

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, 2 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 FONDEPES (*Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero*), 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

Agradecimientos

Escribir agradecimientos aquí

Índice general

Resumen	I
Introduction	I
Agradecimientos	II
Índice general	III
Índice de figuras	IV
Índice de cuadros	V
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	6
Referencias	13

Índice de figuras

1.1.	Extracción de trucha en toneladas métricas anuales.	5
1.2.	Anatomía de la trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	7
1.3.	(a,b,c) Clasificadora de anchura fija, rejillas de clasificación y clasificadora ajustable.	8
1.4.	Clasificación y medición manual de truchas.	9
1.5.	Herramienta de medición manual para peces.	10
1.6.	Máquina seleccionadora de truchas de A. G. V.	11
1.7.	Medición automatizada de especies y tallas de peces por visión artificial.	11
1.8.	Medición de peces dentro de estanques con cámaras ortogonales.	12
1.9.	Medición de peces dentro de estanques con cámaras estéreo.	12

Índice de cuadros

1.1. Comercio internacional de productos pesqueros por principales importadores y exportadores en miles de dólares.	6
1.2. Clasificación de truchas por etapas de producción.	8

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 auto-**

matizar 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 una propuesta final. En cada etapa del diseño

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

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)

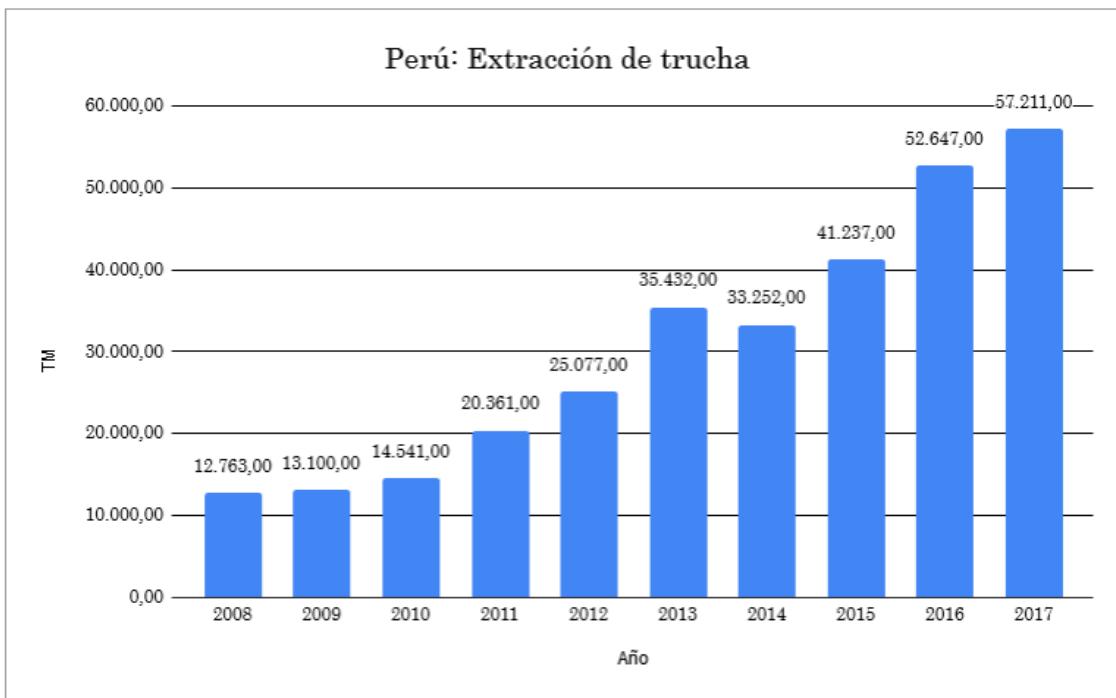


Figura 1.1: Extracción de trucha en toneladas métricas anuales.

Datos (Ministerio de la Producción del Perú, 2018)

Gráfica: Elaboración propia.

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

³Ministerio de Economía y Finanzas.

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

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. (章星明 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.

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		2015	2016	2017				
USA ⁽¹⁾	19 820 311	20 546 742	21 639 466	China	19 737 723	20 131 384	20 524 313	Norway	9 187 704	10 770 007	11 282 174	Viet Nam	6 756 070	7 320 009	8 542 597
Japan	13 460 585	13 878 490	14 997 942	India	4 871 591	5 546 049	7 173 609	USA	5 611 022	5 812 480	6 088 538	Thailand	5 677 394	5 892 629	6 015 280
China	8 467 702	8 783 461	10 679 437	Chile	4 812 362	5 143 365	5 991 129	Canada	4 704 012	5 004 046	5 351 728	Sweden	4 424 106	5 187 383	4 930 538
Spain	6 440 496	7 107 504	7 979 020	Netherlands	3 612 174	4 182 424	5 260 237								
France	5 730 886	6 177 285	6 698 942												
Italy	5 537 898	6 152 964	6 546 856												
Germany	5 132 326	5 601 465	5 718 418												
Korea Rep	4 349 541	4 604 070	5 103 715												
Sweden	4 424 106	5 187 383	4 930 538												

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 alrede-

dor 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 canibalismo⁶**, uniformizar el crecimiento para brindar una alimentación adecuada a la talla, prevenir estrés y agotamiento de los peces.(Flores y cols., 2010, p. 16)

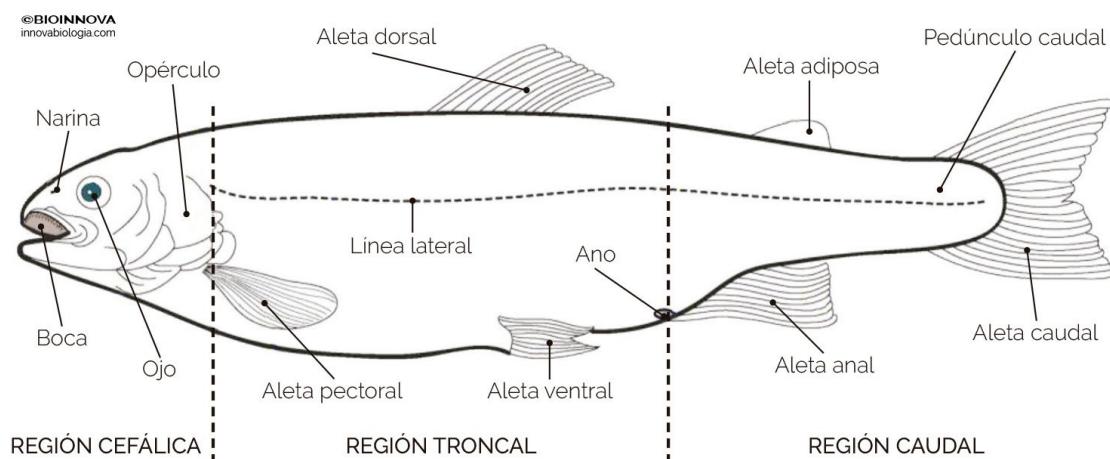


Figura 1.2: Anatomía de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).
Fuente: Bioinnova.

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.

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.

⁷Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero

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 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)

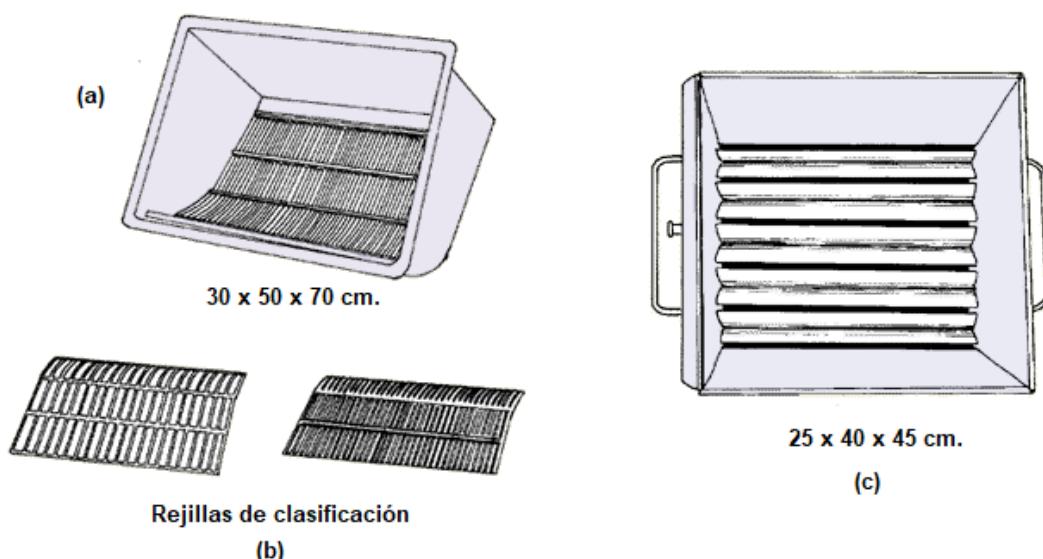


Figura 1.3: (a,b,c) Clasificadora de anchura fija, rejillas de clasificación y clasificadora ajustable.

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.



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.

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

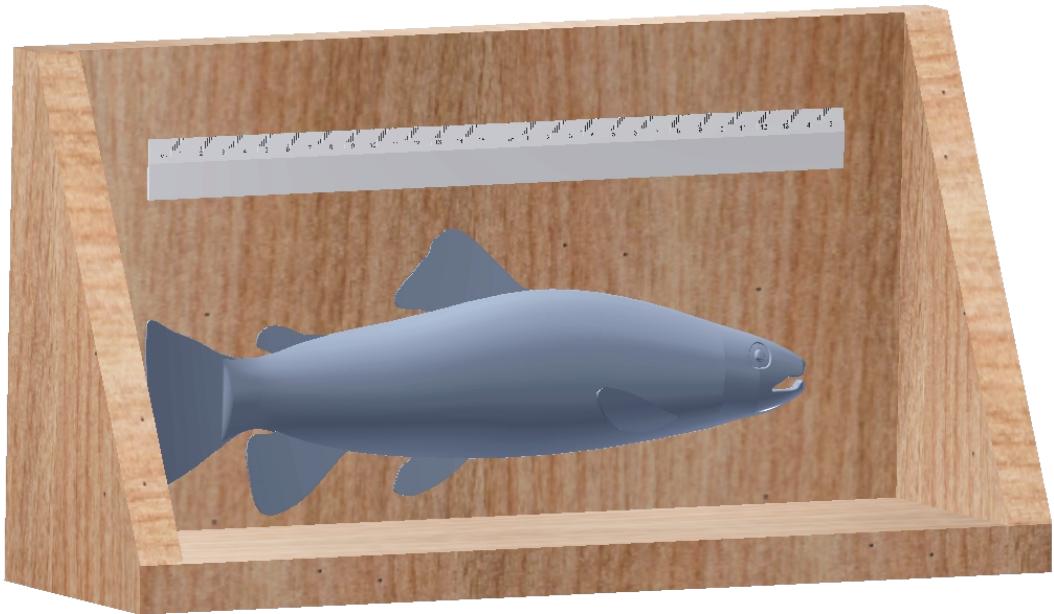


Figura 1.5: Herramienta de medición manual para peces.
Fuente: Elaboración propia.

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 motor-reductor, 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)

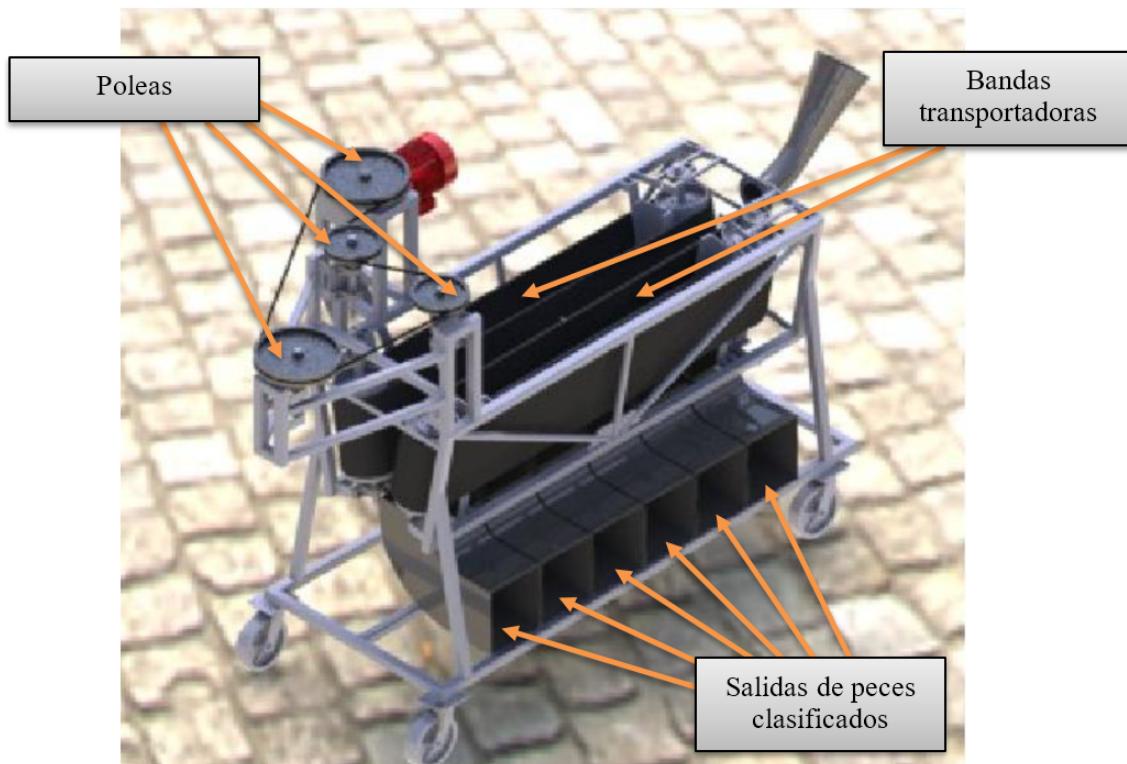


Figura 1.6: Máquina seleccionadora de truchas de A. G. V.
Fuente: Tesis “Diseño de una Máquina Selecciónadora de Truchas” .

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)

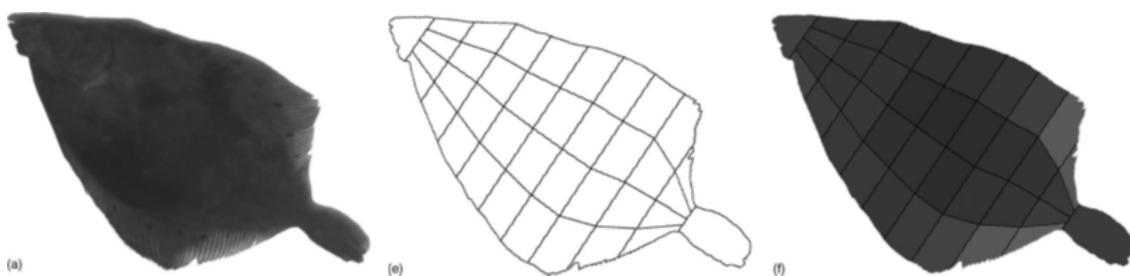


Figura 1.7: Medición automatizada de especies y tallas de peces por visión artificial.
(a,b,c,d,e,f) Imagen original, bordes, 100 puntos de borde, ejes principales y centro con líneas, enmallado, totalmente procesado.
Fuente: (White, Svellingen, y Strachan, 2006, p. 4).

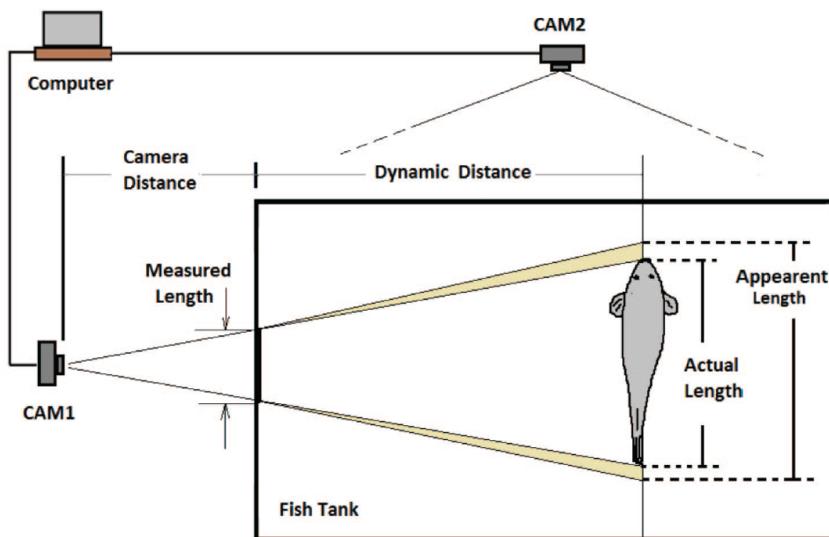


Figura 1.8: Medición de peces dentro de estanques con cámaras ortogonales.

Fuente: (Al-Jubouri, Al-Nuaimy, Al-Taee, y Young, 2017).

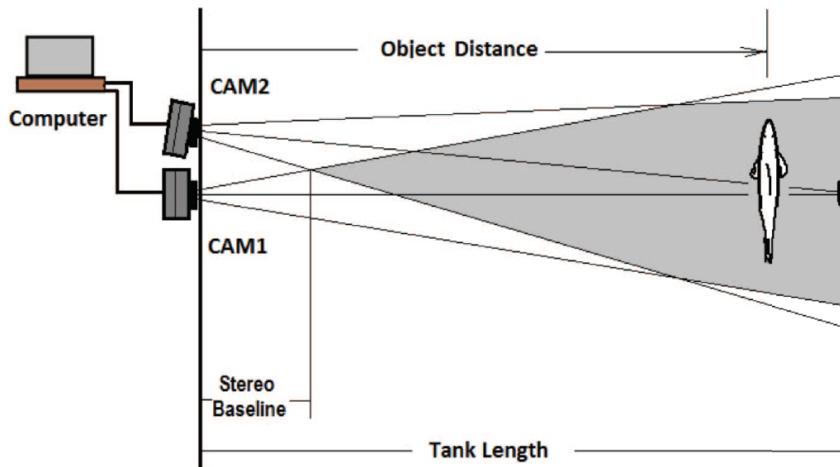


Figura 1.9: Medición de peces dentro de estanques con cámaras estéreo.

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 neuronales , con las que se logra una gran precisión para detectar y segmentar objetos en muchas diferentes condiciones (en este caso peces).

Referencias

- 章星明, . ., 孙德祥, 李正荣, 许世富, 俞爱萍, 周洵, y 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+f>
- 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+far>
- 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-me>
- FAO. (2005). *Clasificacion Por Tamaño De Los Peces.* Descargado de http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s.html
- 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: http://dx.doi.org/10.1787/8f9253d9_en

10.1109/BMEI.2010.5639447

Flores, J. M. M., Quispe, M. Á. Y., Flores, A. Q., Arias, L. G., Quispe, W. P., Saíritupa, 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

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

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-hidro>

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/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>

<http://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/>

Vega, A. (2013). *Diseño de una Máquina seleccionadora de Truchas* (Tesis Doctoral no publicada).

White, D., Svellingen, 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