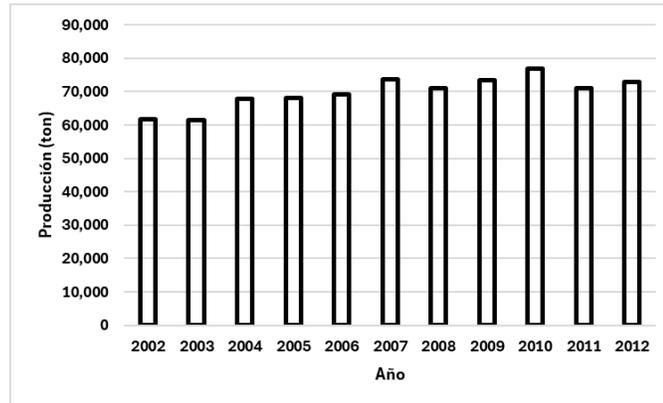


Figura 3.19 Producción Nacional de tilapia en el periodo 2002 - 2012, elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2023

El nivel de producción cambió a partir de 2013, ascendió a 96,827 ton y a partir de ese año la producción nacional continuó creciendo hasta llegar a un máximo de 152,840 toneladas en 2016 para posteriormente descender a un mínimo de 45,064 toneladas en 2021 y ascender nuevamente de manera gradual al nivel del año 2002. La producción promedio en el periodo 2012 – 2023 fue de, $X_{media} = 101,688$ ton, $S = +/- 37,901$ ton, figura 3.20.

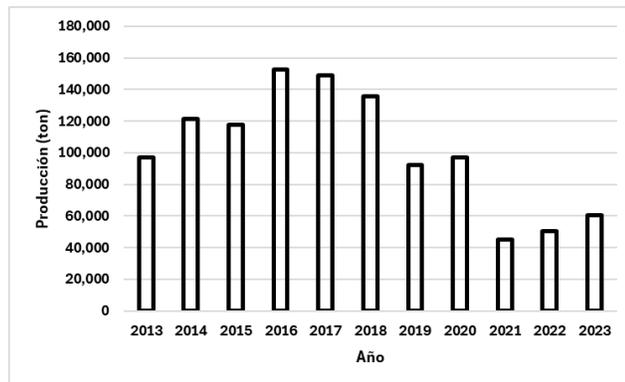


Figura 3.20 Producción Nacional de tilapia en el periodo 2013 - 2023, elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2023

Tabla 3.6 En esta tabla se muestran los cinco mayores productores de tilapia por estado ordenados de mayor a menor en el periodo 2014 - 2019. Elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2023

2014			2015			2016		
Estado	ton	%	Estado	ton	%	Estado	ton	%
Jalisco	26,753	20.76	Jalisco	32,039	23.71	Jalisco	36,879	20.16
Chiapas	23,938	18.58	Chiapas	29,136	21.56	Chiapas	36,079	19.72
Michoacan	15,599	12.10	Michoacan	12,178	9.01	Michoacan	27,497	15.03
Veracruz	13,393	10.39	Sinaloa	10,710	7.93	Sinaloa	17,174	9.39
Sinaloa	11,114	8.62	Nayarit	10,319	7.64	Nayarit	13,248	7.24
Subtotal	90,797	70.46	Subtotal	94,382	69.85	Subtotal	130,877	71.54
Otros estados	38,069	29.54	Otros estados	40,747	30.15	Otros estados	52,075	28.46
Total Nacional	128,866	100.00	Total Nacional	135,129	100.00	Total Nacional	182,952	100.00
2017			2018			2019		
Estado	ton	%	Estado	ton	%	Estado	ton	%
Jalisco	39,538	21.98	Jalisco	35,887	21.32	Chiapas	33,184	29.33
Chiapas	26,759	14.87	Chiapas	28,230	16.77	Sinaloa	17,215	15.21
Michoacan	25,873	14.38	Michoacan	17,615	10.46	Jalisco	16,982	15.01
Sinaloa	16,172	8.99	Sinaloa	17,553	10.43	Nayarit	11,414	10.09
Nayarit	14,239	7.91	Nayarit	14,292	8.49	Michoacan	7,446	6.58
Subtotal	122,581	68.13	Subtotal	113,577	67.46	Subtotal	86,241	76.22
Otros estados	57,338	31.87	Otros estados	54,782	32.54	Otros estados	26,908	23.78
Total Nacional	179,919	100.00	Total Nacional	168,359	100.00	Total Nacional	113,149	100.00

Los principales estados productores: Jalisco, Chiapas Sinaloa y Michoacán siempre se mantuvieron entre los cinco principales productores, el estado de Veracruz solamente apareció entre los principales productores en 2014 año en el que Nayarit no figuró. La aportación de estos cinco estados osciló entre el 68.18 y el 76.2 % de la producción nacional en el periodo 2014 – 2019.

El pico de la producción en el periodo se alcanzó en 2016, año en el que Jalisco y Chiapas aportaron alrededor de la misma cifra; 36,879 y 36,079 toneladas respectivamente. Mientras que en Jalisco la producción provino de un número grande de pequeños productores, en Chiapas, esta se debió mayormente a una sola empresa en la cual se tiene una sala de alevinaje tecnificada, pre engorda con biofloc y planta de proceso para la obtención de filete fresco y congelado rápido individual. Adicionalmente del subproducto del fileteado obtienen harina y aceite de pescado. Su eje a lo largo de más de 40 años le permitió consolidar el mercado de filete en Estados Unidos impulsando la oferta y abasteciendo la creciente demanda (Regal Springs 2013).

Tabla 3.6 En esta tabla se muestra a los cinco mayores productores de tilapia por estado ordenados de mayor a menor para el periodo 2020 - 2023. Elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2023

2020			2021		
Estado	ton	%	Estado	ton	%
Chiapas	38,733	33.75	Chiapas	24,801	32.11
Jalisco	13,283	11.57	Nayarit	10,105	13.08
Nayarit	15,668	13.65	Jalisco	10,260	13.28
Sinaloa	13,701	11.94	Tabasco	7,003	9.07
Michoacan	6,669	5.81	Sinaloa	3,154	4.08
Subtotal	88,054	76.72	Subtotal	55,323	71.62
Otros estados	26,715	23.28	Otros estados	21,922	28.38
Total Nacional	114,769	100.00	Total Nacional	77,245	100.00

2022			2023		
Estado	ton	%	Estado	ton	%
Chiapas	13,558	20.21	Chiapas	13,159	16.94
Nayarit	12,612	18.80	Nayarit	12,792	16.47
Jalisco	8,679	12.94	Jalisco	10,634	13.69
Sinaloa	7,700	11.48	Sinaloa	9,682	12.46
Veracruz	7,497	11.18	Veracruz	8,864	11.41
Subtotal	50,046	74.60	Subtotal	55,131	70.97
Otros estados	17,038	25.40	Otros estados	22,556	29.03
Total Nacional	67,084	100.00	Total Nacional	77,687	100.00

En este periodo, 2020 - 2023 se acentuó la tendencia descendente que inició en el año 2017, agravándose por la declaratoria de pandemia a causa del virus COVID 19 en el año 2020 y la pronunciada escasez de agua hasta llegar a un mínimo de 67,084 toneladas en el año 2022. Los niveles de producción no se han recuperado permanecen en los niveles previos al año 2012.

La incertidumbre que prevalece actualmente en el mercado internacional hace difícil hacer planes de exportación al mercado de nuestro principal socio comercial, al menos en los próximos cuatro años que se prevé se acentúen las medidas proteccionistas.

Por ende, fortalecer el mercado interno, la producción y el consumo nacional, como estrategia de desarrollo regional y medida para garantizar la seguridad alimentaria es una medida conveniente ya que actualmente la producción de tilapia es complementada con importaciones que provienen del mercado de excedentes para satisfacer la demanda interna, de acuerdo con el anuario estadístico de acuicultura y pesca 2023, en México, las importaciones de tilapia ascendieron a \$473'649,000 dólares en el año 2022. En general existe una demanda histórica insatisfecha que se complementa con importaciones figura

3.21. Aunque esta decreció en los años 2021 y 2022, en base a estos datos, es posible proyectar un decremento en la demanda potencial insatisfecha.

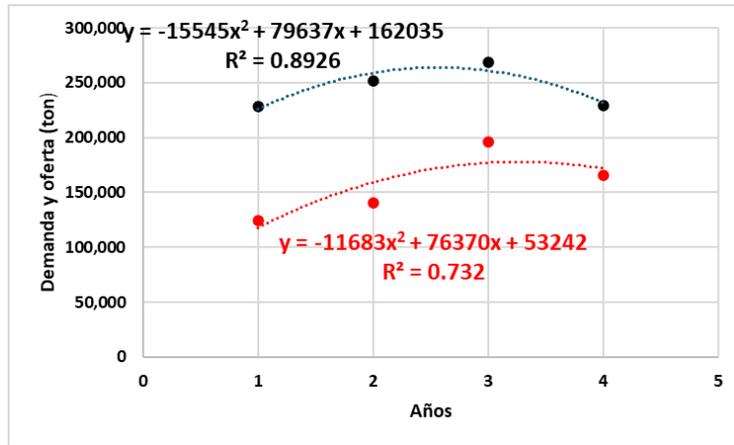


Figura 3.21 Demanda histórica insatisfecha de mojarra (tilapia) en México expresada en toneladas, elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2022

Sin embargo, las importaciones de filete congelado que provienen de China, figura 3.22, aunque menores siguen siendo altas.

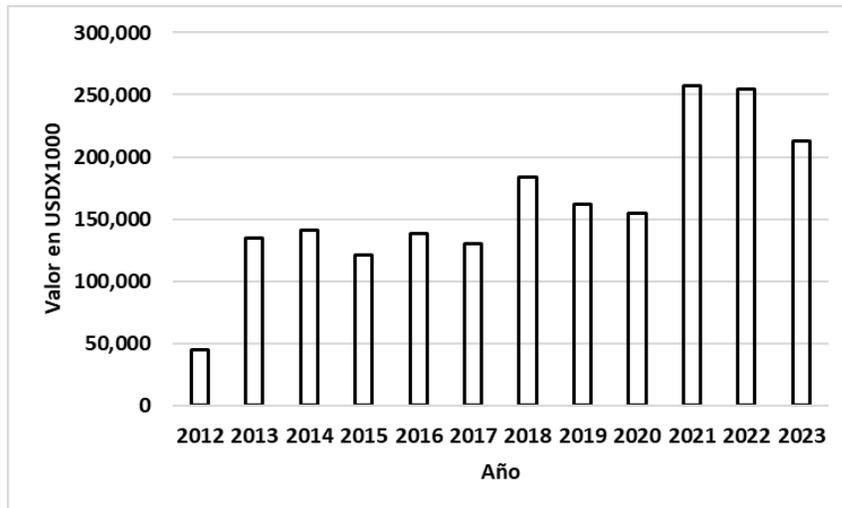


Figura 3.22 Importaciones de filete de tilapia (mojarra) en USDX1000, elaboración propia con datos de secretaría de economía, DATA MÉXICO

3.4.1.5 Oferta Nuevo León

El estado de nuevo León ocupa la penúltima posición en producción de tilapia a nivel nacional, esto a pesar de que Monterrey y su área metropolitana es uno de los centros de mayor consumo en el país en conjunto con Guadalajara y la Cd, de México.

En el periodo 2014 – 2023 la producción estatal de tilapia sumó 2,111 toneladas, en contraste en México a nivel nacional en ese mismo periodo la producción ascendió a 1'021,742 toneladas, lo que representó en el periodo en cuestión una participación de 0.207 % de la producción nacional tabla 3.6.

Tabla 3.7 Producción estatal de tilapia en el estado de Nuevo León en el contexto nacional para el periodo 2014 – 2023, elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2023

año	Nacional	Nuevo León	%
	(ton)	(ton)	
2014	121,529	72	0.059
2015	117,806	133	0.113
2016	152,840	164	0.107
2017	149,095	204	0.137
2018	135,571	217	0.160
2019	92,297	437	0.473
2020	96,977	252	0.260
2021	45,064	225	0.499
2022	50,186	312	0.622
2023	60,377	95	0.157
Σ	1,021,742	2,111	
X_{media}	102,174	211	0.259
Desv est	39,915	108	0.198

3.4.1.6 Demanda en Nuevo León mediante números índice

En México el consumo per cápita anual de peces y mariscos, figura 3.22, ha crecido por periodos. En el lapso comprendido entre 1973 y 1977 el consumo fluctuó entre 3.75 - 4.30 kg, en los siguientes cuatro años el consumo se elevó de manera constante hasta alcanzar un máximo de 10.90 kg.

A partir de 1982 el nivel de consumo nacional aparente per cápita anual se mantuvo en $X_{media} = 9.12$ kg y $S = \pm 0.79303$ en el periodo de 1982 -2013. Posteriormente, en el periodo que abarca de 2014 a 2022 el consumo promedio per cápita anual fue $X_{media} = 12.2$ kg con una desviación estándar $S = \pm 0.659238$ y máximo histórico de 13.13 kg

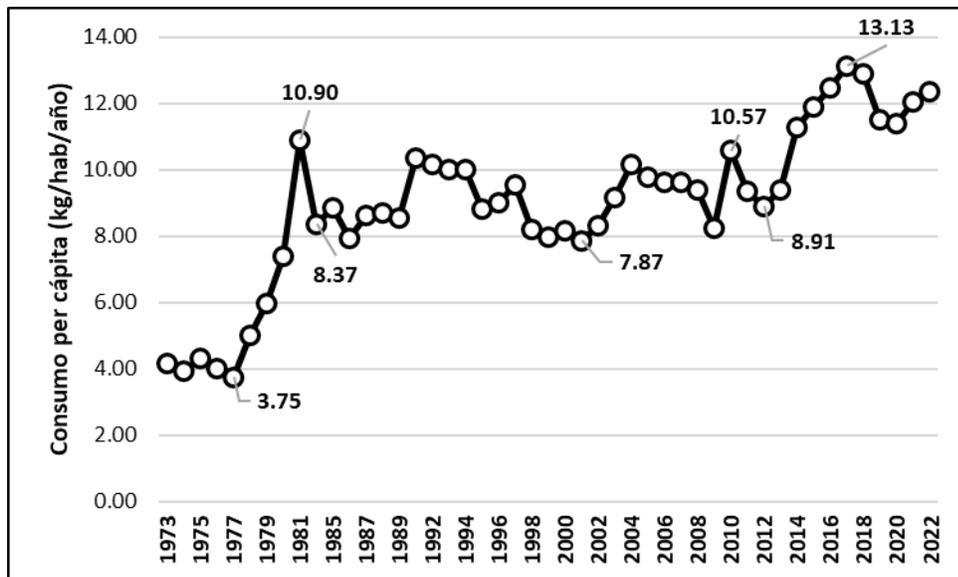


Figura 3.23 Consumo nacional aparente anual de peces y mariscos por habitante expresado en kg, elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2023

Sin embargo, en el estado de Nuevo León, en entrevista concedida a García, N. (26/03/2018). Buscan Impulsar Acuicultura en Nuevo León. *MILENIO*

“De acuerdo a Virgilio Bucio, delegado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en Nuevo León, el consumo per cápita de productos pesqueros en la entidad ronda entre los 3 y 6 kilos anuales, mientras en comparación, el de consumo de carne ronda los 30 kilos per cápita por año”

De acuerdo al Anuario Estadístico de acuicultura y Pesca correspondiente a cada año el consumo Nacional aparente de mojarra en el periodo 2019 – 2022 osciló entre 1.77 y 2.08 kg/habitante /año, en promedio en el periodo de 1.91 kg/habitante/año, tabla 3.7.

Tabla 3.8 Consumo Nacional Aparente de mojarra en el periodo 2019 – 2022, elaboración propia con datos del Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2022

año	Consumo	
	(ton)	(kg/hab/año)
2019	228,561	1.81
2020	251,827	1.97
2021	268,343	2.08
2022	229,429	1.77

En el caso del estado de Nuevo León la demanda potencial insatisfecha queda definida por el producto del número de habitantes en el estado y el consumo promedio per cápita anual en México aproximadamente a 11,000 toneladas anuales, dado que la producción estatal es insignificante en relación al consumo.

3.4.2 Factibilidad técnica

El modelo propuesto para producir tilapia en el noreste de México, figura 3.22, se diseñó considerando las mejores prácticas entre los sistemas de recirculación reportadas en la literatura científica y los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio húmedo de la facultad de ciencias biológicas, el cual se describe a continuación.

La ingeniería básica del sistema de recirculación consta de las siguientes unidades de proceso: cámara de peces, unidad de sedimentación primaria para recuperación de sólidos, cámara de sedimentación secundaria y filtro biológico a base de grava con sistema reciprocante de llenado y vaciado, un resumidero que funciona como cámara de sedimentación terciaria y oxigenación. A partir de aquí una bomba de agua sumergible eleva el caudal y se divide en dos, una parte se deriva a la cámara de peces y otra a las canaletas para producción de hortalizas. Finalmente, el agua retorna por gravedad al resumidero figura 3.22, cerrando el circuito hidráulico lo que permite el uso de una sola bomba para recircular el agua.

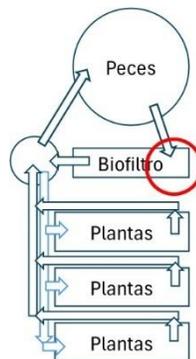


Figura 3.24 Unidades de proceso del sistema de recirculación propuesto para cultivo de tilapia

3.4.3 Factibilidad Financiera

A continuación, se presenta el resultado de la inversión en una unidad modelo, considerando tres escenarios diferentes; optimista, conservador y pesimista, el escenario 1 es el escenario optimista. En los tres escenarios se llega a producir a plena capacidad a partir del cuarto año, y solo en el escenario 1 se logra, en el horizonte de evaluación del proyecto, producir a la capacidad de diseño. En los escenarios dos y tres la producción plena se logra a partir del cuarto año, sin alcanzar a producir a la capacidad de diseño, esta solamente alcanza el 79 y el 51% en el escenario dos y tres respectivamente.

Tabla 3.9 Nivel de producción en el horizonte de evaluación del proyecto. A partir del cuarto año se alcanza la producción plena

Año	Fracción
1	0.70
2	0.80
3	0.90
4	1.00
5	1.00

Tabla 3.8 Escenarios optimista, conservador y pesimista en la que se muestran los flujos netos de efectivo descontados, periodo de recuperación de la inversión inicial total y el valor presente neto de la inversión

AÑO	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
	FNEd	VPN	FNEd	VPN	FNEd	VPN
0						
1	\$573,976	(\$1,248,251)	\$478,129	(\$1,294,078)	\$382,282	(\$1,339,905)
2	\$618,842	(\$629,409)	\$515,503	(\$778,575)	\$412,164	(\$927,742)
3	\$656,790	\$27,381	\$547,114	(\$231,461)	\$437,438	(\$490,304)
4	\$688,459	\$715,841	\$573,495	\$342,034	\$458,530	(\$31,773)
5	\$649,490	\$1,365,331	\$541,033	\$883,066	\$432,576	\$400,802

Tabla 3.9 Tasa interna de retorno de los tres escenarios de inversión

	Escenario		
	1	2	3
TIR	28.70556%	21.65328%	13.65275%
0	(\$1,822,227)	(\$1,772,207)	(\$1,722,187)
1	\$472,718	\$416,608	\$356,541
2	\$419,756	\$391,377	\$358,527
3	\$366,904	\$361,929	\$354,890
4	\$316,747	\$330,566	\$346,954
5	\$246,102	\$271,728	\$305,275
VP	\$1,822,227	\$1,772,207	\$1,722,188
VPN	\$0	\$0	\$0

3.5 Discusión

Producir tilapia en el noreste de México como estrategia regional para contribuir a satisfacer la demanda requiere de un nuevo modelo de producción que optimice el uso de agua, suelo y energía.

Actualmente se cultiva tilapia en los 31 estados de la República Mexicana en sistemas: extensivo, intensivo y semi-intensivo. La clasificación en cada uno de estos sistemas depende de la densidad de la siembra. Su producción se destina principalmente a la repoblación de embalses y al consumo humano, para lo cual se comercializa a pie de granja, en mercados y restaurantes locales.

Para satisfacer la demanda de las grandes ciudades, se importa tilapia congelada de China principalmente como filete congelado. En la región Noroeste de México, la producción y el procesamiento de tilapia tiene capacidad de generar subproductos equivalentes al 35% del peso de los organismos, los cuales pueden ser aprovechados en sistemas controlados.

La acuaponía permite producir peces y plantas de manera eficiente con un mínimo consumo de suelo y agua la cual se recircula, esta agua, rica en nutrientes se aprovecha para producir plantas de manera eficiente. En gran medida los sistemas reciprocantes de vaciado y llenado de las camas de grava en donde se alojan las plantas permiten que estas siempre estén en su capacidad de campo, nunca llegan al punto de marchitez por exceso o falta de humedad. Además, no se presentan las enfermedades asociadas al suelo pues no están en contacto con este como es el caso de algunos sistemas de invernadero para producción de plantas.

El sistema tiene dos entradas de energía: en forma de alimento y de electricidad. El alimento consumido es transformado parcialmente por los peces en biomasa y otra fracción en heces. La porción de alimento no consumido y heces en función de la turbulencia del agua en la cámara de peces, de su densidad y granulometría, se dispersa en la columna de agua y otra parte se sedimenta.

Idealmente todo el alimento no consumido en el tanque de peces figura 3.24, así como las heces deberán ser transportados a la cámara de sedimentación primaria y a las canaletas, ya que el alimento y heces que se sedimenta en el tanque de peces forma regiones

anaeróbicas en las que se producen: el complejo $\text{NH}_3/\text{NH}_4^{+1}$ (amoníaco/ion amonio), H_2S (ácido sulfhídrico) CH_4 (metano), y CO_2 (anhidrido carbónico), de estos, el ácido sulfhídrico y el complejo amoníaco ion amonio son altamente tóxicos para los peces, en particular la forma no ionizada del complejo amoníaco/ion amonio ya que es capaz de atravesar las membranas celulares.

El sedimento recuperado de las canaletas y diluido se alimenta a un reactor anaeróbico para producir energía química en forma de metano, el más simple de los hidrocarburos alcanos, en el proceso también se recupera CO_2 al cual se pueden dar diversos usos.

Los sólidos finamente divididos no sedimentables, si no se eliminan de la columna de agua, además de producir gases tóxicos, son colonizados por bacterias y otro tipo de saprófitos, aceleran el consumo de oxígeno disuelto, llegando a reducirlo a niveles que los peces no pueden tolerar ocasionando estrés y posteriormente un debilitamiento que los hace propensos a enfermedades y eventualmente la muerte.

Los gases producidos no se disipan a la atmósfera a una velocidad razonable debido a la columna de agua que los cubre y a la reducida superficie de contacto de esta con la atmósfera. Los gases permanecen disueltos por tiempo indefinido y acaban por ocasionar problemas de salud a los peces.

En cambio, en las canaletas con lecho de grava se desarrollan varios procesos deseables: mecánicos, fisicoquímicos y biológicos. Las canaletas de grava, funcionan como cámara de sedimentación eliminando de manera eficaz los sólidos en suspensión de la columna de agua, incluso aquellos finamente divididos que por su tamaño y características eléctricas se comportan como coloides, con lo cual hace también la función de clarificador. Estos sólidos sedimentados y precipitados se acumulan en el fondo de la canaleta en donde se desarrollan condiciones anaeróbicas en una fina capa de aproximadamente 5 cm. de profundidad, aquí se establecen las condiciones para que las bacterias mineralicen los restos de alimento no consumido y heces, transformándolos en compuestos inorgánicos biológicamente disponibles para las plantas.

CONCLUSIONES

Técnicamente es factible producir tilapia en el noreste de México mediante sistemas de recirculación de agua en acuaponía, esto permite que los subproductos de deshecho pasen de ser un pasivo, derivado de los costos que implica tratar los desechos contaminantes, a ser un activo, el cual se obtiene de transformar estos desechos en fertilizantes altamente disponibles para las plantas.

El uso de invernaderos para las plantas las protege de plagas y enfermedades, mantiene las condiciones óptimas de temperatura y humedad relativa con lo que se logra calidad y rendimientos superiores de cosecha en comparación con los métodos tradicionales de producción a cielo abierto, igualmente la estructura protege a los peces de depredadores, aves y mamíferos entre otros.

La inversión inicial total de cada proyecto es específico, hecho a la medida del productor, depende de la situación financiera inicial y su aversión al riesgo. Sin embargo, existe un mínimo de inversión no negociable definido por el punto de equilibrio.

El sistema propuesto es modular, lo que permite proyectar el crecimiento a mediano y largo plazo en función de la demanda potencial insatisfecha proyectada. Por otro lado, la capacidad instalada de un módulo determinado tiene la flexibilidad para operar dentro de ciertos rangos manejando densidades de siembra, tanto de peces como de hortalizas.

El sistema facilita la recuperación de los sólidos en suspensión para la producción metano el cual, usado como combustible, mejora los flujos netos de efectivo. De igual manera, de los subproductos del fileteado de pescado la obtención de hidrolizados hace más robusta la recuperación de la inversión al disminuir la palanca operativa.

PERSPECTIVAS

Desde que se publicaron los primeros trabajos sobre acuaponía (Rakocy 1990, 2012) para producir tilapia y hortalizas desarrollado a lo largo de 30 años de investigación siendo director de la Universidad de las Islas Vírgenes ha habido importantes avances y muchas interrogantes por resolver.

El modelo propuesto (Rakocy et al. 1997, 2000, 2012) conocido como el sistema de las Islas vírgenes hace uso de camas de agua profunda, con balsas flotantes, sin embargo, existen al menos otros dos sistemas bien definidos: película delgada de nutrientes en el cual se emplean tubos de cloruro de polivinilo para desarrollar las plantas y camas de lecho de grava como las del modelo propuesto.

El modelo de las Islas vírgenes requiere de inyectar air obligadamente vía sopladores para mantener los niveles de oxígeno disuelto debido a que las placas de poliestireno cubren el espejo de agua impidiendo el intercambio gaseoso (balsas flotantes). Además, la agitación vigorosa controla a los anfípodos y ostrácods que se alimentan del sistema radicular, no hacerlo lleva a la destrucción total del mismo.

En el sistema película delgada de nutrientes, se hace pasar una delgada película de agua rica en nutrientes proveniente de la cámara de peces, semejante a la hidroponía, lo que permite el intercambio gaseoso indispensable para el sistema radicular. En este método se presentan variaciones de temperatura más amplias, es menos resiliente termodinámicamente. Normalmente se recomienda para climas estables, templados para producción de lechugas y espinacas, es un área de oportunidad para investigar otras posibilidades.

El sistema, camas de lecho de grava, permite desarrollar con mucha facilidad todo tipo de plantas, sin embargo, es el sistema en el que hay una mayor evapotranspiración debido a la enorme relación superficie-volumen de agua cuando se vacía a canaleta. Se han propuesto diseños para recuperar el condensado del techo del invernadero y es un área de interés por desarrollar de manera viable económicamente.

La acuaponía es un sistema multitrófico que emula lo que sucede en la naturaleza. Son necesarias mejoras en las relaciones adecuadas de luz, peces, nutrientes y plantas para un desarrollo óptimo de los organismos, macroscópicos y microscópicos que movilizan la energía y los nutrientes en el proceso de producción. A este propósito obtener mejoras en el manejo y la eliminación de los sólidos totales de la columna de agua en la cámara de peces es un área de oportunidad para futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Anggawati, A. M. y E. J. Heruwati, 1990. The use of hydrolyzed protein concentrates in practical diets for *Penaeus monodon* juveniles. Research Institute for Fish Technology, Palmerath, Jakarta.
- Theodore, A. E., Raghavan, S., & Kristinsson, H. G. 2008. Antioxidative activity of protein hydrolysates prepared from alkaline-aided channel catfish protein isolates. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(16), 7459-7466.
- Asian Development Bank. Operations Evaluation Department. 2005. An evaluation of small-scale freshwater rural aquaculture development for poverty reduction. Asian Development Bank.
- Aspmo, S.I., Horn, S.J. y Eijsink, V.G.H. 2005. Enzymatic hydrolysis of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) viscera. *Process Biochem.* 40:1957–1966.
- Avnimelech, Y. 2009. Biofloc technology: a practical guide book (pp. x+-182).
- Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176(3-4), 227-235.
- Baca, U.G. 2001 Evaluación de Proyectos
- Balcázar, J. L., De Blas, I., Ruiz-Zarzuela, I., Cunningham, D., Vendrell, D., & Múzquiz, J. L.
2006. The role of probiotics in aquaculture. *Veterinary microbiology*, 114(3-4), 173-186.
- Badiola, M., Basurko, O. C., Piedrahita, R., Hundley, P., & Mendiola, D. 2018. Energy use in recirculating aquaculture systems (RAS): a review. *Aquacultural engineering*, 81, 57-
- Bardach, J. E., Ryther, J. H., & McLarney, W. O. 1972. Aquaculture: the farming and husbandry of freshwater and marine organisms. John Wiley & Sons.

Beaulieu, L., Thibodeau J., Bryl P. y Carbonneau M. 2009. Characterization of enzymatic hydrolyzed snow crab (*Chionoecetes opilio*) by-product fractions: A source of high-valued biomolecules. *Bioresource Technology*. 100: 3332–3342

Benjakul, S., y Morrissey, M. 1997. Protein hydrolysates from Pacific whiting solid wastes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45:3423–3430

Berge, G. M. y T. Storebakken, 1996. Fish protein hydrolyzate in starter diets for Atlantic salmon (*Salmon salar*) fry. *Aquaculture*, 145: 205–212.

Bray, T. M. 2000. Dietary antioxidants and assessment of oxidative stress. *Nutrition*, 16(7-8), 578-581.

Briones-Martínez R. y Cortés-Vázquez M.I. 2008. Proteasas vegetales en alimentos. *Rev. Latinoamericana Énfasis Alimentación*. 9:70-74

Bucci, L. R. y L. Unlu, 2002. Protein and aminoacids complements in exercise and sport. En Wonlisky, I., J. A. Drinskell y F. L. Boca Raton (Eds), *energy yielding macronutrients and energy metabolism in sport nutrition*. FL: CRC Press: 191-212

Caessens, P. W. J. R., W.F. Daamen, H. Gruppen, S. Visser y A. G. J. Voragen, 1999. β -lactoglobulin hydrolysis. II Peptide identification, SH/SS exchange, and functional properties of hydrolysate fractions formed by the action of plasmid. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 47: 20980-2990

Cai, Junning & Galli, Giulia & Zhou, Xiaowei. 2019. Aquaculture growth potential in Mexico. 10.13140/RG.2.2.10800.02564.

Castro-González MI, Montaña BS, Aguirre AJ, Pérez-Gil RF. Plan de Alimentación con base en pescados y mariscos. Informe Técnico INCMNSZ-CONAPESCA. [online]. México, 135 pp. Disponible en la World Wide Web: <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/>

Celus, I. Brijs, K. y Delcour, J. A. 2009. Fractionation and Characterization of Brewers' Spent Grain Protein Hydrolysates. *J. Agric. Food Chem.* 57 (12): 5563–5570

Cerdá, J., L. Pérez Igualada, L. Zaragoza y J. Fernández Carmona. 1998. Crecimiento de tilapias (*Oreochromis niloticus*, L.) con piensos extrusionados de diferente nivel proteico. Departamento de Ciencia Animal. Universidad Politécnica. 46071 - Valencia (España).

Chalamaiah, M., Narsing R. G., Rao, D.G. y Jyothirmayi T. 2010. Protein hydrolysates from meriga (*Cirrhinus mrigala*) egg and evaluation of their functional properties. *Food Chemistry*. 120:652–657

Choo, H. X., & Caipang, C. M. A. 2015. Biofloc technology (BFT) and its application towards improved production in freshwater tilapia culture. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 8(3), 362-366.

Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. (s.f.). Datos Abiertos. Producción Pesquera. Datos y Recursos. Tabla de la producción Pesquera por oficina de pesca del año 2022. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/produccion-pesquera>

Cintra, M. F., García, L. P., Hernández, Y. S., Pérez, M. S., & Martínez, A. M. 2006. La zoonosis como ciencia y su impacto social. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 7(9), 1-19.

DeLong, D. P., Losordo, T., & Rakocy, J. 2009. *Tank culture of tilapia* (Vol. 282, pp. 1-8). Stoneville, MS, USA: Southern Regional Aquaculture Center.

De Beer, M., Elfick, D., & Emmerson, D. A. 2011. Is a feed conversion ratio of 1: 1 a realistic and appropriate goal for broiler chickens in the next 10 years. *Recent Advances in Animal Nutrition-Australia* (Ed. P. Cronje), 9-14.

Diaz, R. J., & Rosenberg, R. 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *science*, 321(5891), 926-929.

Espe, M., Lied E. y K. R. Torrissen, 1993. Changes in plasma and muscle amino acids in Atlantic salmon (*Salmon salar*) during absorption of diets containing different amounts of hydrolysed cod muscle protein. *Comp Biochem Physiol A*, 105: 555-562

- ESSPRESSIF (s.f.) Hardware Product Overview DevKits Esp32-S series
<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s3/hw-reference/esp32s3/user-guide-devkitc-1.html>
- European Food Safety Authority (EFSA). 2005. Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) on a request from the Commission related to animal health and welfare aspects of Avian Influenza. *EFSA Journal*, 3(9), 266.
- FAO 2012. The State of World Fisheries and Aquaculture-2010 (SOFIA).
- FAO. 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- FAO 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. (SOFIA).
- FAO. 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- FAO. (1968). Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. Serie tecnológica poscosecha No. 5.
- Fersht A., 1980. Estructura y mecanismo de los enzimas. Editorial Reverte, 321-324.
- Fontaine, E. R. (1999). Evaluación social de proyectos.
- Fontaine, E. R. (2008). Evaluación social de proyectos.
- Furuya W., Valeria F. 2010. Nutritional innovations on amino acids supplementation in Nile tilapia diets. R. Bras. Zootec. vol.39 supl.spe Viçosa July 2010.
- García, N. (26/03/2018). Buscan Impulsar Acuicultura en Nuevo León. *MILENIO*
- Gieck, K. 2006. *Engineering formulas*.

Golnaraghi, F., Kuo, B. C. 2010. Automatic Control Systems, John Wiley and Sons, Inc.

Garibay M., Rodolfo Q. R., Agustín, L., 1993. Biotecnología alimentaria. Editorial Limusa. 281-283 pp.

Gennaro, A. 2003. Remington Farmacia. 20° edición. Editorial Médica Panamericana. 545-550.

Gildberg, A., I. Batista y E. Strøm, 1989. Preparation and characterization of peptones obtained by a two-step enzymatic hydrolysis of whole fish. *Biotechnology Applied Biochemistry*, 11: 413–23.

Glibota, G. Garro, O – Judis, A. 2000. Hidrólisis con cascara de Carica papaya de proteínas de soja desengrasada. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Facultad de Agroindustrias.

Guadix, A., E. Guadix, M. P. Páez-Dueñas, P. González-Tello y F. Camacho, 2000. Procesos tecnológicos y métodos de control en la hidrólisis de proteínas. *Ars Pharmaceutica*, 41: 79-89.

GUJARATI, Damodar N. 1997. Econometría. Editorial, McGraw Hill. México, D.F.

GRIFFITHS, William E. CARTER HILL, R. G. JUDGE George. 1993. Learning and Practicing Econometrics. Editorial John Wiley & Sons, Inc. United States of America.

Himmelblau, D. M., & Riggs, J. B. 2012. Basic principles and calculations in chemical engineering. FT press.

Hoyle, N. T., y Merritt, J. H. 1994. Quality of fish protein hydrolysates from herring (*Clupeaharengus*). *Journal of Food Science*. 59:76–79.

Ibarra Salazar, Jorge. 2000. Estrategia para la Inversión Pública Inteligente. Diplomado impartido por ITESM. Escuela de Graduados en Administración Pública.

Itoyama, K. Tanibe H, Hayashi, T. Ikada, Y. 1994. Spacer effects on enzymatic activity of papain immobilized onto porous chitosan beads. *Biomaterials* Volume 15, Issue 2, Pages 107-112

Jackson, A.J., B.S. Capper & A.J. Matty. 1982 Evaluation of some plant proteins in complete diets for the tilapia *Sarotherodon mossambicus*. *Aquaculture*, 27:97–109

Jover, M. y E. Blas. 1990. Tecnología de Fabricación de Piensos I: Acuicultura. *Mundo Ganadero*, 5: 63-66.

Karimanzira, D., & Rauschenbach, T. 2018. Optimal utilization of renewable energy in aquaponic systems. *Energy and Power Engineering*, 10(06), 279-300.

KEAT, Paul G. YOUNG, Phillip K.Y. 2003. *Managerial Economics. Economic Tools for Today's Decision Makers*. Editorial Prentice Hall. Cuarta edición. United States of America.

KiCad.org (s.f.) Home Discover PCB Design in PcbNew.
<https://www.kicad.org/discover/pcb-design/>

Kirk., O., T. V. Bochert y C. C. Fuglsang, 2002. Industrial enzyme applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 13: 345-351

Klompong, V., Benjal, S., Kantachota, D., y Shahidi, F. 2007. Antioxidative activity and functional properties of protein hydrolysate of yellow stripe trevally (*Selaroidesleptolepis*) as influenced by the degree of hydrolysis and enzyme type. *Food Chemistry*. 102:1317–1327.

Korhonen H. Technology options for new nutritional concepts. *Int Jour Dairy Tech*. 2002. 55:79---88.

- Kotzamanis, Y. P., E. Gisbert, F. J. Gatesoupe, J. Zambonino Infante y C. Cahu. 2007. Effects of different dietary levels of fish protein hydrolysates on growth, digestive enzymes, gut microbiota, and resistance to *Vibrio anguillarum* in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 147: 205–214.
- Le, A. T., Wang, L., Wang, Y., Vu, N. T., & Li, D. 2020. Experimental validation of a low-energy-consumption heating model for recirculating aquaponic systems. *Energies*, 13(8), 1958.
- Lee, P. G. 2000. Process control and artificial intelligence software for aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 23(1-3), 13-36.
- López-Campos, Ó., Aalhus, J. L., Okine, E. K., Baron, V. S., & Basarab, J. A. 2013. Effects of calf-and yearling-fed beef production systems and growth promotants on production and profitability. *Canadian Journal of Animal Science*, 93(1), 171-184.
- Louis, L. 2016. working principle of Arduino and u sing it. *International Journal of Control, Automation, Communication and Systems (IJCACS)*, 1(2), 21-29.
- Lahfaoui, B., Zouggar, S., Mohammed, B., & Elhafyani, M. L. 2017. Real time study of P&O MPPT control for small wind PMSG turbine systems using Arduino microcontroller. *Energy Procedia*, 111, 1000-1009.
- Lebenthal, E., P. C. Lee y L. A. Heitinger, 1983. Impact of development of the gastrointestinal tract on infant feeding. *Journal of Pediatrics*, 102: 1-9
- Lehninger A.I., Nelson D.L y Cox M.M. 2005 Principios de bioquímica. 4º edición. Editorial Omega, S.A.
- Li, Z.-Y., W. Youravong y A. H.-Kittikun, 2010. Protein hydrolysis by protease isolated from tuna spleen by membrane filtration: A comparative study with commercial proteases. *Food Science and Technology*, 43: 166-172.

- Liasset, B., Julshamn, K. y Espe, M. 2003. Chemical composition and theoretical nutritional evaluation of the produced fractions from enzymic hydrolysis of salmon frames with Protamex™. *Process Biochem.* 38:1747–1759.
- Llopis, S, Forner J. 2006. Aditivo para piensos de peces de cultivo y pienso que contiene dicho aditivo para tratar y prevenir el estrés oxidativo y la toxicidad de los tratamientos parasiticidas. Consejo Superior De Investigaciones Científicas. WO 2006032717 A1.
- López, B. y G, Sampedro. 1977. Fabricación de hidrolizados de proteína de pescado. *Inf. Técn. Inst. Inv. Pesq.*, 15: 3-20.
- Louis, L. 2016. Working principle of Arduino and using It as a tool for study. *International Journal of control Automation, Communications and Systems.*
- Lee, P. G. 2000. Process control and artificial intelligence software for aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 23(1-3), 13-36.
- MicrosoftStartWeather (sf) Weather, Monterrey N.L., México, 10 day forecast, summary <https://www.msn.com/en-us/weather/forecast/in-Monterrey,Nuevo-Le%C3%B3n?loc=eyJscjoiTW9udGVyemV5IiwiciI6Ik51ZXZvIExw7NuIiwYyI6Ik11eGljbyIsImkiOiJNWCIscmciOiJlbi11cyIsIngiOiItMTAwLjQyMDA1MTU3NDcwNzAzIiwieSI6IjI1Ljc1NjQ2MDE4OTgxOTMzNiJ9&weadegreetype=C&ocid=winp1taskbar&cvid=36c9f4fcdd85442b93b87205bf860ac5>
- Martínez-Cordero, F. J., Delgadillo, T. S., Sanchez-Zazueta, E., & Cai, J. 2021. *Tilapia Aquaculture in Mexico-Assessment with a focus on social and economic performance.* Food & Agriculture Org.
- Martins, M. L., Xu, D. H., Shoemaker, C. A., & Klesius, P. H. 2011. Temperature effects on immune response and hematological parameters of channel catfish *Ictalurus punctatus* vaccinated with live theronts of *Ichthyophthirius multifiliis*. *Fish & shellfish immunology*, 31(6), 774-780.
- de Llano Massino, A., y Hacendados, I. A. P., & Guðmundsson, E. 2004. Financial and Biological Model for Intensive Culture of Tilapia. UNU-Fisheries Training Programme: Reykjavík, Iceland.

Massino, A. D. L. 2004. Financial and biological model for intensive culture of tilapia. UNU-Fisheries Training Programme.

<https://www.milenio.com/negocios/buscan-impulsar-acuicultura-en-nuevo-leon>

Miao, W. E. I. M. I. N., & Wang, W. E. I. W. E. I. 2020. Trends of aquaculture production and trade: Carp, tilapia, and shrimp. *Asian Fisheries Science*, 33(S1), 1-10.

Machado M., M. Batista y G. Mascaretti. 2014. Calidad microbiológica de un hidrolizado de pescado de producción casera. i Departamento de Nutrição, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo (FSP/USP), São Paulo, SP, Brasil. *Vig Sanit Debate* 2015;3(1):43-47 | 47

Mackie I.M. 1982. Fish protein hydrolysates. *Process Biochem.*, 31:26-28

Marshal K. 2004. Therapeutic applications of whey protein. *Altern Med Rev.* 2004; 9:136---56.

Monk, S. 2016. Make: Action: Movement, Light, and Sound with Arduino and Raspberry Pi. Maker Media.

Méndez Morales, J. S. 2020. Microeconomía: La economía en la empresa. Grupo Editorial Patria.

Muñoz A. 2010. Efecto de la suplementación de selenio sobre bio-indicadores enzimáticos de estrés oxidativo en tilapia nilotica. Laboratorio de Nutrición Acuícola Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia Universidad Nacional de Colombia.

Nilsang, S., S. Lertsiri, M. Suphatharika y A. Assavaning. 2005. Optimization of enzymatic hydrolysis of fish soluble concentrated by commercial proteases. *Journal of food engineering*, 70: 571-578

Naveenkumar, R., & Krishna, P. 2013. Low cost data acquisition and control using arduino prototyping platform and labview. *International journal of science and research*, 2(2), 366-369.

OEC, sf Fish filets: frozen, tilapias (*Oreochromis spp*) 030461 (Harmonized System 2012 for 6-digit)

<https://oec.world/en/profile/hs/fish-fillets-frozen-tilapias-oreochromis-spp>

Oca, J., & Masalo, I. 2013. Flow pattern in aquaculture circular tanks: Influence of flow rate, water depth, and water inlet & outlet features. *Aquacultural Engineering*, 52, 65-72.

Osuna L., María T. P., Abigaíl A. C., 2005. Plantas medicinales de la medicina tradicional mexicana para tratar afecciones gastrointestinales. Edicions Universitat Barcelona, 53-55.

Ogata K. (2010) Modern Engineering Control Prentice Hall.

Palma, J. M., Sandalio L. M., Corpas F. J., Romero-Puertas M. C., McCarthy I. y Del Rio L. A. 2002. Plant proteases, protein degradation, and oxidative stress: role of peroxisomes. *PlantPhysiolBiochem*. 40:521–30.

Pineda M. 2012. FCA: Calcular alimento para tilapias. PisciculturaGlobal. Disponible en: <http://pisciculturaglobal.com/2012/09/serie-alimento-para-tilapias-calculando.html>

PCBWay (s.f.) Home

https://www.pcbway.com/?adwgc=666&campaignid=172480651&adgroupid=8787904531&feeditemid=&targetid=kwd-297443275619&loc_physical_ms=1010132&matchtype=p&network=g&device=c&deviceicemodel=&creative=672257469576&keyword=pcbway&placement=&target=&adposition=&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwpbi4BhByEiwAMC8JnYk84u0jwHOpwbM9t9K_2ultjXlkRUz5CLENHFFHkbr2cRm2IG9F2BoCo7sQAvD_BwE

Prabu, E., Rajagopalsamy, C. B. T., Ahilan, B., Jeevagan, I. J. M. A., & Renuhadevi, M. 2019. Tilapia—an excellent candidate species for world aquaculture: a review. *Annual Research & Review in Biology* 31 (3): 1–14.

Pindyck, Robert S. Rubinfeld, Daniel L. 2001. *Econometría modelos y pronósticos*. Editorial Mc Graw Hill. Cuarta Edición. México, D.F.

Rakocy, J. E. 1990. Tank Culture of Tilapia. *Leaflet/Texas Agricultural Extension Service; no. 2409*.

Rakocy, J. E. 2012. Aquaponics—integrating fish and plant culture. *Aquaculture production systems*, 344-386.

Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Martin, J. M., Shultz, R. C., Lovatelli, A., Walters, R., & Van Anrooy, R. 2000. Tilapia production systems for the Lesser Antilles and other resource-limited tropical areas.

Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, K. A., & Cole, W. M. 1997. Evaluation of a commercial-scale aquaponic unit for the production of tilapia and lettuce. In *Tilapia aquaculture: proceedings of the fourth international symposium on tilapia in aquaculture*, Orlando, Florida (pp. 357-372).

Rakocy, J. E., Masser, M.P., Losordo, T.M., 2006 *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture*. SRAC Publication No. 454

Reyes Lastiri, D., Slinkert, T., Cappon, H. J., Baganz, D., Staaks, G., & Keesman, K. J. 2016. Model of an aquaponic system for minimized water, energy and nitrogen requirements. *Water science and technology*, 74(1), 30-37.

Rustad, T., 2003. Utilization of marine by-products. *Electric Journal of Enviromental, Agriculture and Food Chemistry*, 2: 458-463.

Ruttanapornvareesakul, Y., Ikeda, M., Hara, K., Osatomi, K., Osako, K., Kongpun, O. y Nozaki, Y., 2006. Concentration-dependent suppressive effect of shrimp head protein hydrolysate on dehydration-induced denaturation of lizardfish myofibrils. *Bioresour. Technol.* 97:762–769

Samuelson P. A. 1980. *Economics*. 11th Edition, Editorial McGraw-Hill.

SAMUELSON, P., & NORDHAUS, W. 2002. *Economía*. 17^a Edición, Editorial McGraw-Hill.

Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. Dieck, L., Salazar, J.J., 1998. *Macroeconomía con aplicaciones a México*, 15^a Edición, Editorial McGraw-Hill Interamericana.

Sathivel, S., P. J. Bechtel, J. Babbitt, S. Smiley, C. Crapo, K. D. Reppond y W. Prinyawiwatkul, 2003. Biochemical and functional properties of herring (*Clupea harengus*) byproduct hydrolysates. *Journal in Food Science*, 68: 2196–200

SADER 2018. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2018. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>

SCAHAW 2003. Scientific opinion on recent advances in diagnostic techniques and vaccines for several important OIE List A diseases, including avian influenza. http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scah/out93_en.pdf.

Searchinger, T. D. 2010. Biofuels and the need for additional carbon. *Environmental Research Letters*, 5(2), 024007.

Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R. A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., ... & Yu, T. H. 2008. Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science*, 319(5867), 1238-1240.

Searchinger, T. D., Wiersenius, S., Beringer, T., & Dumas, P. 2018. Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. *Nature*, 564(7735), 249-253.

Servicio Meteorológico Nacional Comisión Nacional del Agua (sf) Climatología, Información climatológica, Normales climatológicas por estado, Nuevo León, estación 19052, Monterrey Observatorio, San Nicolás de los Garza.

<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado?estado=nl>

Servicio Meteorológico Nacional Comisión Nacional del Agua (sf) Estaciones Meteorológicas Automáticas, Cumbres de Monterrey el Diente.

<https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>

Shahidi, F., Han, X. Q., y Synowiecki, J. 1995. Production and characteristics of protein hydrolysates from capelin (*Mallotus villosus*). *Food Chemistry*, 53:285–293

Shahidi, F. y V. Venugopal, 1994. Solubilization and thermostability of water dispersions of muscle structural proteins of Atlantic herring (*Clupea harengus*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42: 1440–1446.

Silva Almaraz, Manuel. 2000. Modulo 3 Evaluación Socioeconómica. Diplomado Impartido por ITESM. Escuela de Graduados en Administración Pública.

Slizyte, R., Dauksas, E., Falch, E., Storro, I. y Rustad, T. 2005. Characteristics of protein fractions generated from hydrolyzed cod (*Gadus morhua*) by-products. *Process Biochem.*40:2021–2033.

Spencer, M. H. (1976). *Economía contemporánea, 1976*. España: editorial Reverte SA

Strom, T. y J. Raa, 1991. From basic research to new industries with in marine biotechnology: successes and failures in Norway. En: *Proceedings of seminar on advances in fishery post-harvest technology in southeast Asia*, Kuang H. K., K. Miwa y M. B. Salim (Eds.), Changi Point, Singapore, 63–71.

Sugiyama, K., Mukoto, E., Onzuku, H. y Oba, K. 1991. Characteristics of sardine muscle hydrolysates prepared by various enzymic treatments. *NipponSuisanGakkaishi*, 57:475–479.

Suzuki, T. 1981. *Fish and krill protein: processing technology*.

Stickney, R. R. 1979. *Principles of warmwater aquaculture: a willey-interscience publication*, John Willey and Sons. *New York*. 375p.

Tacon, A.G., K. Jauncey, A. Falaye, M. Pantha, I. MacGowan and E.A. Stafford. 1983. *The use of meat and bone meal, hydrolysed and soybean meal in practical fry and*

fingerling diets for *Oreochromis niloticus*. I International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University Press, 356-365.

Tacon, A. G., & Metian, M. 2013. Fish matters: importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply. *Reviews in Fisheries Science*, 21(1), 22-38.

Tacon, A. G., & Metian, M. 2015. Feed matters: satisfying the feed demand of aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1), 1-10.

Uman, K. 2008. Hidrolizados alimenticios elaborados con distintos frutos. Universidad de Chile.

Van Barneveld, R. J. 2003. Modern pork production-Balancing efficient growth and feed conversion with product quality requirements and consumer demands. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 12.

Van der Ven, C., 2002. Biochemical and functional characterization of casein and whey protein hydrolysates. A study on the correlations between biochemical and functional properties using multivariate data analysis. Wageningen University. The Netherlands. 170 pp.

Venereo Gutiérrez, J. R. 2002. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. *Revista Cubana de medicina militar*, 31(2), 126-133.

Vishal, T., Rathore, R., Kamble, P. Manish, G. 2013. Pepsin, Papain and Hyaluronidase Enzyme Analysis: A Review. International Journal of Research in Pharmacy and Science. Department of Quality Assurance, B.N. College of Pharmacy Udaipur Rajasthan, India

Walsh, G, 2002. Proteins, Biochemistry and Biotechnology. West Sussex, England: John Wiley and Sons Ltd.; 420 pp

Wang, W., & De Mejia, E. G. 2005. A new frontier in soy bioactive peptides that may prevent age-related chronic diseases. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 4(4), 63-78.

Webster, C. D., & Lim, C. (Eds.). 2006. *Tilapia: biology, culture, and nutrition*. CRC Press.

Williams, A.L. 2004. *Build Your Own Printed Circuit Board*. McGraw-Hill.

Wonnacott, T., & Wonnacott, R. (1979). *Economics*, McGraw-Hill.

World Customs Organization, sf Topics What is Harmonized System (HS)?
<https://www.wcoomd.org/en/topics/nomenclature/overview/what-is-the-harmonized-system.aspx>

Yamamoto, N., Ejiri, M., & Mizuno, S. 2003. Biogenic peptides and their potential use. *Current pharmaceutical design*, 9(16), 1345-1355.

Yúfera, P. 1979. *Química Agrícola II Alimentos*. ES. Alhambra. p. 240-249.

Zitzmann Riedler, W. 2009. *Valoración de empresas con Excel*. Bogotá: Alfaomega.