

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

Diseño conceptual de clasificadora y contadora de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de 10 a 20 centímetros para la crianza de truchas en la Laguna de Pauracocha

Tesis para optar el título profesional de INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTOR

Pablo Remigio Díaz Vergara

ASESOR

Ing. Pedro Moises Crisóstomo Romero

Lima, 4 de mayo de 2020

Resumen

Escribir resumen aquí

Introduction

Según FAO¹, el salmón y la trucha fueron los productos de pesquería más comercializados en términos de valor desde 2013 y representan alrededor de 18 % del valor total de los productos pesqueros comercializados internacionalmente desde 2017. (FAO, 2017) La producción de truchas, en lagunas y ríos en los andes, es responsable de un cuarto de la producción acuícola en el Perú. (Seafood Trade Intelligence Portal, 2018) Sin embargo, según FONDEPES², la región Puno centraliza dicha producción con el 82.1 % en el 2017 de la producción nacional de truchas con más de 18000 TM/Año. (FONDEPES, 2014) Perú ha incrementado 348.3 % la extracción de truchas en los últimos 10 años. (Ministerio de la Producción del Perú, 2018)



¹Food and Agriculture Organization of the United Nations

²Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero

Agradecimientos

Escribir agradecimientos aquí

Índice general

Resumen	I
Introduction	I
Agradecimientos	II
Índice general	III
Índice de figuras	V
Índice de cuadros	VI
I. Marco problemático	1
1.1. Definición de la problemática	1
1.1.1. Justificación	2
1.1.2. Alcance	2
1.1.3. Objetivos	3
1.1.4. Metodología	3
1.2. Estado del arte	4
1.2.1. Crianza de truchas	4
1.2.2. Sistema de clasificación de peces	7
1.2.3. Sistema de conteo de peces	16
1.2.4. Extracción de características de peces	21
1.2.5. Sistema de traslado de peces	23
1.2.6. Productos comerciales y patentes	25
II. Fundamentos teóricos	34
2.1. Canales RGB y HSV	34
2.2. Segmentación de imágenes	34
2.3. Redes neuronales	34
2.4. Identificador mediante redes neuronales	34
III. Diseño Mecatrónico	35
3.1. Desarrollo de proyecto conceptual	36
3.1.1. Lista de requerimientos	36

3.1.2. Caja negra	36
3.1.3. Estructura de funciones	36
3.1.4. Matriz morfológica	36
3.1.5. Conceptos de solución	36
3.1.6. Evaluación técnico-económica	36
3.1.7. Diagrama de operaciones de solución escogida	36
IV. Costos	37
4.1. Manufactura	37
4.2. Precio unitario	37
Referencias	38

Índice de figuras

1.1.	Extracción de trucha en toneladas métricas anuales.	5
1.2.	Anatomía de la trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	8
1.3.	(a,b,c) Clasificadora de anchura fija, rejillas de clasificación y clasificadora ajustable.	9
1.4.	Clasificación y medición manual de truchas.	10
1.5.	Herramienta de medición manual para peces.	11
1.6.	Máquina seleccionadora de truchas de A. G. V.	12
1.7.	Medición automatizada de especies y tallas de peces por visión artificial.	13
1.8.	Medición de peces dentro de estanques con cámaras ortogonales.	13
1.9.	Medición de peces dentro de estanques con cámaras estéreo.	14
1.10.	Pez identificado por una red neuronal.	15
1.11.	Clasificación, conteo, curado y cálculo de biomasa en la laguna de Canrash, Ancash, Perú.	17
1.12.	Contador de peces basado en luz infrarroja.	18
1.13.	Planos comunes de posicionamiento para cámaras de inspección.	19
1.14.	Contador de peces mediante escáneres.	20
1.15.	Extracción de características mediante visión por computadora.	22
1.16.	Usando la relación entre A y B para calcular la longitud del pez.	23
1.17.	Usando la relación entre A y B para calcular la longitud del pez.	24
1.18.	Recepción automática por bombeo de peces mediante tubería.	24
1.19.	Clasificadora automática de peces de origen japonés.	26
1.20.	Clasificadora automática de peces de origen chino.	27
1.21.	Clasificadora automática de peces de origen chino.	28
1.22.	Clasificadora de peces de origen alemán.	29
1.23.	Clasificadoras automáticas para peces de origen francés.	30
1.24.	Clasificadoras automáticas para peces de origen francés.	30
1.25.	Seleccionador con contador integrado y sus partes.	31
1.26.	Clasificadora de peces de origen danés.	33

Índice de cuadros

1.1. Comercio internacional de productos pesqueros por principales importadores y exportadores en miles de dólares.	7
1.2. Clasificación de truchas por etapas de producción.	8
1.3. Comparación de diferentes funciones de activación.	15
1.4. Comparación entre los métodos de clasificación.	16
1.5. Comparación entre los métodos de conteo de peces.	20
1.6. Comparación entre los métodos de traslado de peces.	25
1.7. Extracto de cotización de máquinas clasificadora y contadora para peces.	32

Capítulo I

Marco problemático

1.1. Definición de la problemática

Actualmente, la crianza de o cultivo de truchas en el Perú se da de manera artesanal, los procesos involucrados son realizados por operarios de forma manual. La automatización de procesos manuales aumenta diversos factores que van desde la calidad del producto hasta la capacidad de producción. Una **empresa nacional** en la **región de Lima** que se dedica a la producción y venta de trucha arcoíris de diversos gramajes para el mercado nacional, luego de realizar una **consultoría privada**, detectó altos porcentajes de mortandad y desaparición (cerca del 20 % que representan aproximadamente 18 000 truchas) en la etapa de engorde (17.5 centímetros en adelante).

Según la consultoría, **la mortandad y desaparición de las truchas en la etapa de engorde** se debe a la alta densidad de peces en las jaulas. Las principales causas de un alto grado de desaparición están asociadas a la característica carnívora de las truchas, es decir, pueden alimentarse de otras truchas. Las truchas deben ser clasificadas periódicamente en sus respectivas jaulas flotantes, según tamaño. Sin embargo, debido a la complejidad y cantidad de esfuerzo requerido, (3 operarios para una jaula de 3 metros cúbicos que contienen 5000 truchas requieren 40 horas de trabajo) la clasificación no es muy frecuente. Además, realizar el proceso de

forma manual incide en el comportamiento de la trucha, pudiendo causar una muerte por estrés. Debido a esto, **el presente trabajo busca automatizar dicho proceso.**

1.1.1. Justificación

Según la empresa nacional, reducir la mortandad en el cultivo artesanal de truchas aumentará la capacidad de producción. Se detalla que cuando dichas truchas atraviesan las etapas de *alevinos III* (7.5 a 10.0 cm.), *juvenil I* (10.0 a 13.5 cm.) y *engorde* (17 cm. en adelante) aumenta la mortandad considerablemente, siendo los dos últimos los más importantes. La mortandad de truchas se da por diversos motivos, entre ellos, el más importante, la falta de clasificación correcta de truchas según su tamaño.

La clasificación y conteo realizado por operarios de forma manual requiere excesivo tiempo y mano de obra. Esto puede agravarse ya que en tiempos de mayor presencia fluvial se realiza el trabajo bajo condiciones meteorológicas adversas que dificultan el trabajo haciéndolo más lento y en oportunidades inviable debido a que se requiere el uso de generadores de electricidad, hacer uso de estos en esas condiciones puede generar accidentes.

1.1.2. Alcance

Este trabajo busca diseñar un sistema clasificador y contador de truchas arcoíris de un determinado rango de tamaños. De igual forma, se busca integrar nuevas tecnologías y métodos, según sean viables bajo el análisis del diseño conceptual y preliminar del sistema mecatrónico, a los sistemas. Además, se busca integrar los sistemas de clasificación y conteo de truchas. La cuantificación de producción brindará una idea clara de los beneficios que puede aportar un sistema mecatrónico al cultivo de truchas arcoíris en lagunas.

1.1.3. Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema clasificador y contador truchas arcoíris de 10 a 20 centímetros.

Objetivos específicos

- Identificar procesos críticos en la crianza artesanal de trucha arcoíris.
- Diseñar un sistema de clasificación.
- Diseñar un sistema de conteo de truchas.
- Cuantificar la capacidad de producción del sistema de recepción, clasificación y conteo de truchas arcoíris.

1.1.4. Metodología

La metodología, que contempla las recomendaciones para encontrar una solución óptima, está basada en el libro *Engineering Design – A Systematic Approach*.¹ Esta metodología puede incluir múltiples normas de diseño, en este caso las normas VDI 2221-2225 (*La Asociación de Ingenieros Alemanes*).

El análisis, el términos generales, consiste en recopilar información, realizar una lista de requerimientos, discernir entre procesos críticos que pueden ser automatizados, separar los procesos en sistemas que cumplan funciones, listar las mejores opciones para cada subsistema, iterar hasta encontrar la solución más óptima que integre todos los subsistemas, proponer tres o más soluciones óptimas como concepto de solución, seleccionar una de estas, seleccionar materiales y procesos de fabricación, seleccionar componentes comerciales para cada dispositivo elegido para el concepto de solución, realizar cálculos de diseño, realizar planos de diseño y presentar

¹Traducción: "Diseño de ingeniería: un enfoque sistemático"

una propuesta final. En cada etapa del diseño la parte conceptual puede variar, pero los principios de funcionamiento deben prevalecer.

1.2. Estado del arte

El estado del arte es una categoría central y deductiva que se aborda y propone como estrategia un análisis crítico de las dimensiones políticas, epistemológicas y pedagógicas de la producción investigativa en la evaluación de aprendizaje.(Guevara Patiño, 2016) **El aspecto técnico del estado del arte, al que se hace referencia en este estudio, se basa en el desarrollo de una investigación técnica documental y técnica de campo.** La técnica documental permite la selección de información para explicar las teorías que sustentan el estudio de los fenómenos y procesos.. (Martinez, 2003) Además, las técnicas de investigación de campo son aquellas que el investigador utiliza en el desarrollo práctico o teórico de su proceso investigativo con el fin de corroborar sus objetivos generales y específicos. (Guevara Patiño, 2016)

Luego de mencionar el enfoque de este subíndice, **aclarar** que, en términos técnicos, existe una diferencia clara entre clasificación de peces y pescado. Esta diferencia se basa en que el pez se refiere al animal vivo y el pescado es el animal muerto.

1.2.1. Crianza de truchas

Nacional

En el Perú, el **cultivo de trucha se da predominantemente de forma manual** ya que el sector es dirigido por pequeñas y medianas empresas. La capacidad de producción del Perú es alta debido a la gran cantidad de especies, recursos hidrobiológicos² y climas.

²Se refieren a los organismos que pasan toda su vida o parte de ella en un ambiente acuático y son utilizados por el hombre de forma directa o indirecta.(MINAGRI, 2011)

El gobierno peruano implementó medidas para impulsar su desarrollo mediante el MEF³ en el marco de estrategia de Gobierno de impulsar y promocionar los sectores con alto potencial productivo. **Las medidas acuícolas se centran en seis ejes:** primero, fortalecimiento de la Autoridad Sanitaria; segundo, una regulación que garantice el cumplimiento de estándares de sanidad, inocuidad, ambientales y de calidad de los productos; tercero, escalar y abrir nuevos mercados para las exportaciones acuícolas; cuarto, impulsar la gestión y articulación interinstitucional; quinto, promocionar apoyo tecnológico e innovación en especial para las micro y pequeñas empresas; sexto, mejorar infraestructura. (Andina, 2019)

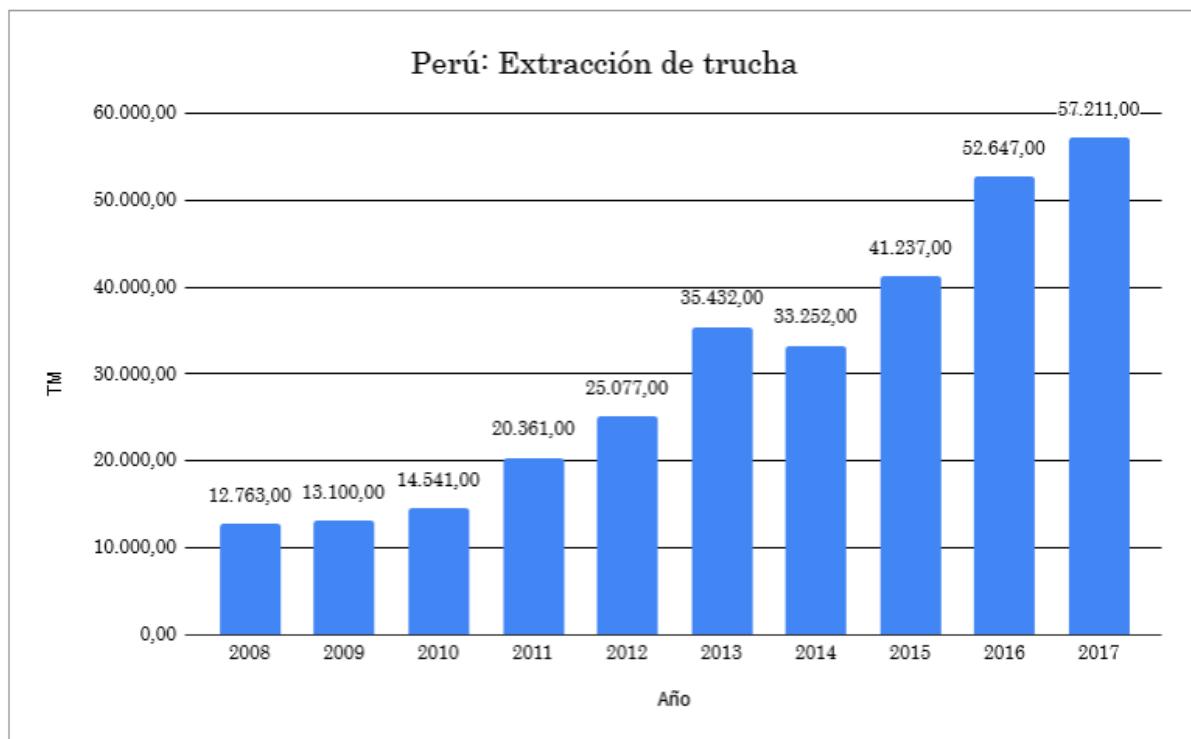


Figura 1.1: Extracción de trucha en toneladas métricas anuales.

Datos (Ministerio de la Producción del Perú, 2018)

Gráfica: Elaboración propia.

³Ministerio de Economía y Finanzas.

Internacional

En **China**⁴, principal país exportador en acuicultura a nivel mundial con 20 mil millones de dólares (FAO, 2017, p. 44), se usa métodos de crianza de truchas que reducen la *mortandad* y el *estrés hídrico* que afectan a las truchas. Procesos automatizados y estandarizados aumentaron la producción de trucha arcoíris a nivel internacional. Lograron una reducción importante de costos en el cultivo debido a la automatización. Se controla la calidad de agua, contaminación por exceso de excremento de las truchas, temperatura del agua, tasa de crecimiento, etc.

(沈蓓杰 y cols., 2017, p. 1-6)

En **Japón**, segundo país que más importa productos pesqueros a nivel mundial (FAO, 2017, p. 44), produce alrededor de 50000 especies de peces, lo que representa aproximadamente 10 mil toneladas anuales. La crianza de truchas se da en estanques de agua corriente, en lagunas y en aguas marinas profundas (estanques con agua de mar bombeadas desde la profundidad del océano 100 m. o más). Sin embargo, nuevas invasiones de patógenos están mermando la producción y debido a esto se crearon fármacos. La industria se encuentra altamente industrializada. (利岡本高瀬, 2005, p. 1-5)

En el ?? se muestran productos y patentes de origen internacional, desarrollados para el sector acuícola y que son cercanos al estudio en este trabajo.

⁴Asia concentra alrededor del 90 % de la acuicultura mundial.(Powell, 2003)

Cuadro 1.1: Comercio internacional de productos pesqueros por principales importadores y exportadores en miles de dólares.

A-3 International trade in fishery commodities by principal importers and exporters Commerce international des produits de la pêche par principaux importateurs et exportateurs Comercio internacional de productos pesqueros por principales importadores y exportadores							USD 1 000
Country or area Pays ou zone País o área	Imports - Importations - Importaciones			Country or area Pays ou zone País o área	Exports - Exportations - Exportaciones		
	2015	2016	2017		2015	2016	2017
USA ⁽¹⁾	19 820 311	20 546 742	21 639 466	China	19 737 723	20 131 384	20 524 313
Japan	13 460 585	13 878 490	14 997 942	Norway	9 187 704	10 770 007	11 282 174
China	8 467 702	8 783 461	10 679 437	Viet Nam	6 756 070	7 320 009	8 542 597
Spain	6 440 496	7 107 504	7 979 020	India	4 871 591	5 546 049	7 173 609
France	5 730 886	6 177 285	6 698 942	USA	5 911 022	5 812 480	6 088 538
Italy	5 537 898	6 152 964	6 546 856	Thailand	5 677 394	5 892 629	6 015 280
Germany	5 132 326	5 601 465	5 718 418	Chile	4 812 362	5 143 365	5 991 129
Korea Rep	4 349 541	4 604 070	5 103 715	Canada	4 704 012	5 004 046	5 351 728
Sweden	4 424 106	5 187 383	4 930 538	Netherlands	3 612 174	4 182 424	5 280 237

Fuente: FAO.

1.2.2. Sistema de clasificación de peces

Existen **dos dimensiones** en las que se basa la clasificación: **la distancia desde la boca hasta la aleta caudal** en sus respectivos extremos y **la circunferencia** que alrededor del pez cerca del inicio de la aleta dorsal. En la Figura 1.2 se muestra la anatomía de la especie y se puede observar las regiones de la trucha.

En la práctica, sabiendo que se puede aproximar una medida a partir de la otra, solo se toma la distancia que cubre las tres regiones.⁵

Se realiza este proceso para evitar problemas que afecten negativamente la producción: truchas en competencia por alimento, aumento de diferencia en tallas, reducción del rendimiento del alimento, aumento de mortandad en los peces de menor talla, disminución de calidad y talla. Con una clasificación adecuada y oportuna se trata de **prevenir el canibalismo**⁶, uniformizar el crecimiento para brindar una alimentación adecuada a la talla, prevenir estrés y agotamiento de los peces.(Flores y cols., 2010, p. 16)

⁵La toma de datos de manera manual suele ser hasta 100 veces más lenta que otros métodos.

⁶Las truchas son carnívoras por lo que pueden alimentarse de su misma especie, en este caso de los de menor talla.

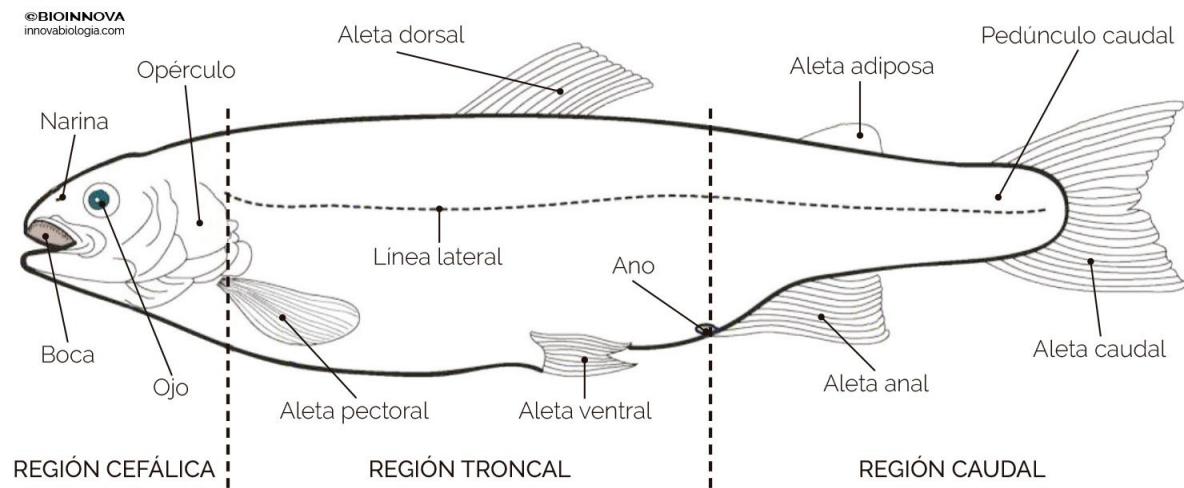


Figura 1.2: Anatomía de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

Fuente: Bioinnova.

La clasificación por tamaño permite identificar en qué etapa de producción se encuentra la trucha. Identificar las etapas permite brindar un plan de alimentación adecuado y reducir la sobre-alimentación. En la Tabla 1.2 se muestra las etapas existentes según FONDEPES⁷.

Cuadro 1.2: Clasificación de truchas por etapas de producción.

	Siembra	Alevinaje I	Alevinaje II	Alevinaje III	Juvenil I	Juvenil II	Engorde I	Engorde II	Cosecha
De (mm)	-	35	51	81	121	141	171	201	261
Hasta (mm)	34	50	80	120	140	170	200	260	-
De (g)	-	2.81	6.91	11	51	110	153	200	251
Hasta (g)	2.80	6.90	10	50	109	152	199	250	290
Este trabajo (mm)					100 a 200				

Fuente: FONDEPES.

Clasificación manual

La clasificación manual se **recomienda cuando la cantidad de truchas no supera las 1000 truchas**.(FAO, 2014, p. 25) Las cajas clasificadoras ya sean de anchura fija o ajustables

⁷Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero

son fabricadas artesanalmente como las mostradas en la Figura 1.3 Estas cajas de madera y metal con barras de metal o compuestos montados en su base dejan pasar por las rejillas a los peces que tienen determinada circunferencia, es decir, se realiza una clasificación por forma.(FAO, 2005)

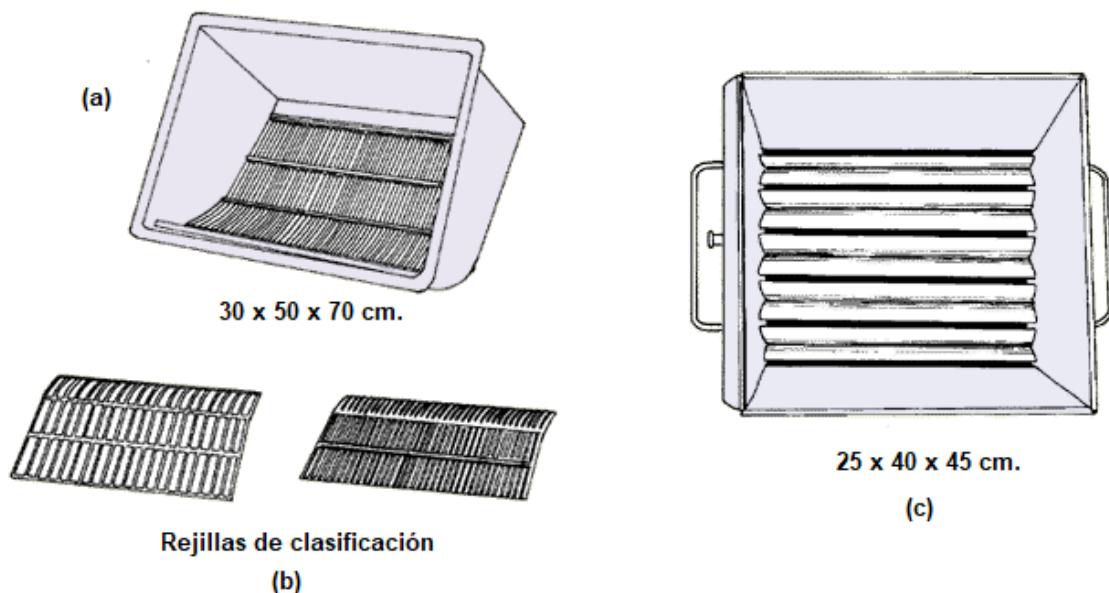


Figura 1.3: (a,b,c) Clasificadora de anchura fija, rejillas de clasificación y clasificadora ajustable.
Fuente: FAO.

Para realizar el proceso de clasificación manual (Figura 1.4) se siguen tareas consecutivas: limpiar la caja clasificadora, preparar los estanques o jaulas flotantes que intervienen en la clasificación, ubicar la caja clasificadora al borde del estanque o jaula, extraer con la sacadera telescópica⁸ truchas de un estanque o jaula, depositar las truchas extraídas dentro de la caja, agitar la caja hasta apreciar que las truchas no pueden pasar y finalmente depositar las truchas restantes en otro estanque o jaula.

⁸Herramienta para trasladar peces. También llamada "chingullo".



Figura 1.4: Clasificación y medición manual de truchas.

Fuente: MINAGRI⁹.

Para la medición se usa una herramienta, como la mostrada en la Figura 1.5, creada **artesanalmente** que contiene un ictiómetro para medir al pez mientras se realiza una clasificación o verificar el tamaño del pez.

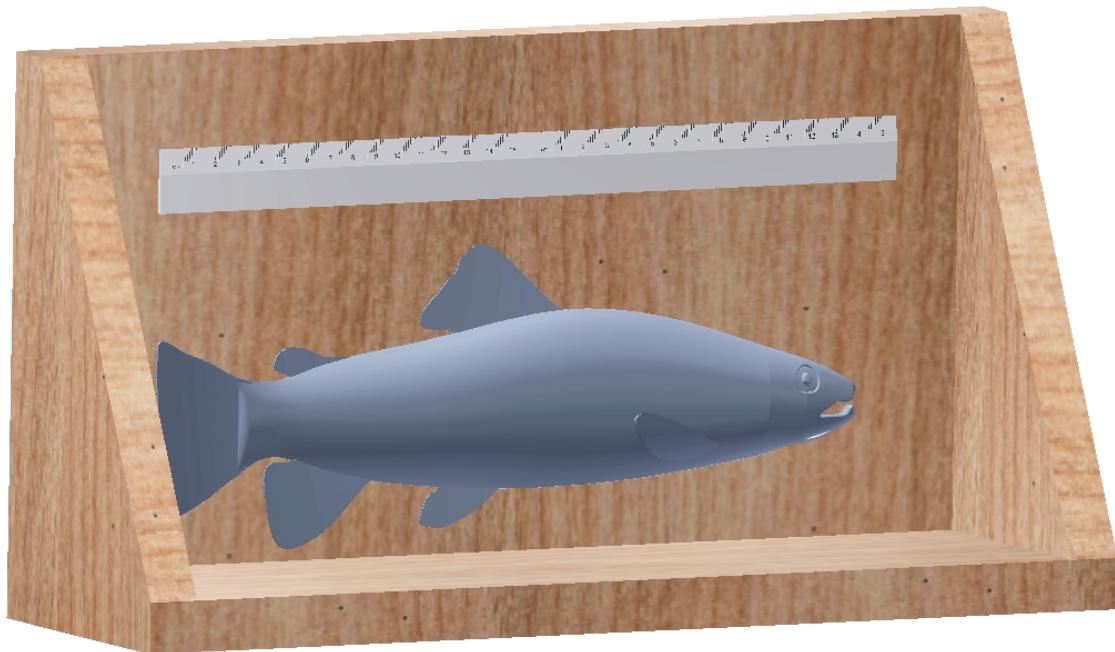


Figura 1.5: Herramienta de medición manual para peces.
Fuente: Elaboración propia.

Clasificación mecánica

La tesis que presentó el bachiller *Angel Gabriel Vega De la Cruz* desarrolla un sistema mecánico que, asegura, permite seleccionar los peces de manera rápida y eficiente. El sistema mecánico consiste en un motorreductor, un sistema de alimentación compuesto por cuatro poleas y dos bandas transportadoras. La Figura 1.6 nos muestra la máquina, la cual puede clasificar tres rangos de diferentes capacidades de selección (18000, 7200 y 3600 peces/hora) a un precio estimado de S/ 19264,27 en 2013. Otro factor importante es el peso de la máquina: 200 kg.(Vega, 2013, p. 2,105)

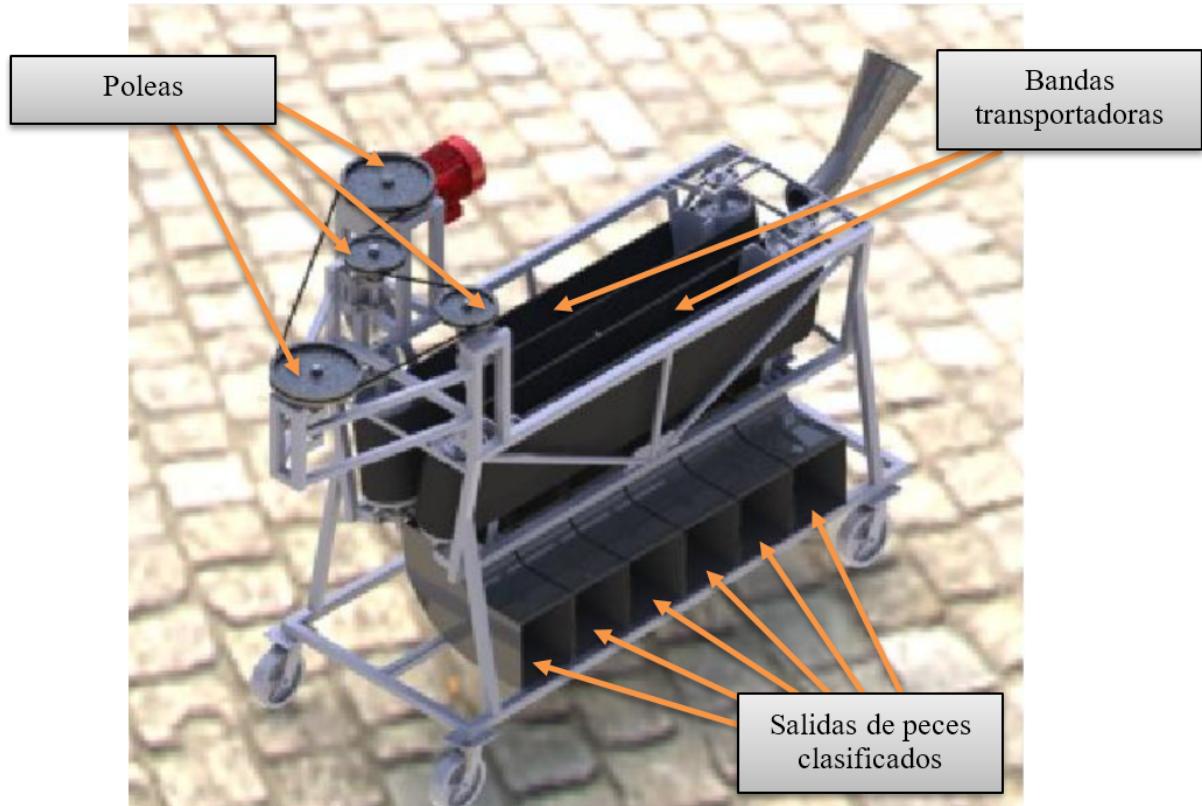


Figura 1.6: Máquina seleccionadora de truchas de A. G. V.
Fuente: Tesis “Diseño de una Máquina Seleccionadora de Truchas” .

Clasificación mediante visión por computadora

Este tipo de clasificación completamente automatizada permite un conteo de peces más rápido con respecto a otros métodos. Los avances en esta área son abundantes, se presentarán los que aborden los objetivos de este trabajo. La capacidad de conteo depende en dos factores principales. (Niu y cols., 2018, p. 2-3)

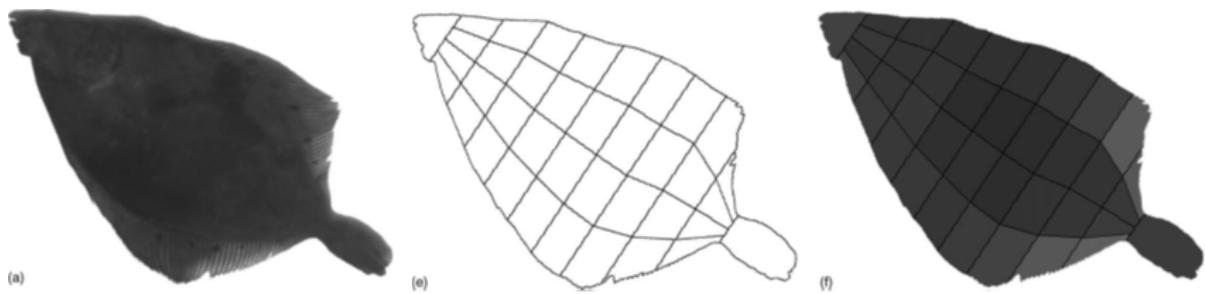


Figura 1.7: Medición automatizada de especies y tallas de peces por visión artificial.
 (a,b,c,d,e,f) Imagen original, bordes, 100 puntos de borde, ejes principales y centro con líneas, enmallado, totalmente procesado.

Fuente: (White, Ssvellingen, y Strachan, 2006, p. 4).

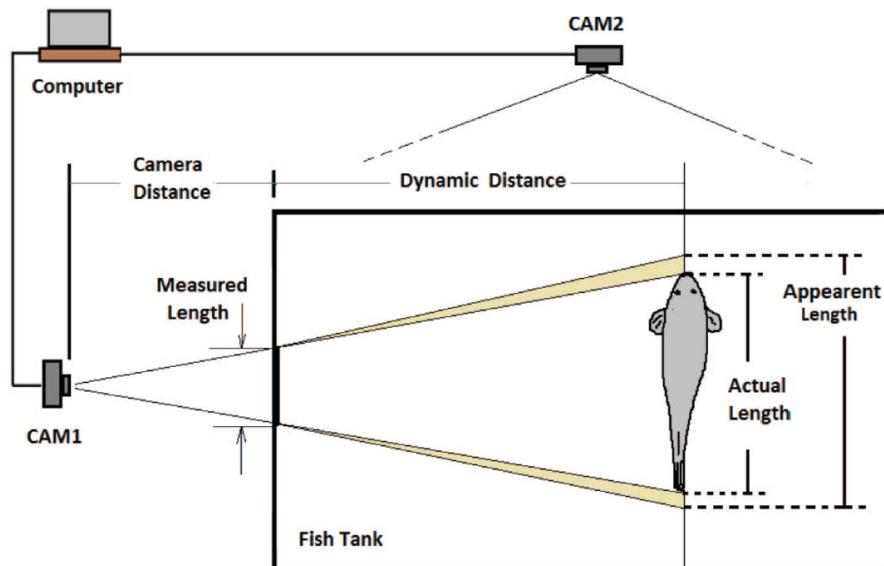


Figura 1.8: Medición de peces dentro de estanques con cámaras ortogonales.
 Fuente: (Al-Jubouri, Al-Nuaimy, Al-Taee, y Young, 2017).

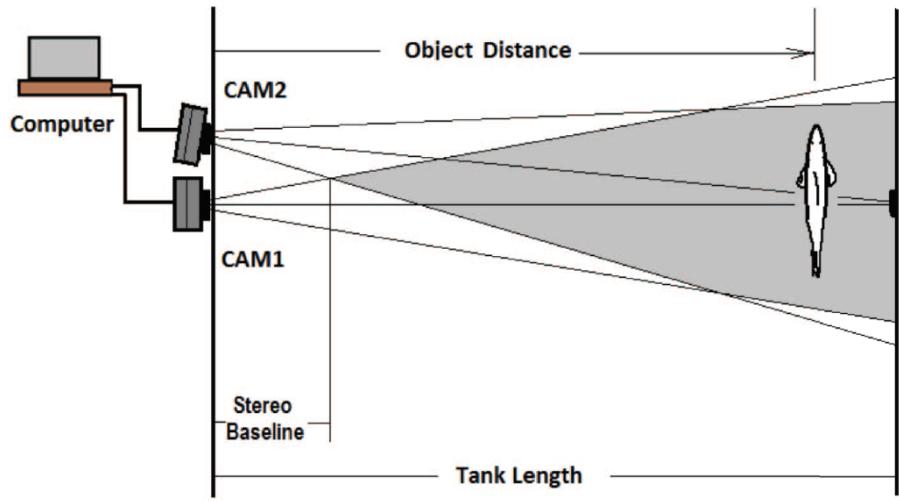


Figura 1.9: Medición de peces dentro de estanques con cámaras estéreo.

Fuente: (Al-Jubouri y cols., 2017).

En la Figura 1.8 y Figura 1.9 se muestra dos métodos para extraer la medida real de un pez para poder ser clasificado. El primero muestra un arreglo ortogonal de cámaras, en el caso de poder acceder en dos planos del estanque. El segundo muestra un arreglo que permite medir distancias entre puntos de interés mediante el uso de solo un plano del estanque.

Clasificación usando técnicas de inteligencia artificial

Esta tecnología es robusta, es decir, funciona aceptablemente con ruido, cambios en condiciones ambientales, cambios en la adquisición de datos, entre otros cambios. La técnica se basa en redes neuronales¹⁰, con las que se logra una gran precisión para detectar y segmentar objetos en muchas diferentes condiciones (en este caso peces).

¹⁰Las redes neuronales son usadas para modelar libremente la forma en que un cerebro biológico parametriza datos.

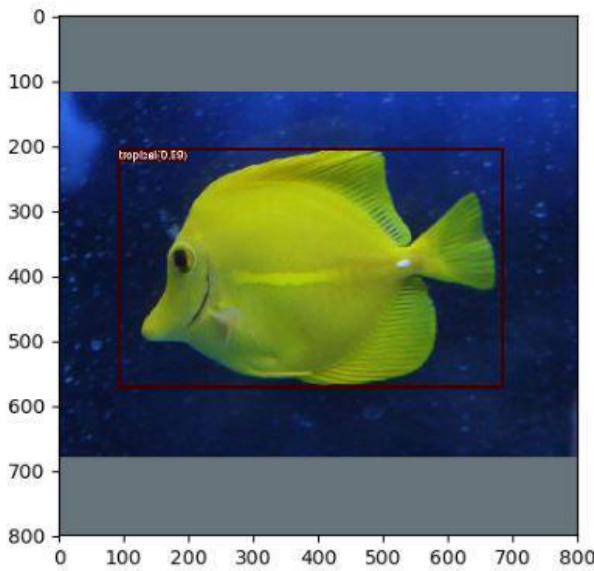


Figura 1.10: Pez identificado por una red neuronal.

Fuente: (Varalakshmi y J, 2019).

Este tipo de técnicas dependen de muchas variables y factores, en la Tabla 1.3 se muestra los principales, con los cuales se logra una mejor precisión de clasificación.

Cuadro 1.3: Comparación de diferentes funciones de activación.

Nº	Capa convolucional	Capa reductora	Capa completamente conectada	Epoch	Precisión	Funciones de activación
1	2	2	2	50	95 %	ReLU, Sigmoid
2	2	2	2	50	50 %	ReLU, Softmax
3	4	4	4	50	48 %	ReLU, Sigmoid

Fuente: (Varalakshmi y J, 2019).

Comparación

La Tabla 1.4 desarrolla una comparación tanto cuantitativa como cualitativa de los métodos de clasificación de peces. **La cantidad de peces por hora** se refiere a la máxima cantidad que se puede clasificar en una hora según el método. **El mantenimiento** es la frecuencia en la cual la máquina pasa una inspección para verificar su correcto funcionamiento. El **costo de**

implementación se refiere al costo de diseñar e implementar el método. El **costo de funcionamiento** se refiere al consumo energético en general del empleo del método. La **precisión** se refiere a la cantidad de peces bien clasificados en el proceso. La calificación “bajo, medio, alto” son juicios del autor, basándose en su experiencia.

Cuadro 1.4: Comparación entre los métodos de clasificación.

Criterio\Método	Manual	Mecánico	Visión por computadora	Inteligencia Artificial
Cantidad de peces por hora	120 (por operario)	18000	Según capacidad de cómputo	Según capacidad de cómputo
Mantenimiento	-	Semestral	Anual	Anual
Costo de implementación	Bajo	Medio	Medio	Medio
Costo de funcionamiento	Bajo	Bajo	Medio	Alto
Precisión	Media	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: Elaboración Propia.

1.2.3. Sistema de conteo de peces

El proceso se realiza como método para calcular la **biomasa**¹¹, verificar la **mortandad** y con propósitos de venta. Se realiza un conteo del pez¹² directa o indirectamente.

Conteo manual

Debido a que realizar de forma separada y manual los procesos de clasificación, conteo o curado¹³ de truchas requeriría de excesivo tiempo y operarios, se suele realizar los tres procesos de manera como si de un solo proceso se tratase como se muestra en la Figura 1.11. El proceso resultante contempla los tres subprocesos de manera secuencial: extracción de la trucha de los estanques o jaulas flotantes, curado, clasificación, conteo y cálculo de biomasa en un determi-

¹¹La masa total de peces en un volumen determinado, se usa para determinar la cantidad de alimentación.

¹²Animal acuático vivo.

¹³Proceso de aplicar sal marina a los peces con la finalidad de sanar de enfermedades como *saprolegniosis* o *exoftalmia*.

nado recipiente.

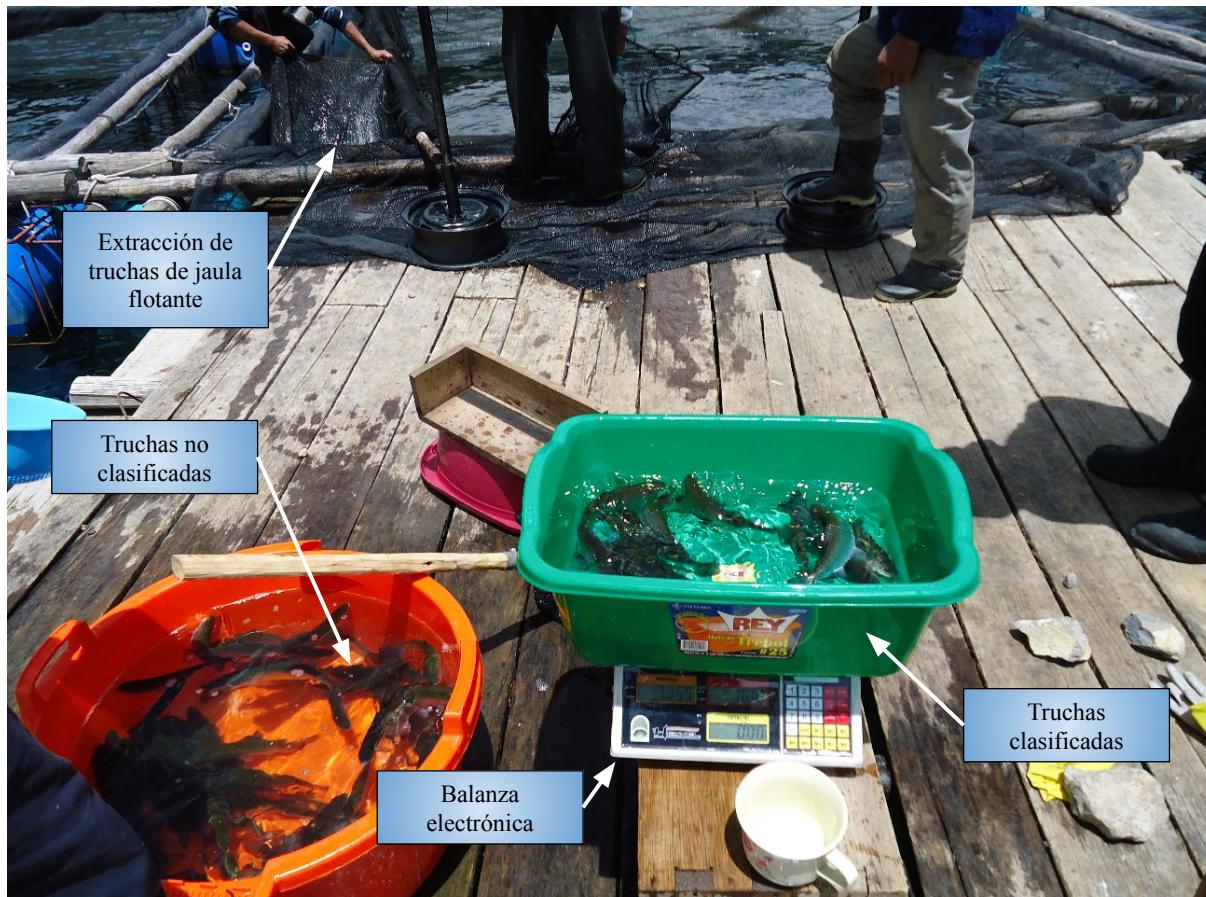


Figura 1.11: Clasificación, conteo, curado y cálculo de biomasa en la laguna de Canrash, Ancash, Perú.
Fuente: Elaboración propia.

Conteo por sensores

Este tipo de conteo se basa en el uso de sensores en general (láseres, ultrasonidos, presencia, capacitivos, entre otros). El contador que se muestra en la Figura 1.12 realiza un conteo mediante el uso de láseres infrarrojos que forman una *cortina*¹⁴. El pez en tránsito impide que el láser llegue al lado opuesto en el cual se recibe la luz en un sensor receptivo, generando así un control lógico sobre la presencia del pez. Con la finalidad de evitar mal conteo por super-

¹⁴Llamada también barrera.

posición de los peces se suele tener un sistema que canaliza un pez a la vez que pase por el sistema contador.

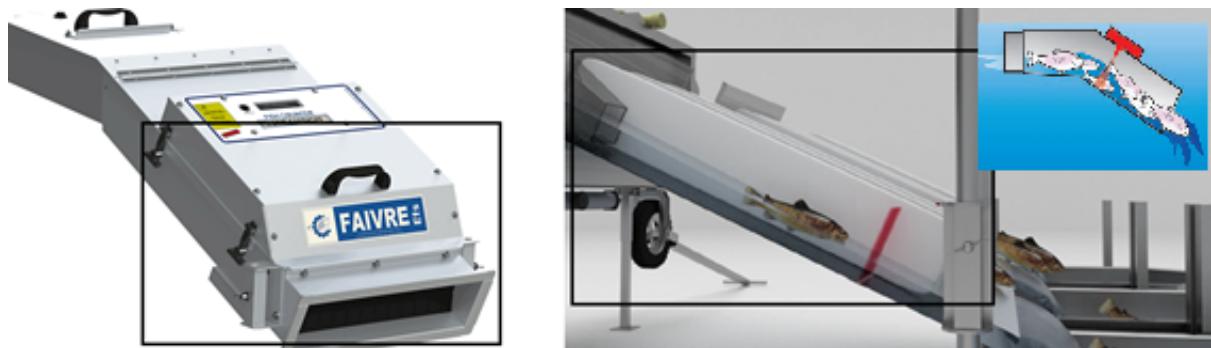


Figura 1.12: Contador de peces basado en luz infrarroja.

Fuente: (FAIVRE, 2013).

Conteo mediante visión por computadora

El proceso de conteo mediante visión por computadora se realiza a partir de una imagen capturada desde un plano específico como se muestra en la Figura 1.13. Dicha imagen se procesa para poder realizar una segmentación adecuada de la trucha y así poder contabilizarlas. El número de cámaras y las posiciones varían dependiendo de qué se busca.

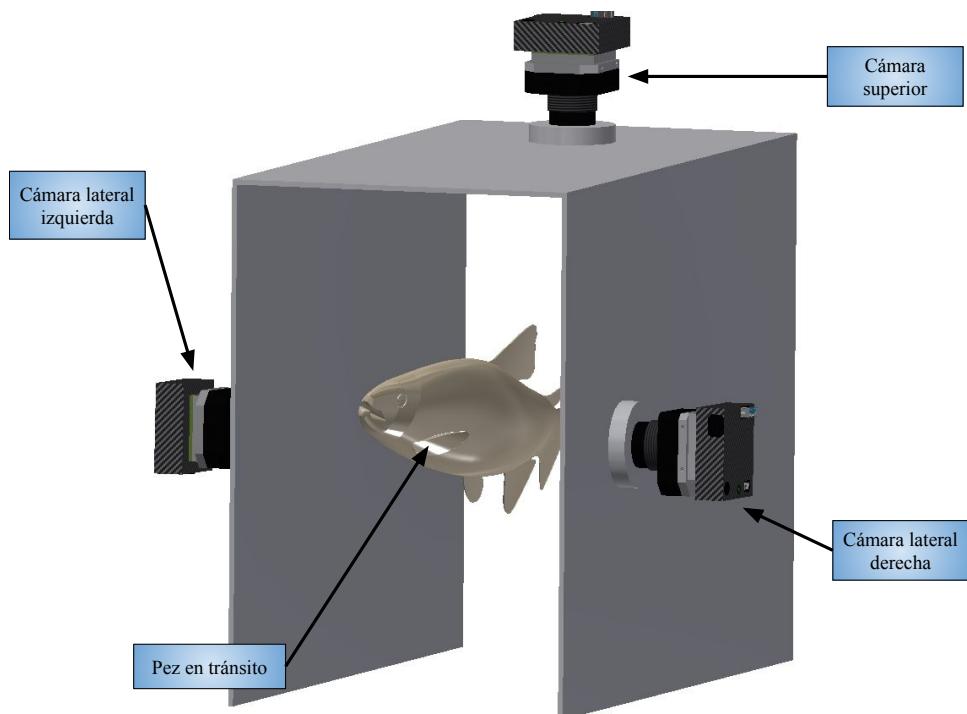


Figura 1.13: Planos comunes de posicionamiento para cámaras de inspección.

Fuente: Elaboración propia.

Conteo mixto

El conteo mixto¹⁵ se realiza usando imágenes, electrónica y software para aumentar la precisión del conteo. El fabricante afirma tener una alta precisión, sistema fácil de usar, sistema fácil de movilizar y en un tiempo corto. (AquaScan, 2015)

¹⁵Método que emplea sensores y visión por computadora.



Figura 1.14: Contador de peces mediante escáneres.

Fuente: Elaboración propia.

Comparación

En la Tabla 1.5 desarrolla una comparación tanto cuantitativa como cualitativa de los métodos de conteo de peces. **La cantidad de peces por hora** se refiere a la cantidad de peces que puede contar en una hora. **El mantenimiento** se refiere a la frecuencia con la cual se inspecciona el funcionamiento correcto del método. **El costo de implementación y de funcionamiento** se refieren a los costos de diseño, implementación y de marcha. **La precisión** se refiere a la cantidad de peces correctamente contados en comparación con los que no fueron contados. La calificación “*bajo, medio, alto*” son juicios del autor, basándose en su experiencia.

Cuadro 1.5: Comparación entre los métodos de conteo de peces.

Criterio\Método	Manual	Sensores	Visión por computadora	Mixto
Cantidad de peces por hora	120 (por operario)	95000	Según capacidad de cómputo	Según capacidad de cómputo
Mantenimiento	-	Semestral	Anual	Anual
Costo de implementación	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Costo de funcionamiento	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Precisión	Media	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: Elaboración propia.

1.2.4. Extracción de características de peces

“La evaluación del comportamiento o fisiología de los peces cultivados siempre ha sido difícil debido al tiempo de muestreo, las diferencias entre las condiciones experimentales y el sesgo metodológico inherente. Sin embargo, los recientes avances en la tecnología de visión artificial¹⁶ han abierto posibilidades para observar mejor el comportamiento de los peces. Tal tecnología permite herramientas de inspección no destructivas, rápidas, económicas, consistentes y objetivas, mientras que proporcionando técnicas de evaluación basadas en el análisis y procesamiento de imágenes en una amplia variedad de aplicaciones” .(Niu y cols., 2018, p. 1) El presente trabajo de investigación se enfoca en las dimensiones de los peces.

Extracción mediante inspección visual

En el subíndice REF se explica sobre el uso de herramientas para poder medir al pez. Mientras se toma la medida un profesional o técnico acuícola realiza una inspección visual para detectar enfermedades víricas, bacterianas o fúngicas visibles.

Extracción de características mediante visión por computadora

La empresa acuícola noruega *Cermaq Group AS* está planeando la implementación de un sistema de reconocimiento facial como parte de un proyecto de última tecnología llamada iFarm.(Daley, 2018) Este tipo de técnicas se recomienda para medianas y grandes empresas debido al alto costo de implementación y mantenimiento. Las principales ventajas, a diferencia de métodos tradicionales, son la personalización y seguimiento de cada pez analizado, es decir, se puede tener un reporte de vida de cada trucha. Esta innovación brinda una precisión muy alta ya que suele ser apoyada por algoritmos de inteligencia artificial que brindan robustez al sistema. Gracias al análisis personalizado se puede identificar los principales problemas que aquejan a los peces, a diferencia del análisis general que se realiza comúnmente. Según la

¹⁶Elsevier afirma que la tecnología de visión por computadora se considera existente desde 1973 hasta la fecha.

empresa, este método disminuye la mortandad de 50% a 25% en todo el proceso de cultivo. En la Figura REF se ejemplifica el reporte.

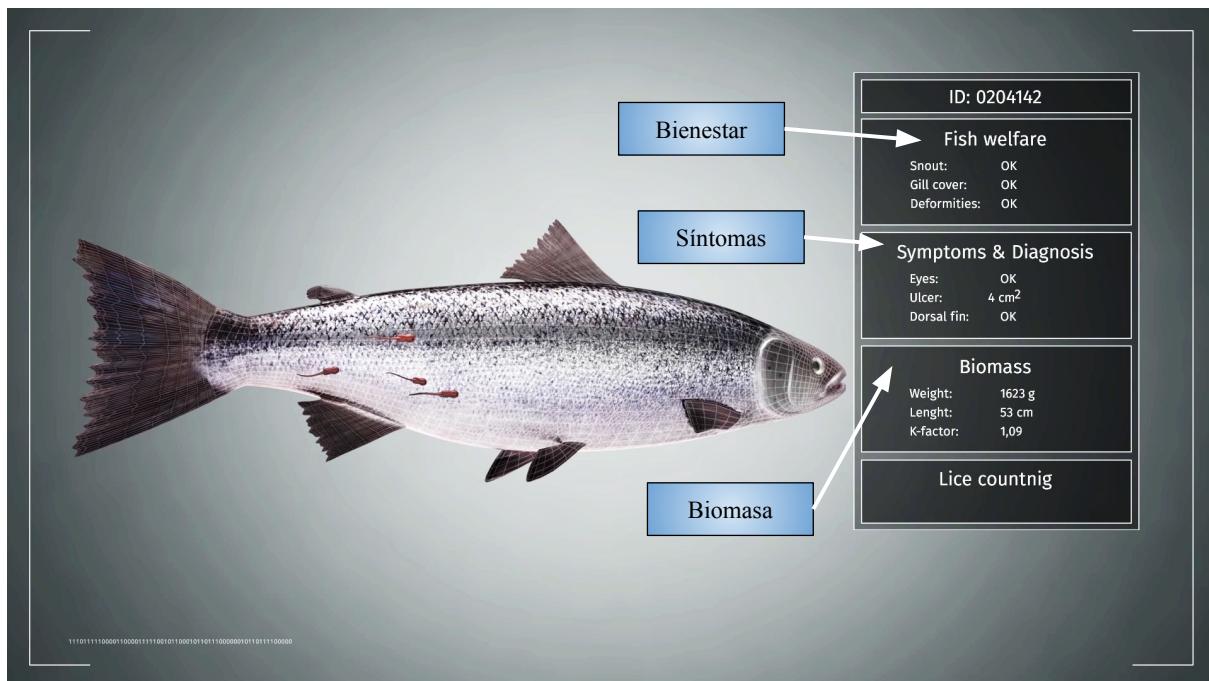


Figura 1.15: Extracción de características mediante visión por computadora.

Fuente: (Biosort, 2016)

Hao M. diseño un sistema de visión artificial que puede medir con precisión la longitud de los peces, tiene dos tipos de funcionamiento del sistema. El primer tipo solo usa una imagen y posee una referencia para poder estimar la longitud del pez a través de la transformación de Hough (Figura REF). El segundo tipo usa más imágenes para realizar un modelo 3d, la investigación indica que el sistema funciona con precisión. (Niu y cols., 2018, p. 4-5)

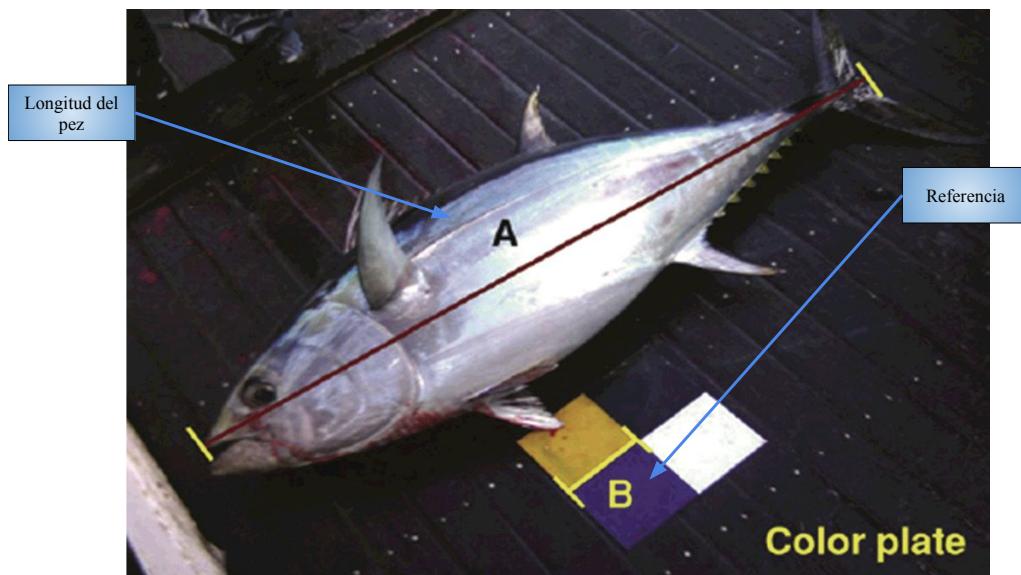


Figura 1.16: Usando la relación entre A y B para calcular la longitud del pez.
Fuente: (Hao, Yu, y Li, 2016)

1.2.5. Sistema de traslado de peces

El proceso de llevar un pez de un estanque o jaula flotante a un lugar específico se denomina traslado. Dicho traslado es necesario al momento de clasificar, contar y procesar en general al pez. Durante el cultivo de trucha esta práctica se repite con frecuencia, y en caso no fuera empleada de manera correcta el pez puede morir.

Traslado manual

Los operarios usan redes en un cabezal metálico en forma circular apoyados por un palo metálico o de madera para trasladar a las truchas¹⁷.

¹⁷También son llamadas sacaderas telescopicas.



Figura 1.17: Usando la relación entre A y B para calcular la longitud del pez.

Fuente: Seomusen vía Amazon.

Traslado automático

En la Figura 18 se muestra cómo se recepciona los peces en tránsito que están dentro de una tubería que son impulsadas por una corriente de agua, generada posiblemente por una bomba para peces¹⁸.

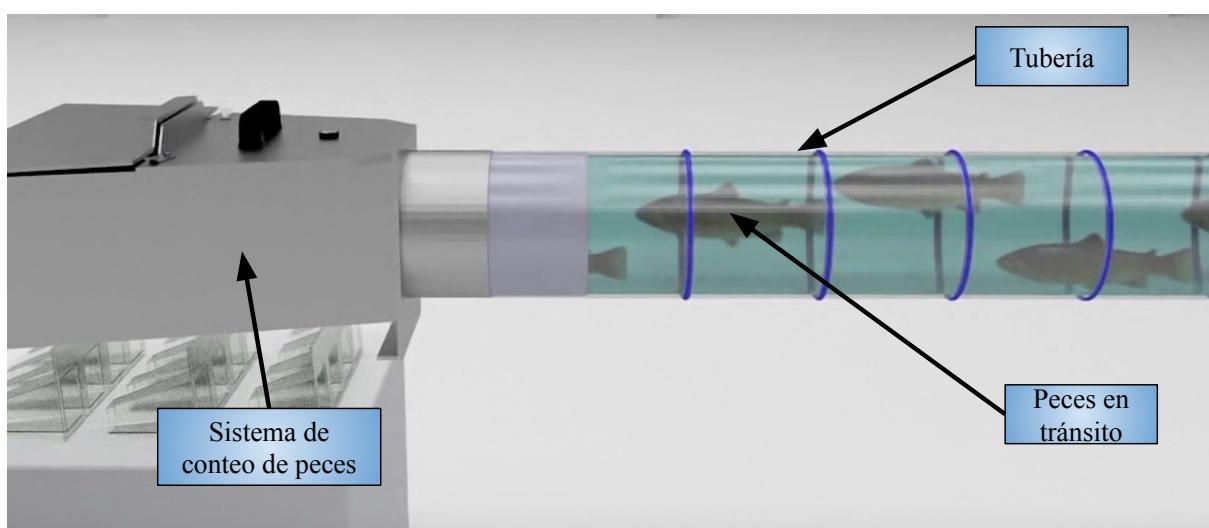


Figura 1.18: Recepción automática por bombeo de peces mediante tubería.

Fuente: Videos recopilados de FAIVRE

¹⁸También llamada bomba "*pin pin*", realiza una función similar a una bomba centrífuga, pero con peces en lugar de solo agua.

Comparación

En la Tabla REF desarrolla una comparación tanto cuantitativa como cualitativa de los métodos de conteo de peces. La **cantidad de peces por hora** se refiere a la cantidad de peces que puede transportar en una hora. El **mantenimiento** se refiere a la frecuencia con la cual se inspecciona el funcionamiento correcto del método. El **costo de implementación** y de **funcionamiento** se refieren a los costos de diseño, implementación y de marcha. La precisión se refiere a la cantidad de peces trasladados que no mueren. La calificación “*bajo, medio, alto*” son juicios del autor, basándose en su experiencia.

Cuadro 1.6: Comparación entre los métodos de traslado de peces.

Criterio\Método	Manual	Automático
Cantidad de peces por hora	360 aproximadamente (por operario)	20000
Mantenimiento	-	Semestral
Costo de implementación	Bajo	Alto
Costo de funcionamiento	Bajo	Alto
Precisión	Bajo	Medio

Fuente: Elaboración propia.

1.2.6. Productos comerciales y patentes

En el mercado internacional se distribuyen máquinas que realizan la clasificación, conteo o ambos de manera semiautomática y completamente automática.

Dispositivo de clasificación de peces y método de clasificación de peces (*Patente JP5563164B2*)

El control de la clasificación de los peces se realiza por límites de peso, es decir, se asigna dos límites en gramos y este dispositivo logra separar la entrada de peces en tres rangos. La máquina trabaja con peces vivos y permite, según los inventores, una clasificación rápida y precisa de un modo eficiente. La recepción de peces puede darse solo para un pez vivo a la vez. El compartimiento de clasificación mide 0.5 metros, llamado compartimento de pesaje. El ingreso

de datos mediante una unidad de control que posee una interfaz de usuario y un dispositivo de memoria electrónica para ingresar y recepcionar datos. La invención, según los desarrolladores, es observar la diferencia de crecimiento comparando con anteriores clasificaciones para distribuirlos mejor en futuros estanques y controlar de una mejor manera la alimentación.(ス
フェン キュネン, 2010)

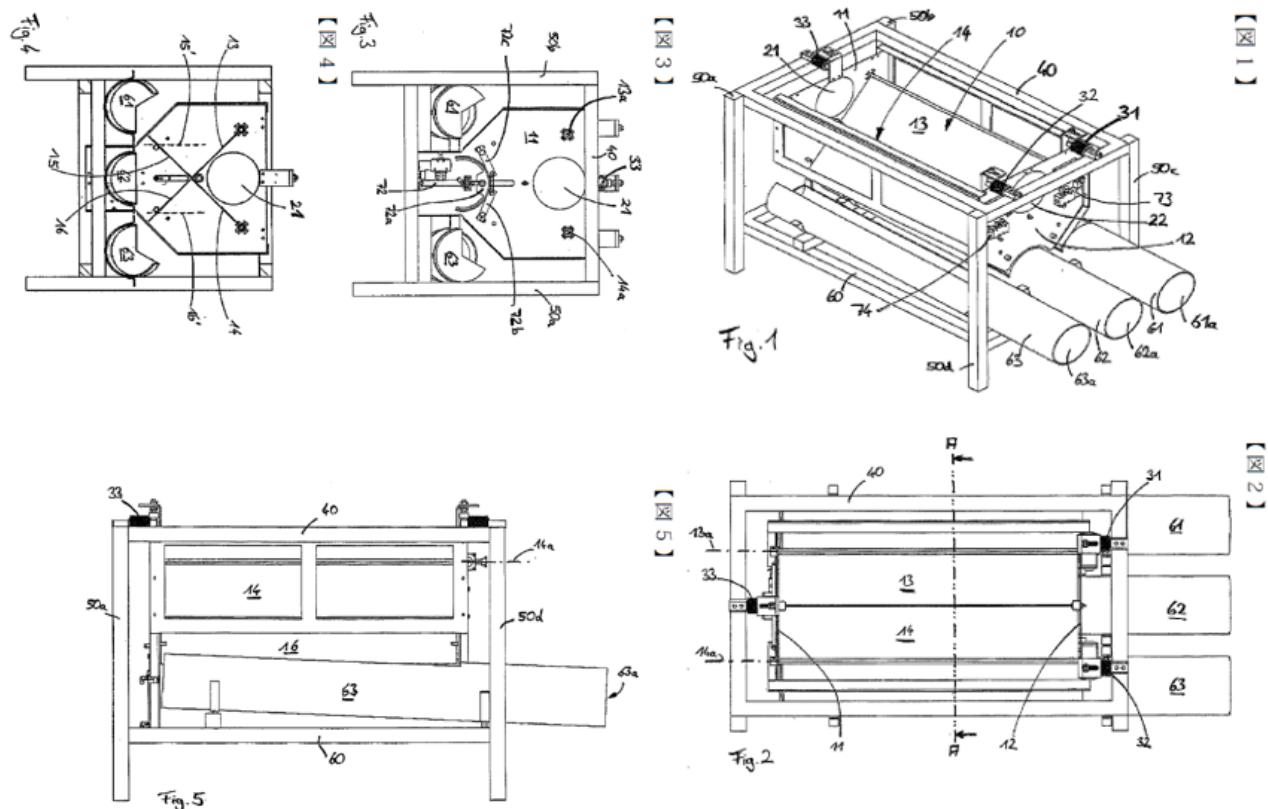


Figura 1.19: Clasificadora automática de peces de origen japonés.

Fuente: Patente JP5563164B2.

Clasificador completamente automático de pescado (Patente CN205180233U)

Este clasificador completamente automático incluye tres máquinas, la primera máquina elevadora, la segunda máquina elevadora y la tercera la niveladora. La salida de la primera máquina se encuentra en la parte superior de la entrada de la segunda máquina, la salida de la segunda máquina se encuentra en la parte superior de la entrada de la niveladora, conectado de

forma fija con la bomba de agua en la segunda máquina de elevación. La ducha se fija en el marco de la primera salida de la máquina de elevación. Esto rectifica y mejora perfectamente al clasificador de peces debido a la rotación del cilindro de surtido.(Fang y cols., 2015)

El fabricante usa tambores de rotación, configuraciones de elevación de peces pa-ra enfriar por pulverizado al pescado, reducir la viscosidad con el objetivo de evitar lesio-nes por uso y desgaste. Además, usa rodillos giratorios para evitar la mala clasificación de los pescados. No se especifica cantidades o porcentaje de error del uso.

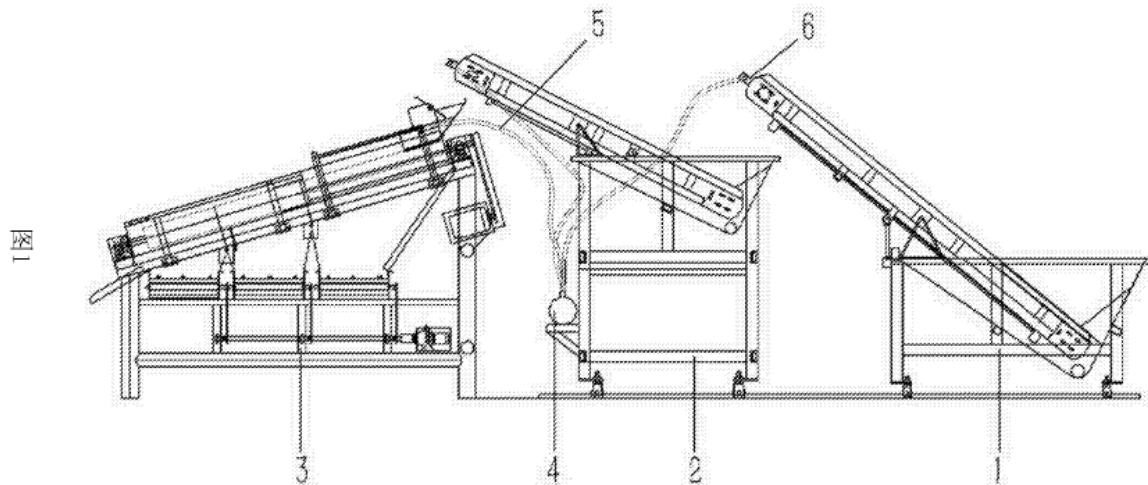


Figura 1.20: Clasificadora automática de peces de origen chino.

Fuente: Patente CN205180233U.

Clasificador y contador automático de peces (*Patente CN203884438U*)

Esta máquina comprende una máquina clasificadora automática y al menos una máquina contadora automática. La máquina de clasificación comprende un marco, las tuberías de salida de peces, cada máquina de conteo automático comprende un tanque de peces de conteo, un tubo de entrada de peces está dispuesto en un extremo de cada tanque de peces de conteo y cada tubo de cada salida de peces se comunica con la tubería de entrada de pescado correspondiente. El clasificador automático de peces tiene las ventajas de que los tamaños y las cantidades de peces se pueden distinguir con ayuda de las máquinas, por lo tanto, el tiempo de trabajo se

puede reducir, la eficiencia de trabajo se puede mejorar en gran medida, se puede garantizar la precisión de los daos y se puede evitar lesiones y aumentar la tasa de supervivencia de los peces al pasar por este proceso.(Jingwen, 2014) El inventor **no precisa** materiales de fabricación, cuantificación de la cantidad máxima de producción, porcentajes de error u otros puntos específicos.

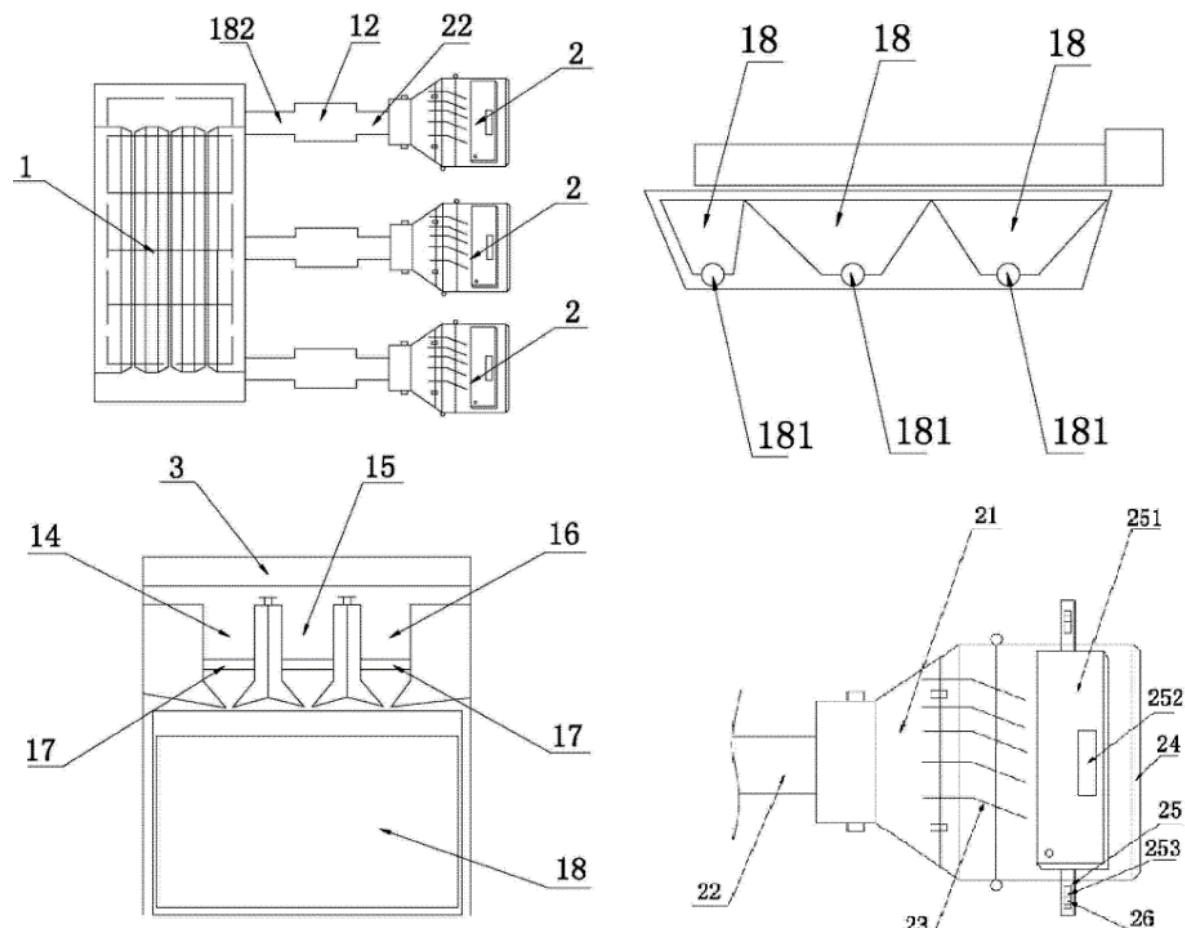


Figura 1.21: Clasificadora automática de peces de origen chino.

Fuente: Patente CN203884438U.

Seleccionadora completamente automática AGK

Según el fabricante, las ventajas de este sistema son la suavidad y principios de ajuste simples, construcción ligera, freno automático, suministro de agua simple, buena estabilidad, embudo de llenado extraíble. En cuanto a la clasificación: puede ser usada en truchas de 8 a 10,

10 a 20 y de 20 a 30 centímetros como rangos para clasificación. Las dimensiones de la seleccionadora son de 3500x1000x1180 milímetros. El peso de la máquina es de 150 kilogramos y tiene una potencia de 0.15 kW ya que hace uso cintas transportadoras y admite un suministro eléctrico de 220 y 380 VAC. Los materiales usados en la clasificadora son de acero galvanizado, acero inoxidable, aluminio y plástico.(AGK Aquakultur - Teich, 2010) Sin embargo, el fabricante menciona que la venta es solo para medianas y grandes empresas, según la normativa alemana.



Figura 1.22: Clasificadora de peces de origen alemán.
Fuente: AGK – Aquakultur-Teich.

Clasificador automático para peces Helios

La empresa FAIVRE comercializa la máquina clasificadora Helios 25 para truchas de 5 a 350 gramos (Figura REF) con capacidad para clasificar en 3 tamaños con 2 rieles de clasificación. La máquina está hecha de acero inoxidable AISI 304L o 316L de alta calidad (FAIVRE, 2019). El funcionamiento se divide en tres etapas: primero el sistema de recepción y canalización recibe los peces mediante la conexión a una bomba de peces en funcionamiento y los envía al siguiente sistema de manera que no ingresen dos peces al mismo tiempo; segundo, los peces pasan por canales (Figura REF) impulsados por cadenas transportadoras en los laterales que poseen tiras de goma para trasladar hasta que se clasifique mecánicamente; tercero, luego de estar en la sección respectiva la trucha sale de la máquina mediante tuberías.



Figura 1.23: Clasificadoras automáticas para peces de origen francés.

Fuente: Empresa acuícola FAIVRE.

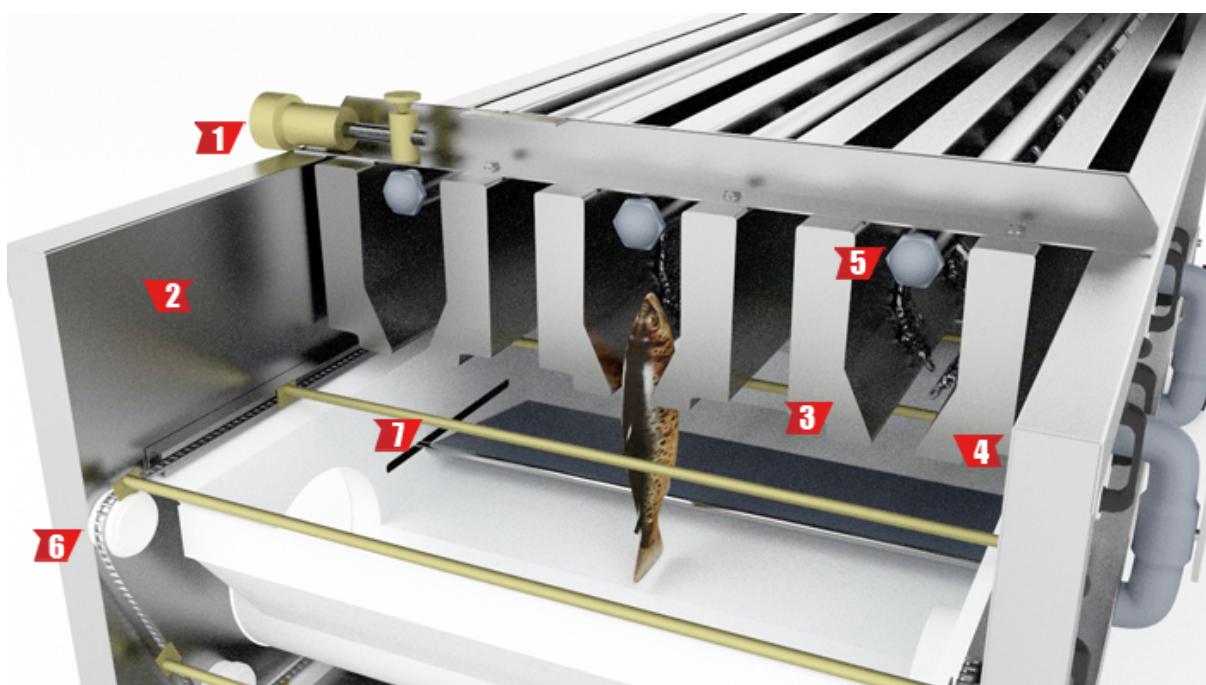


Figura 1.24: Clasificadoras automáticas para peces de origen francés.

1. Configuración
2. Panel lateral
3. Panel ajustable
4. Panel fijo
5. Riego
6. Cadena transportadora
7. Tiras de goma

Fuente: (FAIVRE, 2018).

La empresa francesa cuenta con máquinas que pueden clasificar y posteriormente contar para saber la cantidad de peces que se están redistribuyendo como se visualiza en la Figura REF. En esta versión además incluye una interfaz de control más avanzada con más funciones.

Descripción del seleccionador :



Figura 1.25: Seleccionador con contador integrado y sus partes.

Fuente: FAIVRE.

Clasificador automático de peces y contador automático Pentair V-100 00140

Pentair se dedica al diseño y venta de máquinas acuícolas a pedido. La cotización de una clasificadora (*Pentair V-100 00140*) y contadora (*Pentair V-10007*) muestra precios elevados como se muestra en la Figura REF. El diseñador y fabricante asegura tener una cercana a 97 %. La cotización implicó brindar datos: el estándar de suministro eléctrico peruano, el tipo de pez a

contar (*trucha*), el rango de gramajes y la dirección de destino. Además, Pentair especificó que las máquinas cotizadas funcionan como un sistema unido y que, si se empleaba otras marcas en ese sistema, la marca no se responsabilizaba por mal funcionamiento.

Cuadro 1.7: Extracto de cotización de máquinas clasificadora y contadora para peces.

Nº	Ítem	Detalles	Cantidad	Acordado	UM	Precio unitario	Precio total (\$)
2	V-10007 MACRO COUNTER, THREE/FOUR CHANNEL Vaki Macro 4 channel counter for fish from 0.2g up to 400g. Counts graded fish in up to 4 channels simultaneously.	-	1.0	1.0	EA	64 027.00	64 027.00
3	V-100 00140 GRADER 140CM DIAMETER Vaki 140cm rotary fish grader. Grades fish from 0.5g up to 200g in up to grades. Includes dewatering system and spray bar.	-	1.0	1.0	EA	53 567.00	53 567.00

Fuente: Pentair.

Clasificador de peces *Apollo*

Este tipo de clasificador suele ser destinado al uso industrial. El fabricante tiene diferentes máquinas con diferentes gramajes para clasificar (1 a 650 g y 5 a 750 g). Tiene cuatro de tres a cuatro salidas. Usa el suministro eléctrico estándar noruego (230/400 VAC 50Hz.). Realiza el conteo de hasta cuatro toneladas por hora cuando clasifica salmones de un rango específico (300 a 400 g). El sistema clasifica de forma similar al representado en la Figura REF. (Apollo, 2013)



Figura 1.26: Clasificadora de peces de origen danés.
Fuente: FAIVRE.

Contador de peces *Pescavision*

Los contadores de peces mostrados en la Figura 28 funcionan bajo el mismo principio que sus clasificadores mostrados en el índice 1.2.6.5, es decir, mediante el uso de barreras de luz infrarroja. El fabricante asegura que los modelos Pescavision50 y Pescavision300 pueden llegar a tener una precisión total (100%) y conforme aumenta sus capacidades de conteo aumenta también las dimensiones de la máquina y el gramaje mínimo que puede contar. A diferencia de otros sistemas estas máquinas sí son compatibles con el estándar de electricidad que se emplea en Perú.

Contador de peces *Calitri*

Comparación

Capítulo II

Fundamentos teóricos

2.1. Canales RGB y HSV

2.2. Segmentación de imágenes

2.3. Redes neuronales

2.4. Identificador mediante redes neuronales

Capítulo III

Diseño Mecatrónico

3.1. Desarrollo de proyecto conceptual

3.1.1. Lista de requerimientos

3.1.2. Caja negra

Función principal

Entradas

Salidas

3.1.3. Estructura de funciones

Lista de funciones por subsistema

3.1.4. Matriz morfológica

3.1.5. Conceptos de solución

Concepto de solución N° 1

Concepto de solución N° 2

Concepto de solución N° 3

3.1.6. Evaluación técnico-económica

Capítulo IV

Costos

4.1. Manufactura

4.2. Precio unitario

Referencias

- 沈蓓杰, 章星明, 孙德祥, 李正荣, 许世富, 俞爱萍, ... 芮金兵 (2017). *Método de cría integrado para la trucha de esturión y la trucha arco iris.* Descargado de <https://patents.google.com/patent/CN107258625A/en?q=trout{\&}q=farming{\&}oq=trout+farming>
- 利岡本高瀬, . (2005). *Reared rainbow trout, breeding by methods and a method for cultivation or farming, aquaculture or farmed been rainbow trout.* Descargado de <https://patents.google.com/patent/JP4468278B2/en?q=trout{\&}q=farming{\&}oq=trout+farming>
- スフエン キュネン. (2010). *Fish classification device and fish classification method.* Descargado de <https://patents.google.com/patent/JP5563164B2/en?oq=JP5563164B2>
- AGK Aquakultur - Teich. (2010). *Vollautomatische Sortiermaschine.* Descargado de <https://www.agk-kronawitter.de/shop/Aquakultur-Teich/Sortiergeraete/Sortiermaschine/Vollautomatische-Sortiermaschine.html>
- Al-Jubouri, Q., Al-Nuaimy, W., Al-Taee, M., y Young, I. (2017). Towards automated length-estimation of free-swimming fish using machine vision. *2017 14th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, SSD 2017, 2017-Janua*, 469–474. doi: 10.1109/SSD.2017.8166931
- Andina. (2019). *Sector acuícola peruano conquistará nuevos mercados de exportación.* Descargado 2019-09-20, de <https://andina.pe/agencia/noticia-sector-acuicola>

-
- peruano-conquistara-nuevos-mercados-exportacion-759533.aspx
- Apollo. (2013). *Apollo – Fish grader.*
- AquaScan. (2015). *AquaScan Registration Unit CSF1600.* Descargado de <http://www.aquascan.com/event/dolink/famid/347548>
- Biosort. (2016). *iFarm - Individualized aquaculture.* Descargado 2019-09-21, de <https://www.youtube.com/watch?v=JsGPwjEIEio>
- Daley, J. (2018). *How Fish Farms Can Use Facial Recognition to Survey Sick Salmon.* Descargado 2019-09-23, de <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/facial-recognition-will-be-used-monitor-fish-faces-180970493/>
- FAIVRE. (2013). *Fish counter Pescavision.* Autor. Descargado de <http://www.faivre.fr/index.php/en/products/fish-counters/en-pescavision-counter/19-en-produits/109-en-counter-p30>
- FAIVRE. (2018). *Principle of the SPS technology.* Descargado 2019-09-23, de <http://www.faivre.fr/index.php/en/products/fish-graders/19-en-produits/183-en-fish-grader-sps>
- FAIVRE. (2019). *Seleccionadores automáticos.* Autor. Descargado de <http://www.faivre.fr/index.php/en/products/fish-graders/fish-grader-helios-25>
- Fang, J., Zhu, J., Meng, L., Zhao, B., Liang, Y., y Shao, L. (2015). *Full -automatic fish grader.* Descargado de <https://patents.google.com/patent/CN205180233U/en?oq=CN205180233U>
- FAO. (2005). *Clasificacion Por Tamaño De Los Peces.* Descargado de http://www.fao.org/fishery/static/FAO{_\}Training/FAO{_\}Training/General/x6709s/x6709s12.htm{\#}top
- FAO. (2014). Manual Práctico para el Cultivo de la Trucha Arcoíris. *FAO Fisheries and Aquaculture, 44.* Descargado de <http://www.fao.org/3/a-bc354s.pdf>
- FAO. (2017). *Statistics Fisheries and Aquaculture Statistics Statistiques Des Pêches.* doi:

10.1109/BMEI.2010.5639447

- Flores, J. M. M., Quispe, M. Á. Y., Flores, A. Q., Arias, L. G., Quispe, W. P., Sairitupa, J. C. C., ... Condori, E. M. (2010). Mejorando la rentabilidad de la truchicultura en el lago titicaca con vision empresarial y responsabilidad social ambiental. *Módulo de buenas prácticas en la producción de trucha*, 39. Descargado de http://www.labor.org.pe/descargas/modulo{_}buenas{_}practicas{_}produccion{_}truchicola{_}puno{_}2010.pdf
- FONDEPES. (2014). *Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales*. Descargado de https://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/MANUAL{_}TRUCHA.pdf
- Guevara Patiño, R. (2016). El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos? *Folios*, 1(44), 165–179. doi: 10.17227/01234870.44folios165.179
- Hao, M., Yu, H., y Li, D. (2016). The Measurement of Fish Size by Machine Vision - A Review. En (pp. 15–32). Descargado de http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-48354-2{_}2 doi: 10.1007/978-3-319-48354-2_2
- Jingwen, Z. (2014). *Automatic fish grader*. Descargado de <https://patents.google.com/patent/CN203884438U/en?oq=CN203884438U>
- Martinez, J. (2003). Referencias Documentales Bajo El Sistema “ Harvard ” . Descargado de http://www.tesispsico.unlugar.com/mat{_}catedra/investig{_}documental.pdf
- MINAGRI. (2011). *Hidrobiológico*. Descargado 2019-09-20, de <https://www.minagri.gob.pe/portal/41-sectoragrario/recursos-naturales/320-hidrobiologico>
- Ministerio de la Producción del Perú. (2018). *Anuario Estadístico Pesquero y Acuicola 2017* (Inf. Téc.). Lima. Descargado de <http://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/shortcode/oee-documentos-publicaciones/publicaciones-anuales/item/825-anuario-estadistico-pesquero-y-acuicola-2017>

-
- Niu, B., Li, G., Peng, F., Wu, J., Zhang, L., y Li, Z. (2018). Survey of Fish Behavior Analysis by Computer Vision. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 09(05). doi: 10.4172/2155-9546.1000534
- Powell, K. (2003, nov). Eat your veg. *Nature*, 426(6965), 378–379. Descargado de <https://www.nature.com/articles/426378a> doi: 10.1038/426378a
- Seafood Trade Intelligence Portal. (2018). *Trout in Peru*. Descargado 2019-09-05, de <https://seafood-tip.com/sourcing-intelligence/countries/peru/trout/>
- Varalakshmi, P., y J, J. L. R. (2019). Recognition Of Fish Categories Using Deep Learning Technique. *2019 3rd International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT)*, 168–172.
- Vega, A. (2013). *Diseño de una Máquina seleccionadora de Truchas* (Tesis Doctoral no publicada).
- White, D., Svelingen, C., y Strachan, N. (2006, sep). Automated measurement of species and length of fish by computer vision. *Fisheries Research*, 80(2-3), 203–210. Descargado de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165783606001512> doi: 10.1016/j.fishres.2006.04.009

Anexo