UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

"Desarrollo de un sistema automático orientado al conteo y medición geométrica de alevines de tilapia basado en procesamiento digital de imágenes."

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico

AUTORES

Mejia Ramos, Roger Brian (0000-0002-3395-9424)

Salas Acosta, Andrés Roberto (0000-0002-0647-8094)

ASESOR

Kemper Vásquez, Guillermo (0000-0002-7800-7769)

Lima, 29 de Junio de 2021

DEDICATORIA

Esta tesis esta dedica a nuestros padres que nos han permitido forjarnos como buenas personas, estando en cada paso a dar, atravesando buenas y malas circunstancias. Gracias por su cariño, tiempo y apoyo brindado para convertirnos en los profesionales que ayudarán a construir un mejor país.

AGRADECIMIENTOS

En agradecimiento a nuestros familiares y amigos por su apoyo incondicional en esta bonita aventura, así como a nuestros maestros por darnos las herramientas para lograr este gran objetivo.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla un sistema automático que permite el conteo y medición de una población de alevines de tilapia gris. En la actualidad, existen muchos procesos encargados del cálculo de las dimensiones geométricas de los alevines que tienen una gran subjetividad y requieren mucho tiempo para ser ejecutados. Además, la extracción de los alevines fuera del agua puede causarles estrés, lo que podría llevarlos a la muerte. De esta manera, se busca erradicar la intervención manual, por lo que se elabora una estructura mecánica que sostiene una pecera y un recinto con iluminación y una segunda pecera transparente. Se realiza un traslado por muestras de alevines del primer al segundo recipiente, para ello se utilizan las rejillas controladas por motores para acercarlos o alejarlos del orificio de desfogue de la primera pecera. Asimismo, se utiliza una electroválvula neumática de bola, que funciona como compuerta que permite o deniega el paso de los alevines por la tubería de PVC. Luego, con los alevines en el recinto, se procede a ejecutar los algoritmos de conteo y medición de largo y ancho. Se obtuvieron resultados satisfactorios porque el sistema tiene una precisión del 98% en el conteo y del 90% en la medición de largo y ancho. Además, el tiempo para el cálculo de ambos parámetros se redujo en comparación con el proceso manual.

Palabra clave: conteo, medición, alevines grises de tilapia, automatización, procesamiento de imágenes

ABSTRACT

The present work develops an automatic system that allows the counting and the measuring of a population of gray tilapia fingerlings. Nowadays, there are many processes in charge of the calculation of the geometric dimensions of the fingerlings that have a great subjectivity and spend a lot of time. In addition, removing the fingerlings from the water can cause stress to them, which it could lead them to death. In this way, it seeks to eradicate the manual intervention, thus a mechanical structure is elaborated which holds a fish tank and an enclosure with illumination and a second transparent tank. A transfer by samples of fingerlings from the first to the second container is carried out, for this purpose the grids controlled by motors are used to bring them closer or move them away from the bleed orifice of the first container. Also, a ball pneumatic electrovalve is used, which works as a gate that allows or forbid the passage of the fingerlings through the PVC pipe. Then, with the fingerlings in the enclosure, it proceeds to execute the counting and measuring algorithms of length and width. Satisfactory results were obtained because it has an accuracy of 98% in counting and 90% in length and width measuring. Furthermore, the time for the calculation of both parameters were reduced in comparison to the manual process.

Keywords: counting, measuring, gray tilapia fingerling, automation, image processing.

INDICE GENERAL

1 CAPÍTULO 1: ASPECTOS INTRODUCTORIOS 17

1.1 Presentación y Definición del Problema 18
1.1.1 Situación Problemática 18
1.2.1 Definición del Problema 25
1.2.1.1 Problema General 25
1.2.1.2 Problema Ingenieril 25

1.2 Estado del Arte 25
1.2.1 Productos y soluciones comerciales existentes 25
1.2.2 Propiedad intelectual registrada 25
1.2.3 Aportes de Innovación 29
1.2.4 Publicaciones Científicas, Académicas e Ingenieriles 30
1.2.5 Aportes de conocimiento nuevo, procedimientos, métodos y/o aplicaciones 33

1.3 Justificación 34
1.3.1 Justificación respecto a beneficios para el usuario, cliente o patrocinador del proyecto 34
1.3.2 Justificación Ingenieril 35
1.3.3 Justificación Económica 35
1.3.4 Justificación Social 36

1.4 Requerimientos técnicos, ingenieriles y operativos 36

1.5 Objetivo General 37

1.6 Objetivos Específicos de Desarrollo de la Solución Propuesta 37

1.7 Breve descripción de la solución propuesta 38
1.7.1 Diagrama de Bloques 38
1.7.2 Funcionamiento 39
1.7.3 Ilustración del Producto Final Estimado 40
1.7.4 Alcances y limitaciones de la solución propuesta 41
1.7.5 Aplicaciones directas e Indirectas de la solución propuesta 41

1.8 Viabilidad 42
1.8.1 Viabilidad técnica 42
1.8.2 Viabilidad económica 44
1.8.3 Viabilidad social 46
1.8.4 Viabilidad operativa 46
1.8.5 Alternativas 46

2 CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO 47

2.1 Conceptos básicos 47
2.1.1 Acuicultura 47
2.1.2 Alevín de tilapia gris 47
2.1.3 Método actual de conteo y medición de alevines aplicado por la UNALM 52

2.2 Dinámica de fluidos 53
2.2.1 Conceptos Básicos 54
2.2.2 Ecuación de continuidad 56
2.2.3 Principio de Bernoulli 57
2.2.4 Ecuación de Darcy-Weisbach 58
2.2.5 Ecuación de Swamee-Jain 59
2.2.6 Diagrama de Moody 60

2.3 Procesamiento de imágenes 61

2.3.1 Adquisición de imágenes 61
2.3.2 Representación de una imagen digital 66
2.3.3 Modelos de color 67
2.3.3.1 Modelo de color RGB 67
2.3.3.2 Modelo de color HSI 68
2.3.4 Conversión de RGB a HSI 70
2.3.5 Segmentación de Imágenes 71
2.3.5.1 Segmentación por Umbralización 72
2.3.5.2 Segmentación por binarización 73
2.3.6 Etiquetado 74
2.3.7 Rotación de Imagen 78
2.3.8 Histograma 79

3 CAPÍTULO 3 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE PROPUESTO 81

3.1 Introducción 81

3.2 Materiales 82
3.2.1 Acero Inoxidable 82
3.2.2 PVC 83
3.2.3 Polimetilmetacrilato (Acrílico) 84
3.2.4 Madera 85
3.2.5 Malla de plástico 85

3.3 Componentes 86
3.3.1 Componentes generales 86
3.3.2 Componentes para el traspaso de alevines 89
3.3.3 Componentes para el procesamiento de imágenes 96

3.4 Diseño e implementación 98
3.4.1 Colocación de alevines 99
3.4.2 Etapa de movilización 100
3.4.3 Etapa de adquisición de imágenes 115
3.4.4 Expulsión de la materia prima 118
3.4.5 ¿Se completó el conteo total? 118

4 CAPÍTULO 4 DESCRIPCIÓN DE LA ETAPA DE SOFTWARE DEL SISTEMA PROPUESTO 121

4.1 Introducción 121

4.2 Diseño e implementación 121
4.2.1 Adquisición de imagen 122
4.2.2 Conversión a modelo de color HSI 124
4.2.3 Cálculo del umbral mediante Histograma 127
4.2.4 Segmentación por Binarización 130
4.2.5 Etiquetado 133
4.2.6 Eliminación de objetos no deseados 135
4.2.7 Cálculo de la cantidad de alevines 137
4.2.8 Medición de Alevines 139
4.2.8.1 Cálculo de la longitud de un píxel de la imagen adquirida 140
4.2.8.2 Rotación de imagen 142
4.2.8.3 Cálculo de las dimensiones del alevín 144

4.3 Interfaz gráfica 146

4.4 Software GNU Octave 150

5 CAPÍTULO 5 PRUEBAS, RESULTADOS DE VALIDACIÓN E INFORME ECONÓMICO FINAL 152

5.1 Validación del traslado y posicionamiento de las muestras de alevines de tilapia. 152

5.2 Validación del cálculo de la cantidad de alevines de tilapia. 157

5.3 Validación del cálculo de las dimensiones geométricas de largo y ancho de los alevines de tilapia. 171

5.4 Inversión económica 195

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES 198

RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS 201

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 203

7 ANEXOS 207

7.1 Certificado de presentación de publicación científica en congreso internacional INTERCON 2018 207

7.2 Certificado de exposición de la publicación científica indexada por IEEE 208

7.3 Certificado de indexación por Scopus de publicación científica en congreso internacional INTERCON 2018 209

7.4 Indexación por IEEE de publicación científica en congreso internacional INTERCON 2018 210

7.5 Resolución emitida por INDECOPI con el otorgamiento de patente de modelo de utilidad. 211

7.6 Documento de validación otorgado por parte del CINPIS de la UNALM 213

7.7 Algoritmo de control de actuadores. 215

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción de la pesca y acuicultura en ALC en el período 1974-2017 (FAOFISHSTAT, 2019) ... 18
Tabla 2. Producción acuícola continental de países miembros de COPESAAALC (FISHSTAT,2019) 20
Tabla 3. Productos o soluciones que existen en el mercado y que solucionarían (parcial o totalmente) el problema planteado 27
Tabla 4. Propiedades intelectuales registradas que solucionarían (parcial o totalmente) el problema planteado 28
Tabla 5. Publicaciones Científicas que evidencian el estado del conocimiento respecto a la solución problemática planteada en el proyecto 32
Tabla 6. Presupuesto estimado de la solución propuesta 45
Tabla 7. Rango de parámetros para eficiente calidad de agua 52
Tabla 8. Composición química del Acero Inoxidable. 82
Tabla 9. Especificaciones técnicas Raspberry Pi 3 B+ 88
Tabla 10. Características técnicas del de 10 W parte 1 96
Tabla 11. Características técnicas del de 10 W parte 2 96
Tabla 12. Componentes electromecánicos controlados por ciertos pines del Raspberry pi 112
Tabla 13. Cálculo de la longitud promedio del píxel 141
Tabla 14. Resultados de las muestras trasladadas correspondientes a la población de 2000 alevines 156
Tabla 15. Resultados del traslado de 20 poblaciones de alevines 156
Tabla 16. Resultados obtenidos del algoritmo de conteo de una población de 1000 alevines 169
Tabla 17. Resultados del algoritmo de conteo al analizar 20 poblaciones de alevines 171
Tabla 18. Factor de relación y valores obtenidos mediante el software Inventor al medir líneas de 1,2,3 y 4 cm 173
Tabla 19. Resultados de la medición mediante Inventor y su respectiva conversión a centímetros de los 3 alevines existentes en las 3 imágenes de la Figura 118 174
Tabla 20. Porcentaje de eficiencia de los resultados del algoritmo al utilizar la imagen de la Figura 121 178
Tabla 21. Dimensiones de largo y ancho reales de los alevines de la Muestra 2 178
Tabla 22. Porcentaje de eficiencia de los resultados del algoritmo al utilizar la imagen de la Figura 123 181
Tabla 23. Dimensiones de largo y ancho reales de los alevines de la Muestra 3 182
Tabla 24. Porcentaje de eficiencia de los resultados del algoritmo al utilizar la imagen de la Figura 125 185
Tabla 25 . Dimensiones de largo y ancho reales de los alevines de la Muestra 4 185
Tabla 26. Porcentaje de eficiencia de los resultados del algoritmo al utilizar la imagen de la Figura 127 189
Tabla 27. Dimensiones de largo y ancho reales de los alevines de la Muestra 5 189
Tabla 28. Porcentaje de eficiencia de los resultados del algoritmo al utilizar la imagen de la Figura 129 193
Tabla 29. Porcentaje de eficiencia del algoritmo de medición de largo y ancho de los 150 alevines analizados 195
Tabla 30. Porcentaje de eficiencia del algoritmo de medición al analizar 3 poblaciones distintas 195
Tabla 31. Inversión económica realizada en el proyecto 196
Tabla 32. Costo total de la solución propuesta 196
Tabla 33. Cuadro comparativo de precios entre productos comerciales actuales y el producto propuesto ... 197

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción acuícola total en ALC en el período 1974 a 2017 (FAO-FISHSTAT, 2019) 19
Figura 2. Comportamiento del volumen de producción Acuícola Continental en ALC de 1974 a 2017 (FAOFISHSTAT, 2015) 20
Figura 3. Proyección de la cosecha de tilapia al 2025 22
Figura 4. Grado de error del proceso manual de conteo del CINPIS 23
Figura 5. Medición manual del largo del alevín 24
Figura 6. Diagrama de bloques del proyecto 38
Figura 7. Diagrama pictórico del proyecto 39
Figura 8. Simulación 3D del producto propuesto 40
Figura 9. Partes de una tilapia 48
Figura 10. Órganos sexuales (a) macho, (b) hembra, de las Tilapias 49
Figura 11. Jaulas para cultivo de tilapias 51
Figura 12. Ejemplo de extracción de alevines mediante mallas 53
Figura 13. Principio de continuidad 56
Figura 14. Diagrama de Moody 60
Figura 15. Tipos de sensores de imagen 61
Figura 16. Ejemplo del proceso de una adquisición de imagen digital. a) Fuente de energía (“iluminación”), b) Elemento en escena, c) Adquisición de imagen, d) Proyección de una escena en una imagen plana, e) Imagen digitalizada 62
Figura 17. Ejemplo de Campo de Visión 64
Figura 18. a) Plano que se desea capturar. b) Valores continuos del proceso de adquisición de imágenes. c) y d) Cuantificación de estos valores en digital 65
Figura 19. Imagen a) representa el plano 2D que se desea capturar mientras que la imagen b) representa la imagen digitalizada 65
Figura 20. Representación matricial de imagen de 20x15 píxeles 66
Figura 21. Representación de imagen RGB con profundidad de píxel de 24 bits 68
Figura 22. En la figura a) se presentan diferentes tonalidades (color dominante); en la figura b) se encuentra distintas intensidades, que son representadas por esta escala de grises; en la figura c) hay variedades de saturación del color rojo 69
Figura 23. Triángulo de color y doble pirámide triangular del modelo HSI 70
Figura 24. a) Imagen original. b) Imagen después de la aplicación de la máscara de detección de líneas en 45°. c) Imagen después de filtrar las líneas con ángulo -45° 72
Figura 25. a) Imagen original, b) Imagen con umbralización local, c) Imagen con umbralización Otsu, d) Imagen resultado 73
Figura 26. En imagen de la izquierda se muestra la imagen binarizada, mientras que en la imagen de la derecha su matriz correspondiente 73
Figura 27. Primeros 10 pasos del proceso de etiquetado 77
Figura 28. Imagen resultante después de todo el proceso de etiquetado 78
Figura 29. (a) Histograma alta tonalidad de negros. (b) Histograma alta tonalidad de blancos. (c) Histograma bajo contraste. (d) Histograma alto contraste 80
Figura 30. Piscigranjas del centro piscícola de la UNALM 81
Figura 31. Tuberías de PVC 83
Figura 32. Rejilla de Acrílico 84
Figura 33. Varilla de Madera de 8mm. de grosor 85
Figura 34. Rollo de malla plástica flexible y duradera 86
Figura 35. Fuente DC HY3003F 87
Figura 36. Raspberry Pi 3 B 88
Figura 37 . Motores DC de 120 y 16 rpm con reductor 89
Figura 38 . Colocación de Ejes y Engranajes 90
Figura 39. Válvula de Bola Neumática 92
Figura 40 . Ubicación Válvula de Bola 92
Figura 41. Bornera 93
Figura 42. Transistor 2N2222A 94
Figura 43. Relé de 8 pines de 12 V 95
Figura 44. Diodo 95

Figura 45. Led de potencia de 10 W 97
Figura 46. Cámara Web C920 Logitech 97
Figura 47. Pantalla LCD 12" en primer nivel 98
Figura 48. Diagrama de bloques 99
Figura 49. Dimensiones del primer recipiente 99
Figura 50. Alevines de tilapia gris 100
Figura 51. Primer Nivel 101
Figura 52. Sujetador de válvula de bola 101
Figura 53. Primera rejilla acoplada al motor de 120 rpm 102
Figura 54. Segunda rejilla acoplada al motor de 16 rpm 103
Figura 55. Dimensión segundo recipiente 104
Figura 56. Ubicación Punto 1 104
Figura 57. Ubicación Punto 2 104
Figura 58. Dimensiones de tuberías 106
Figura 59. Longitud diagonal de tubería 106
Figura 60. Identificación de accesorios 107
Figura 61. Mapa de tiempos 110
Figura 62. Circuito de Control 111
Figura 63. Pines de entrada y salida del Raspberry pi 3 111
Figura 64. Circuito de compresor de aire 112
Figura 65. Circuito del solenoide neumático 113
Figura 66. Circuito de control de motores 114
Figura 67. Circuito de cambio de polaridad de los motores 115
Figura 68. Colocación led y cámara 116
Figura 69. Circuito regulador de intensidad de luz 117
Figura 70. Compuerta del recinto 118
Figura 71. Estructura mecánica real 119
Figura 72. Diagrama de bloques general del software del sistema 122
Figura 73. Flujo para la adquisición de la imagen a analizar 123
Figura 74. Imagen adquirida de una muestra de 47 alevines de tilapia con los parámetros indicados 124
Figura 75. Imágenes resultantes de la conversión a modelo de color HSI. (a) Imagen de tonalidad I_H. (b) Imagen de Saturación I_S. (c) Imagen de Intensidad I_I 126
Figura 76. Flujo del proceso de conversión a modelo de color HSI 126
Figura 77. Imagen de componente de color de Intensidad representada por la matriz $I_I(x, y)$ 127
Figura 78. Histograma de la imagen de componente de color de Intensidad $I_I(x, y)$ 129
Figura 79. Flujo del cálculo del umbral mediante Histograma 130
Figura 80. Imagen de componente de color de Intensidad representada por la matriz $I_I(x, y)$ 131
Figura 81. Imagen resultante de la binarización representada por la matriz $I_{bi}(x, y)$ 132
Figura 82. Flujo del proceso de binarización aplicado a cada píxel de la imagen $I_I(x, y)$ 132
Figura 83. Imagen con la matriz de etiquetas resultante $I_E(x, y)$ en donde se resalta algunos de los "objetos no deseados" detectados 134
Figura 84. Flujo del proceso de etiquetado de objetos 134
Figura 85. Flujo del proceso de eliminación de "objetos no deseados" 135
Figura 86. a) Imagen con la matriz de etiquetas $I_E(x, y)$. b) Imagen resultante $I_F(x, y)$ después de la eliminación de "objetos no deseados" 137
Figura 87. (a) Imagen resultante $I_F(x, y)$ después de la eliminación de "objetos no deseados". (b) Interfaz gráfica del sistema con los resultados del proceso de conteo de alevines. 138
Figura 88. Flujo del conteo de alevines 139
Figura 89. Flujo del proceso de medición de longitudes de largo y ancho de los alevines detectados 140
Figura 90. Imagen adquirida utilizando papel milimétrico en la base del recinto 141
Figura 91. Subimagen $F_j(x, y)$ que contiene un alevín en dirección diagonal 143
Figura 92. Subimagen $F_j(x, y)$ rotada α_j grados hasta quedar en dirección horizontal 144
Figura 93. Interfaz gráfica con los resultados obtenidos del proceso de medición de las dimensiones geométricas de largo y ancho de los alevines 146
Figura 94. Flujo de ejecución de la interfaz gráfica 148
Figura 95. Interfaz gráfica inicial del sistema a la espera de acción del operador. a) Botón "INICIAR PROCESO" cuya función es arrancar el sistema. (b) Botón "SALIR" cuya función es finalizar el algoritmo y posterior cierre de la interfaz. (c) Sección donde se visualizarán los resultados 149

Figura 96. Interfaz gráfica final del sistema (con resultados). (a) Sección con los resultados obtenidos. (b) Imagen RGB. (c) Imagen binarizada 149
Figura 97. Imagen de ejecución de códigos y gráficas mediante el software GNU Octave 150
Figura 98. Orden de los subprocesos del sistema propuesto. 152
Figura 99. Pecera superior del sistema donde se ingresa la población total de alevines a ser analizados 153
Figura 100. Pecera inferior del sistema donde se traslada la muestra de alevines para la adquisición de imágenes 153
Figura 101. Pecera superior con 2000 alevines de tilapia 154
Figura 102. Imagen adquirida de una muestra de alevines en la pecera inferior 154
Figura 103. Ejemplo de muestra de alevines trasladada a la pecera inferior. 157
Figura 104. Imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes de una muestra de 30 alevines de tilapia 159
Figura 105. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos del procesamiento de la muestra de 30 alevines 159
Figura 106. Imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes de una muestra de 36 alevines de tilapia 160
Figura 107. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos del procesamiento de la muestra de 36 alevines 161
Figura 108. Imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes de una muestra de 42 alevines de tilapia 162
Figura 109. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos del procesamiento de la muestra de 42 alevines 162
Figura 110. Imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes de una muestra de 47 alevines de tilapia 163
Figura 111. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos del procesamiento de la muestra de 47 alevines 164
Figura 112. Imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes de una muestra de 52 alevines de tilapia 165
Figura 113. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos del procesamiento de la muestra de 52 alevines 165
Figura 114. (a) Nueva imagen adquirida de la muestra de 52 alevines de tilapia. (b) Imagen binarizada de la nueva imagen adquirida de la muestra de 52 alevines 166
Figura 115. Alevines traslapados en muestra de 52 alevines de tilapia 167
Figura 116. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos del procesamiento de la nueva imagen adquirida de la muestra de 52 alevines con error de traslape de 2 alevines 168
Figura 117. Gráfica del grado de error de los resultados del algoritmo de conteo 169
Figura 118. Imágenes adquiridas con 3 alevines de distintos tamaños con el fondo del papel milimétrico .. 172
Figura 119. Líneas de 1, 2, 3 y 4 cm superpuestas en una de las imágenes adquiridas dentro del recinto utilizando papel milimétrico como fondo de la imagen 173
Figura 120. Ejemplo de los trazos dibujados en el alevín 174
Figura 121. Primera imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con los 3 alevines de tamaños grande, mediano y pequeño 176
Figura 122. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho 176
Figura 123. Segunda imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con los 3 alevines de tamaños grande, mediano y pequeño 179
Figura 124. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho a la imagen de la Figura 123 180
Figura 125. Tercera imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con los 3 alevines de tamaños grande, mediano y pequeño 182
Figura 126. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho a la imagen de la Figura 125 183
Figura 127. Cuarta imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con los 3 alevines de tamaños grande, mediano y pequeño 186
Figura 128. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho a la imagen de la Figura 127 187
Figura 129. Quinta imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con los 3 alevines de tamaños grande, mediano y pequeño 190

Figura 130. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho a la imagen de la Figura 129 191
Figura 131. Gráfica del porcentaje de grado de error del algoritmo de medición de largo y ancho vs cada alevín analizado de la población de 150 193

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación de la presión 54
Ecuación 2. Ecuación de velocidad 55
Ecuación 3. Ecuación de Caudal con tiempo 55
Ecuación 4. Ecuación de Caudal 55
Ecuación 5. Ecuación de densidad 55
Ecuación 6. Peso específico 56
Ecuación 7. Ecuación de continuidad 56
Ecuación 8. Ecuación de Bernoulli de fluido ideal 57
Ecuación 9. Ecuación de Bernoulli con trabajo y perdidas 57
Ecuación 10. Ecuación de Darcy-Weisbach de pérdida primaria 58
Ecuación 11. Ecuación de Darcy-Weisbach de pérdida secundaria 59
Ecuación 12. Ecuación de Swamee-Jain 59
Ecuación 13. Ecuación de Número de Reynolds 60
Ecuación 14. Representación matemática de una imagen 62
Ecuación 15. Función de los componentes de iluminación y reflectancia 63
Ecuación 16. Rango de valores de $i(x, y)$. 63
Ecuación 17. Rango de valores de $\mathrm{c}(x, y)$ 63
Ecuación 18. Cálculo del campo de visión horizontal 63
Ecuación 19. Cálculo del campo de visión vertical 64
Ecuación 20. Representación de imagen digital como la función matemática 66
Ecuación 21. Valor del ángulo θ para calcular la variable $H(x, y)$ 70
Ecuación 22. Valor de la tonalidad de color $H(x, y)$ 70
Ecuación 23. Normalización de $H(x, y)$ 70
Ecuación 24. Valor de la saturación 71
Ecuación 25. Valor de Intensidad 71
Ecuación 26. Función resultante de la Umbralización 74
Ecuación 27. Ecuación para hallar los valores de x_f e y_f al girar en el eje Z 78
Ecuación 28. Ecuación para hallar los valores de x_f e y_f al girar en el eje X 79
Ecuación 29. Ecuación para hallar los valores de x_f e y_f al girar en el eje Y 79
Ecuación 30. Función discreta correspondiente al Histograma de una imagen 80
Ecuación 31. Fórmula de volumen 99
Ecuación 32. Número de vueltas a dar 102
Ecuación 33. Ecuación de Bernoulli con pérdidas 105
Ecuación 34. Ecuación de Bernoulli Completa con pérdidas 105
Ecuación 35. Ecuación de velocidad en base a la fricción 108
Ecuación 36. Ecuación de Swamee y Jain con valores reemplazados 108
Ecuación 37. Ecuación de Reynols con valores reemplazados 108
Ecuación 38. Corriente del colector del transistor 116
Ecuación 39. Ecuación matemática utilizada para el cálculo de T_k 136
Ecuación 40. Ecuación matemática utilizada para el cálculo del tamaño promedio de píxeles $\bar{T}$ 136
Ecuación 41. Ecuación del ángulo de inclinación cuando N_j es mayor que M_j 143
Ecuación 42. Ecuación del ángulo de inclinación cuando M_j es mayor que N_j 143
Ecuación 43. Expresión para determinar el largo l_j del alevín 145
Ecuación 44. Expresión para determinar el ancho w_j del alevín 145
Ecuación 45. Expresión para determinar el largo l_j del alevín 145
Ecuación 46. Expresión para determinar el ancho w_j del alevín 145
Ecuación 47. Eficiencia de cada muestra trasladada de alevines. 155
Ecuación 48. Eficiencia promedio de toda la población 155
Ecuación 49. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de conteo de alevines de tilapia. 158
Ecuación 50. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de conteo de la muestra de 30 alevines de tilapia 160
Ecuación 51. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de conteo de la muestra de 36 alevines de tilapia 161

Ecuación 52. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de conteo de la muestra de 42 alevines de tilapia 163
Ecuación 53. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de conteo de la muestra de 47 alevines de tilapia 164
Ecuación 54. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de conteo de la muestra de 52 alevines de tilapia 166
Ecuación 55. Cálculo del porcentaje de eficiencia del procesamiento de la nueva imagen adquirida de la muestra de 52 alevines con el error de traslape de 2 alevines 168
Ecuación 56. Cálculo del porcentaje de eficiencia del procesamiento de la población de 1000 alevines 170
Ecuación 57. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del largo del alevín 175
Ecuación 58. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín 175
Ecuación 59. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín pequeño de la Muestra 1 177
Ecuación 60. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín pequeño de la Muestra 1 177
Ecuación 61. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín mediano de la Muestra 1 177
Ecuación 62. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín mediano de la Muestra 1 177
Ecuación 63. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín grande de la Muestra 1 178
Ecuación 64. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín grande de la Muestra 1 178
Ecuación 65. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín pequeño de la Muestra 2 180
Ecuación 66. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín pequeño de la Muestra 2 180
Ecuación 67. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín mediano de la Muestra 2 181
Ecuación 68. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín mediano de la Muestra 2 181
Ecuación 69. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín grande de la Muestra 2 181
Ecuación 70. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín grande de la Muestra 2 181
Ecuación 71. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín pequeño de la Muestra 3 184
Ecuación 72. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín pequeño de la Muestra 3 184
Ecuación 73. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín mediano de la Muestra 3 184
Ecuación 74. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín mediano de la Muestra 3 184
Ecuación 75. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín grande de la Muestra 3 184
Ecuación 76. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín grande de la Muestra 3 185
Ecuación 77. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín pequeño de la Muestra 4 187
Ecuación 78. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín pequeño de la Muestra 4 188
Ecuación 79. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín mediano de la Muestra 4 188
Ecuación 80. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín mediano de la Muestra 4 188
Ecuación 81. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín grande de la Muestra 4 188
Ecuación 82. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín grande de la Muestra 4 188

Ecuación 83. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín pequeño de la Muestra 5 191
Ecuación 84. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín pequeño de la Muestra 5 192
Ecuación 85. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín mediano de la Muestra 5 192
Ecuación 86. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín mediano de la Muestra 5 192
Ecuación 87. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín grande de la Muestra 5 192
Ecuación 88. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín grande de la Muestra 5 192

1 CAPÍTULO 1: ASPECTOS INTRODUCTORIOS

En el transcurso de los últimos años, el aumento de la población mundial ha generado un crecimiento de la industria alimenticia a nivel mundial. Esto incluye a la industria dedicada a la acuicultura; el cual, es uno de los sectores que ha tenido un crecimiento exponencial con el transcurso de los años. Donde, la acuicultura continental (agua dulce) ocupa un papel importante en este crecimiento. Ya que el desarrollo de esta misma ha ido de la mano con la innovación a nivel tecnológico para mejorar los procesos de crianza de las especies cultivadas. Sin embargo, el Perú siendo uno de los países con mayor producción de acuicultura en Latinoamérica; la investigación científica y desarrollo tecnológico aplicado a este sector es bien escaso. Lo cual, limita el crecimiento del presente sector ya que el costo de adquisición de maquinarias importadas especializadas es demasiado alto.

La tilapia gris, es una de las especies más requeridas a nivel mundial debido a su alta demanda en la industria alimenticia. Esta tilapia en el Perú también es una de las especies más utilizadas en este sector. Siendo el centro de investigación piscícola (CINPIS) de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) uno de los mayores productores de esta especie en el país. Dicha empresa, actualmente no cuenta con maquinarias y/o sistemas para realizar el conteo y medición de los alevines de tilapia, lo cual les obliga a utilizar procedimientos manuales para la ejecución de estos procesos, lo que genera un cálculo aproximado de los alevines a comercializar. Así mismo, los alevines son extraídos del agua para la ejecución de estos cálculos. Esto genera estrés en los mismos, ocasionando su posterior deceso en muchos de ellos.

El presente documento propone un sistema de conteo y medición de alevines de tilapia como una solución al problema identificado. Este sistema, estará conformado por un proceso de traslado y posicionamiento de los alevines y un proceso de conteo y medición de estos mediante procesamiento digital de imágenes. En el capítulo 1 se menciona aspectos introductorios de la situación actual que conllevan a la problemática. El capítulo 2, está conformado por el marco teórico donde se menciona toda la base teórica utilizada en el proyecto. En los capítulos 3 y 4 se describe el hardware y software propuesto y los conocimientos y técnicas utilizados para la ejecución de ambos. Finalmente, en el capítulo 5 se expone las pruebas y validaciones realizadas a los resultados obtenidos utilizando el sistema propuesto.

1.1 Presentación y Definición del Problema

En los párrafos siguientes se detalla la situación problemática que se plantea solucionar con el presente proyecto.

1.1.1 Situación Problemática

La acuicultura es el cultivo de especies acuáticas vegetales y/o animales[1]. En la decimosexta reunión de la FAO con nombre "*Panorama de la acuicultura marina y continental en América Latina y el Caribe (ALC)"* efectuada en setiembre del 2019 por la "*Comisión de pesca en pequeña escala, artesanal y acuicultura para américa latina y el caribe"*[2] menciona que:

"En el 2017 la producción acuícola de ALC contribuyó con el 2,6% del volumen acuícola global; además, representó el 20% de la producción pesquera total (pesca + acuicultura) de ALC, de la cual la acuicultura marina representó el 70% y la continental el 30% como se ve en la Tabla 1.

		1974	1980	1990	2000	2010	2017
Acuicultura				**Toneladas**			
	Continental	2 403	14 965	58 934	271 380	601 103	892 545
	Marina	2 288	13 409	170 760	601 136	1 267 005	2 067 539
Acuicultura Total		**4 691**	**28 374**	**229 694**	**872 516**	**1 868 108**	**2 960 084**

Tabla 1. Producción de la pesca y acuicultura en ALC en el período 1974-2017 (FAOFISHSTAT, 2019)

El documento también expone que la producción acuícola de ALC presentó una nueva cifra histórica de 2 960 084 toneladas en el año 2017, continuando con su tendencia creciente. La tasa promedio anual de crecimiento de 1974 (año de creación de la COPESAAALC) a 2017, ha sido de 16%, reflejando una expansión que supera a los demás sectores productores de alimentos como se muestra en la Figura 1. Este dinamismo ha coadyuvado al crecimiento económico tanto nacional como territorial en prácticamente todos los países de la región.

[1] Real Academia De La Lengua Española, RAE, (25 de abril del 2020). https://dle.rae.es/acuicultura
[2] FAO. (4-6 de septiembre de 2019). Panorama de la acuicultura marina y continental en América latina y el caribe. La Havana, Cuba.

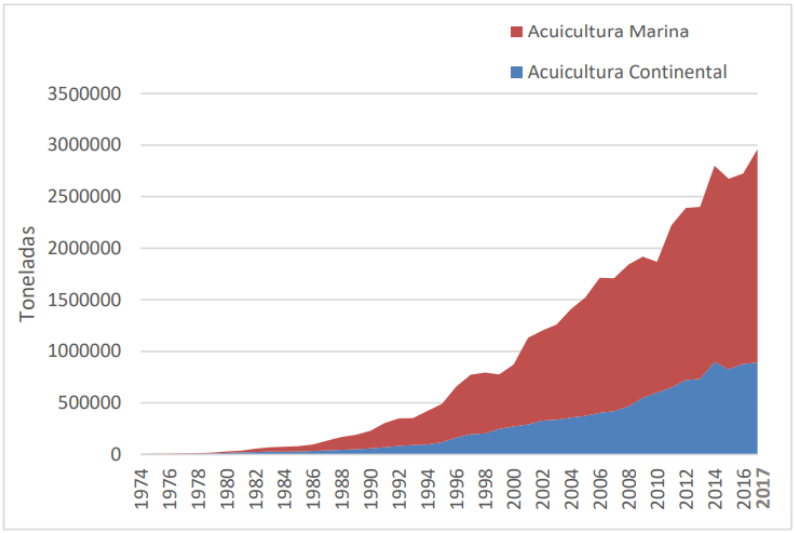


Figura 1. Producción acuícola total en ALC en el período 1974 a 2017 (FAO-FISHSTAT, 2019)[3]

Con respecto a la acuicultura continental, la cual es el cultivo de especies acuáticas vegetales y/o animales en agua dulce, en el mismo documento la FAO menciona que aportó el 30% de la producción acuícola total de ALC, con un volumen de 892 545 toneladas en el año 2017 como se puede ver en la Figura 2. Este sub-sector ha tenido una tasa de crecimiento promedio anual del 7 % en el período comprendido entre el año 2000 y el año 2017, principalmente debido a la expansión del cultivo de tilapias y, en los últimos años, de peces amazónicos. Brasil continúa en el año 2017 siendo el principal productor de la acuicultura continental de la región, aportando el 58% de la producción en este rubro con 514 mil toneladas, seguido de Colombia (11%), México (8%) y Perú (7%). Las tilapias siguen siendo la principal especie producida en aguas continentales, representado el 57% del volumen total regional de este sub-sector."

[3] FAO. (4-6 de septiembre de 2019). Panorama de la acuicultura marina y continental en América latina y el caribe. La Havana, Cuba.

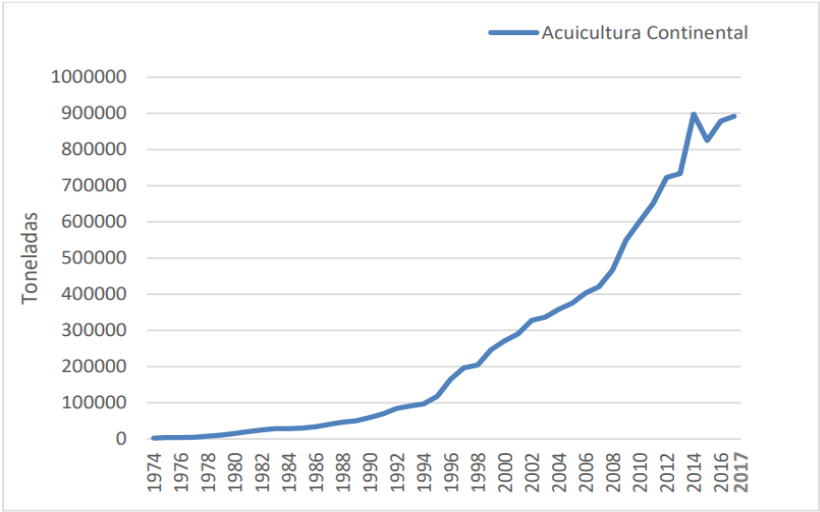


Figura 2. Comportamiento del volumen de producción Acuícola Continental en ALC de 1974 a 2017 (FAOFISHSTAT, 2015)[4]

País	Volumen de Producción en 2017 (t)	Participación de la acuicultura continental en las acuicultura total (%) de cada país en 2017
Argentina	3 549	99%
Bolivia	3 500	100%
Brasil	514 070	86%
Chile	3 183	0,3%
Colombia	97 600	98%
Costa Rica	17 101	82%
Cuba	24 490	78%
Ecuador	29 140	6%
El Salvador	6 822	85%
Guatemala	9 905	38%
Honduras	30 000	49%
Jamaica	1 342	100%
México	71 429	29%
Nicaragua	11	0,04%
Panama	175	2%
Paraguay	10 781	100%
Perú	61 028	61%
Rep. Dominica	1 750	69%
Surinam	75	68%
Uruguay	60	100%
Venezuela	4 495	16%
Resto de Países ALC	2 039	59%
Total	**892 545**	

Tabla 2. Producción acuícola continental de países miembros de COPESAAALC (FISHSTAT,2019)[5]

[4] FAO. (4-6 de septiembre de 2019). Panorama de la acuicultura marina y continental en América latina y el caribe. La Havana, Cuba.
[5] FAO. (4-6 de septiembre de 2019). Panorama de la acuicultura marina y continental en América latina y el caribe. La Havana, Cuba.

Como se observa en la Tabla 2, en el 2017 el Perú obtuvo uno de los mayores porcentajes de participación en la acuicultura continental con respecto a la acuicultura en general con un porcentaje del 61%.

En el Perú, la acuicultura tiene un escaso nivel de desarrollo comparado con otros países de la región y solo se enfoca en unas pocas especies. Según el Ministerio de Producción del Perú en el documento con nombre "*Situación actual de la acuicultura en el Perú"*[6], el primer semestre de 2008 el 82.9% del área de producción (19,110.06 hectáreas) corresponde a la actividad acuícola marina (producción en el mar) y 17,09% (3,938.93 hectáreas) a la actividad acuícola continental (producción en lugares diseñados) y los cultivos más desarrollados son los de concha de abanico y langostino, cuyas producciones son destinadas principalmente a la exportación. Asimismo, se puede resaltar la producción según las regiones del país, por ejemplo, el cultivo de trucha se desarrolla en las zonas altoandinas cuyo mercado es nacional como también de exportación. Por otro lado, en zonas tropicales se cultivan peces nativos como Gamitana, Paco y Boquichico cuya producción es puramente local. Finalmente, la tilapia es cultivada en selva alta y en la costa norte del país para mercado interno como también para su exportación.

La acuicultura peruana entre los años 2006 y 2015 ha tenido un crecimiento de 11.6% y se calcula que podría extenderse hasta 10 años más, lo cual significa un crecimiento importante contemplando que presenta grandes desafíos para su crecimiento y expansión. Para ello, es necesario cumplir con necesidades tecnológicas, generación de servicios, provisión de insumos, disponibilidad de facilidades esenciales y mejoras normativas.

Así mismo, el Perú cuenta con un clima con condiciones que favorecen el cultivo de especies acuáticas y la posibilidad de adaptarse ante cambios climáticos. A esto, se añade la diversidad biológica de especies acuáticas marinas y continentales que contribuirán a la diversificación de la acuicultura peruana considerando que puede tener un potencial mercado interno y externo[7].

Uno de los peces más cultivados en el Perú son las tilapias. Estos, son peces de agua dulce endémicos y originarios de África y el Cercano Oriente. En Perú, en la década de los 50, se

[6] Ministerio de producción del Perú. (2009). Situación actual de la acuicultura en el Perú. http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/boletines/SITUACI%C3%93N%20ACTUAL%20DE%20LA%20ACUICULTURA%20EN%20EL%20PER%C3%9A.pdf

[7] David M., Christian B., Karl B. (2016). La acuicultura peruana – una mirada al 2025

introdujeron las primeras especies de tilapia rendalli que fue utilizada como forraje para el paiche. Tiempo después, en la década de los 70, el IMARPE y la Universidad Nacional Agraria La Molina introdujeron muchas otras especies de tilapia con propósitos de investigación y cultivo. Es por ello, que el aumento de cultivo de tilapias ha ido aumentando con el pasar de los años convirtiéndose en una de las especies más requeridas en el mercado nacional[8]. La Figura 3 muestra la proyección realizada a la cosecha de tilapias hacia el año 2025. La gráfica muestra un comportamiento exponencial, demostrando el crecimiento de la producción de alevines existentes en el país donde la línea azul indica la máxima cosecha que se puede alcanzar mientras que la línea roja la cosecha mínima posible.

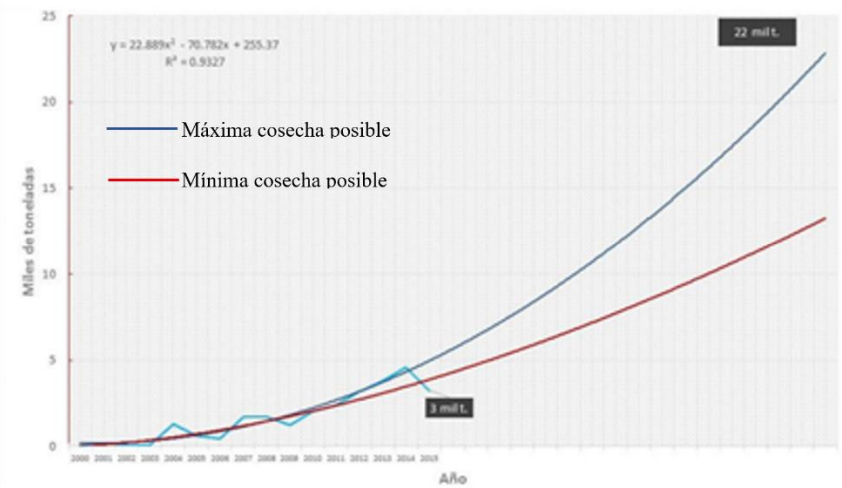


Figura 3. Proyección de la cosecha de tilapia al 2025[9]

Uno de los mayores productores de alevines en Lima Metropolitana y Callao es la Universidad Agraria La Molina (UNALM), el cual se lleva a cabo en su centro de investigación piscícola llamado CINPIS, donde cuentan con estanques en los cuales crían alevines de tilapia para su posterior comercialización.

En cada estanque se alberga una población de aproximadamente 10 000 alevines con medidas similares, los cuales serán sometidos a procesos de conteo y medición para cumplir con una solicitud de venta.

El problema se encuentra en estos ineficientes procesos, en donde, se han identificado las siguientes causas:

[8] Baltazar, Paúl. (2006). La Tilapia En El Perú: Acuicultura, Mercado, Y Perspectivas. Revista Peruana De Biología 13 (3), 267-73. https://doi.org/10.15381/rpb.v13i3.2355.
[9] David M., Christian B., Karl B. (2016). La acuicultura peruana – una mirada al 2025

- En primer lugar, al realizar el conteo de los alevines, los trabajadores del lugar utilizan mallas y/o coladores para extraer una porción de alevines de los estanques, y al tenerlos fuera del agua, realizan un cálculo aproximado de la cantidad existente tomando un tiempo de conteo aproximado de 20 minutos por millar de alevines. Este proceso de conteo manual tiene un grado de error de como máximo 20% y a la par perjudica al alevín ya que al no estar en contacto con el agua y ser manipulado le genera un estrés a tal punto que puede desencadenar en su deceso. En la Figura 4, se presenta un grado de error promedio del 15 % el cual fue obtenido al analizar 42 muestras que en conjunto suman un total de 2505 alevines.

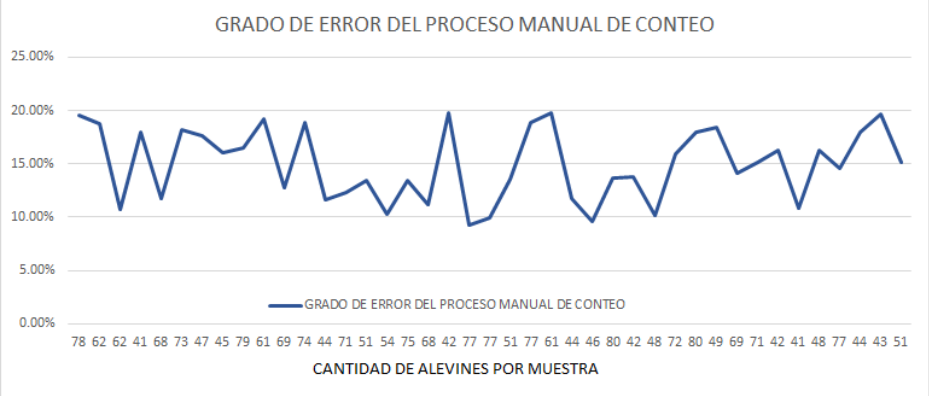


Figura 4. Grado de error del proceso manual de conteo del CINPIS

- En segundo lugar, al realizar la medición de largo y ancho de los alevines, es necesario que el personal mida el 5% de los alevines de la población solicitada con la finalidad de que estos se encuentren en el rango de entre 1 y 3 centímetros (véase en el ejemplo de la Figura 5) para tener la certeza de que la población esté lista para su venta. Este cálculo manual tiene un porcentaje de error de como máximo 20%. En promedio, este proceso de medición de cada alevín toma un aproximado de 1 minuto, tiempo suficiente para que el alevín no pueda sobrevivir fuera del agua.



Figura 5. Medición manual del largo del alevín

De acuerdo con lo expuesto en los puntos previos, se considera que ambos procesos en conjunto tienen una duración en promedio de 1 hora para que puedan ser comercializados 1000 alevines.

A continuación, se detalla las consecuencias generadas por los deficientes procesos manuales de conteo y medición de alevines de tilapia:

- Elevado porcentaje de índice de mortalidad ubicado entre el rango del 15% al 20% por cada venta.
- Pérdidas económicas de un máximo del 15% por venta realizada.

En tal contexto, representa un importante reto ingenieril elaborar un sistema de conteo y medición de dimensiones geométricas de largo y ancho de alevines de tilapia. Si bien existen equipos que ejecutan la labor de conteo, el precio de estos se encuentra como mínimo en $8800[10]. Es por ello, que en el presente proyecto se propone un sistema embebido para el transporte y posicionamiento de los alevines de tilapia para la correcta adquisición de imágenes y posterior procesamiento con el fin de satisfacer la necesidad del cliente de calcular la cantidad de alevines y sus respectivas medidas de largo y ancho. Todo ello, ofreciendo un producto de calidad y que sea accesible para todo el sector de cultivo de alevines.

[10] Maskinfabrikken Apollo A/S. (20 de mayo de 2021). *Contador de alevines TPS Micro - 0,5 a 6 gr*. Coopérative Française de l'Aquaculture. Recuperado el 12 de abril del 2019 http://www.cofa.fr/es/producto/contador-de-alevines-tps-micro-05-a-6-g/

1.2.1 Definición del Problema

En este punto se expondrá el problema general e ingenieril.

1.2.1.1 Problema General

Ineficiente procedimiento de conteo y medición de la longitud y ancho de alevines de tilapia en el centro piscícola de la UNALM.

1.2.1.2 Problema Ingenieril

¿Qué consideraciones tecnológicas e ingenieriles de diseño electrónico y diseño de software se tienen que llevar en cuenta, a fin de desarrollar un sistema de conteo y medición de longitud de largo y ancho de alevines de tilapia que satisfaga los requerimientos de velocidad de conteo y medición de 500 peces en 8 minutos, con una precisión de 98% para el conteo y 90% para la medición de largo y ancho, con el objetivo de mejorar dichos procesos manuales por parte del centro piscícola de la UNALM?

1.2 Estado del Arte

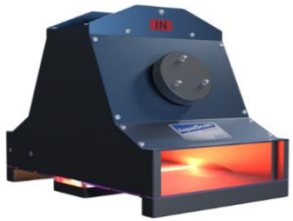
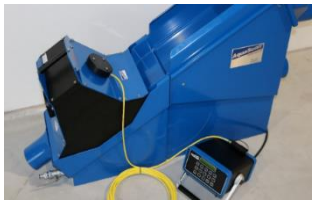
A continuación, se presenta las soluciones comerciales existentes, propiedades intelectuales y publicaciones científicas las cuales se pueden considerar como solución (parcial o totalmente) de la situación problemática planteada.

1.2.1 Productos y soluciones comerciales existentes

Actualmente, los países industrializados cuentan con un desarrollo tecnológico avanzado en el sector de acuicultura debido a que utilizan procesos automatizados para sus diferentes actividades, entre ellos se encuentran sistemas que realizan el conteo de peces de forma automática. Por lo tanto, existen soluciones ya comerciales para la problemática planteada. Sin embargo, estos sistemas no realizan el proceso de medición y tienen elevado costo. En la Tabla 3 se observa los productos comerciales existentes.

1.2.2 Propiedad intelectual registrada

Las propiedades intelectuales de productos similares que se tomarán en cuenta para la elaboración del proyecto se mostrarán en la Tabla 4.

No.	Nombre del Producto, Modelo y Foto	Fabricante y Costo	Breve Descripción	Fortalezas	Debilidades que pueden ser subsanadas con la solución propuesta
1	AquaScan CSW2800[11]  	Fabricante: AquaScan Costo: $15 000	Es un equipo electrónico utilizado para el conteo de peces y/o alevines. El equipo se acopla a tuberías y mangueras que en su interior circulan peces con un flujo de agua constante.	-Presenta una precisión de 98% a 100% -Capacidad de contar 184 000 peces por hora, los cuales no deben de pesar menos de 10 gr. -Conteo de cualquier tipo de pez y/o alevín desde 0.2 hasta 40 gr. -El software de usuario es de fácil uso. -Tiene una larga durabilidad capaz de trabajar en ambientes húmedos.	-El sistema no cuenta con mediciones geométricas de largo y ancho de alevines. -Posee un precio elevado. -Requiere de un gran espacio para colocar todo el sistema de tuberías.
2	Fry fish counting machine 12-channel[12] 	Fabricante: Calitri Technology Costo: $10 000	-Este sistema está diseñado para el conteo de los peces y/o alevines de Salmón y Trucha si es en agua dulce y Dorada, Lubina y Salmón si es agua de mar. -El sistema cuenta con 12 canales de 30 mm para peces rango 1g a 15g.	-Presenta una precisión de 97%. -Capacidad de conteo de 108000 alevines por hora.	-El sistema no cuenta con mediciones geométricas de largo y ancho de alevines. -Posee un precio elevado. -Requiere de un gran espacio para colocar el sistema -No está diseñada para el conteo de tilapias.

[11] Aquascan. (5 de mayo del 2020). https://www.aquascan.com/
[12] Teraqua. (5 de mayo del 2020). http://www.teraqua.fr/es/

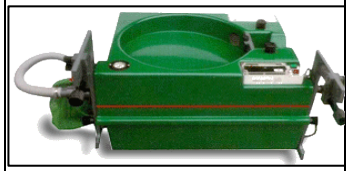
3	Contador de alevines TPS micro[13]  	Fabricante: TPS Costo: $8 800	Es una máquina que realiza el conteo de peces con el mínimo estrés posible ya que estos nadan instintivamente hacia su salida donde se encuentra la célula fotoeléctrica. Contiene flotadores para colocarlo en el estanque de peces. Este modelo se especializa en peces de 0.1gr hasta 9 gr.	-Posee una fiabilidad del 98 al 100 %. -No daña a los peces -Capacidad de contar 30 000 peces por hora. -Materiales resistentes al agua. -La alimentación es con pilas recargables.	- El sistema no cuenta con mediciones geométricas de largo y ancho de alevines. -Diseñada para uso con trucha y salmón. -Precio elevado.

Tabla 3. Productos o soluciones que existen en el mercado y que solucionarían (parcial o totalmente) el problema planteado

[13] Maskinfabrikken Apollo A/S. (17 de mayo del 2020). http://www.apollo.dk/

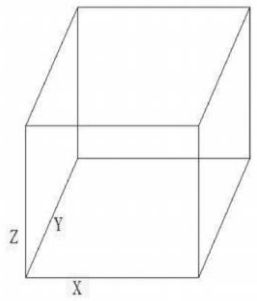
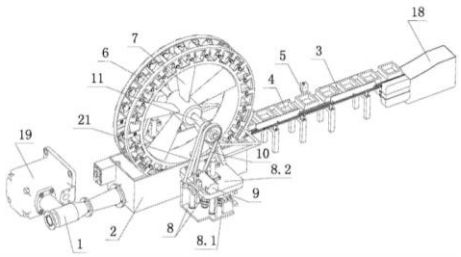
No.	Nombre de la Invención (español)	Institución de registro y No. de Patente	Breve Descripción	Debilidades en innovación que pueden ser subsanadas con la solución propuesta
1	Método de conteo de alevines[14] 	European Patent Office CN106530308	La invención describe un método de conteo de alevines, por lo que se utiliza tres cámaras para recolectar imágenes de alevines al mismo tiempo, combinándose mediante la ejecución de un software en la computadora.	-No cuenta con un método que facilite la medición de dimensiones geométricas de los alevines. -Implica una gran carga computacional.
2	Contador de alevines y camarones[15] 	European Patent Office CN107372274	La invención expone una máquina de conteo de alevines y camarones que comprende de un tubo de comunicación, un tanque de transición, una correa de transmisión anular, una rueda hidráulica y una cámara.	- No cuenta con un método que facilite la medición de dimensiones geométricas de los alevines. -El sistema cuenta con un gran tamaño y un mecanismo complejo el cual requiere un mantenimiento constante.

Tabla 4. Propiedades intelectuales registradas que solucionarían (parcial o totalmente) el problema planteado

[14] Hu, Kerong (2016). *Fry counting method*. (European Patent Office N° CN106530308). https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=CN&NR=106530308A&KC=A&FT=D&ND=4&date=20170322&DB=&locale=en_EP

[15] Zhang, Xuechang; Ma, Wenzhu; Dai, Shizheng (2017). *Fry and shrimp counting machine.* (European Patent Office N° CN107372274). https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=CN&NR=107372274A&KC=A&FT=D&ND=5&date=20171124&DB=&locale=en_EP

1.2.3 Aportes de Innovación

A continuación, se mostrará los aportes en innovación que propone el sistema desarrollado frente a las deficiencias o limitaciones identificadas en los productos o soluciones comerciales existentes y las propiedades intelectuales registradas.

Productos y soluciones comerciales existentes.

- Como se observa en la Tabla 3, ninguno de los 3 productos comerciales obtiene las medidas de las dimensiones geométricas de largo y ancho de alevines. El presente proyecto resuelve esta deficiencia brindando un algoritmo de medición para alevines de tilapia.
- En los ítems 1 y 2 de la Tabla 3, los productos mencionados necesitan adicionalmente acoplarse con tuberías cuya función es actuar como medio de transporte de los alevines. La solución propuesta subsana esta debilidad, siendo un sistema embebido cuyos componentes electromecánicos y tuberías ya están integrados a este sistema.
- En los ítems 1 y 2 de la Tabla 3, los sistemas necesitan que el usuario ingrese los alevines sin la compañía de agua ya que esta es proporcionada por el mismo sistema. La solución propuesta evita que alevín sea expuesto a situaciones de estrés originadas por la ausencia de agua.

Propiedad intelectual registrada

- Con respecto al ítem 1 de la Tabla 4, se observa que solo una pequeña población de alevines puede ser contabilizadas por ejecución de algoritmo. Por lo que el proyecto propone un sistema de traslado y posicionamiento automático de muestras de alevines desde un ambiente global con una gran población de estos hasta el recinto de adquisición de imágenes con muestras.
- Con respecto al ítem 2 de la Tabla 4, se observa que para contabilizar el alevín o camarón se tiene que realizar una captura de imagen por cada uno de estos. En consecuencia, el sistema propuesto realiza el conteo a muestras de como máximo 60 alevines por cada imagen analizada reduciendo los tiempos en estos procesos.
- Como se observa en la Tabla 4, los sistemas propuestos no tienen incorporado un algoritmo de medición de dimensiones geométricas de peces y/o alevines. Es por

ello, que el proyecto satisface esta necesidad al incorporar la medición de largo y ancho como parte del algoritmo propuesto.

Asimismo, como prueba de la innovación en este proyecto, se concluyó satisfactoriamente el trámite de patentabilidad en la clase de modelo utilidad el cual fue otorgado por Indecopi con N° de expediente 000422-2019[16].

1.2.4 Publicaciones Científicas, Académicas e Ingenieriles

Las publicaciones científicas que se tomarán en cuenta para la elaboración del proyecto se mostrarán a continuación en la Tabla 5

[16] Mejia, Brian; Salas, Andrés; Kemper, Guillermo (2020). *Sistema automático orientado al conteo y obtención de dimensiones geométricas de alevines de tilapia basado en procesamiento digital de imágenes*. (Petente de Perú. No. 000422). INDECOPI. Dirección de Innovación y Nuevas tecnologías. https://servicio.indecopi.gob.pe/portalSAE/Expedientes/consultaOIN.jsp?pListar=&pNroExpediente=422&pAnioExpediente=2019&pCaptcha=tann

No.	Título de la Publicación y Autores	Datos de la Publicación	Fortalezas de la publicación	Debilidades de la publicación que van a ser subsanadas con la solución propuesta
1	Propuesta de sistema de conteo de alevines de tilapia roja de bajo costo usando técnicas de visión artificial[17] Autores: Rubén Darío Vásquez Salazar, Ahmed Alejandro Cardona Mesa, Leidy Yohana Ocampo Osorio	-Artículo científico en revista -Revista Politécnica ISSN -Número 21, páginas 85-95, Julio - Diciembre 2015. Medellín - Colombia	-Cuenta con un grado de efectividad que puede alcanzar valores por encima del 88%. -El algoritmo de procesamiento puede analizar hasta 400 fotogramas por segundo.	-El grado de error del algoritmo varía según la inclinación del prototipo y la iluminación que lo rodea. -Se necesita que se ingrese un flujo de agua y alevines constante.
2	Optical Systems for the Detection and Recognition of Fish in Rivers[18] Autores: F.J. Ferrero, J.C. Campo, M. Valledor, M. Hernando	- Congreso -IEEE 11th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD14) -11-14 Feb. 2014. Barcelona, España	- Cuenta con un grado de efectividad mayor del 80%. -El resultado obtenido está basado en la combinación de los dos procedimientos expuestos. -Sirve tanto para contar y medir peces pequeños y medianos.	-El utilizar sensores infrarrojos por medio del agua para el conteo de peces no tiene resultados efectivos si es que existe turbidez en el flujo de agua. -La calidad del procesamiento depende de la iluminación del ambiente en el que se encuentra el sistema. -No permite contar ni medir alevines.

[17] Rubén Vásquez, Ahmed Cardona, Leidy Ocampo. (2015). "Propuesta de sistema de conteo de alevines de tilapia roja de bajo costo usando técnicas de visión artificial". Revista Politécnica.

[18] F.J. Ferrero, J.C. Campo, M. Valledor, M. Hernando. (2014). "Optical Systems for the Detection and Recognition of Fish in Rivers" IEEE 11th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices.

3	Using Low-Quality Video Sequences for Fish Detection and Tracking[19] Autores: Ekaterina Lantsova, Tatiana Voitiuk, Tatiana Zudilova, Arto Kaarna	-Congreso - SAI Computing Conference (SAI) -13-15 July 2016. London, UK	-Los resultados muestran que se obtuvo una precisión del 73% para la detección y tracking de los peces utilizando el método "Background subtraction"	-Las imágenes obtenidas en el ambiente real no resultaron de la calidad deseada lo cual afecta en la precisión del resultado. -No se pudo obtener la cantidad y longitud de los peces analizados.
4	Robot Fish Detection Based on a Combination Method of Three-Frame-Difference and Background Subtraction[20] Autores: Yongtian Lan, Zhijian Ji, Junwei Gao, Wang Yaowei	-Congreso - The 26th Chinese Control and Decision Conference -31 May-2 June 2014. Changsha, China	-Posee un procesamiento de imágenes robusto lo que permite rastrear el movimiento del pez. -Cuenta con iluminación propia para evitar ruidos externos en el video.	-No realiza conteo ni medición de peces. -Analiza únicamente una pequeña muestra de peces.
5	Automated Fish Counting Using Image Processing[21] Autores: Y. H. Toh; T. M. Ng; B. K. Liew	-Congreso - International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering - 11-13 Dec. 2009. Wuhan, China	- Cuenta con un mecanismo de transporte de alevines para separarlos en muestras de máximo 50 peces cada una. -El algoritmo tiene una precisión de 96.62% cuando hay como máximo 50 peces por muestra.	-La iluminación no es uniforme en toda la imagen analizada. -No realiza medición de peces.

Tabla 5. Publicaciones Científicas que evidencian el estado del conocimiento respecto a la solución problemática planteada en el proyecto

[19] Ekaterina Lantsova, Tatiana Voitiuk, Tatiana Zudilova, Arto Kaarna. (2016). "Using Low-Quality Video Sequences for Fish Detection and Tracking" SAI Computing Conference (SAI).

[20] Yongtian Lan, Zhijian Ji, Junwei Gao, Wang Yaowei. (2014). "Robot fish detection based on a combination method of three-frame-difference and background subtraction", The 26th Chinese Control and Decision Conference.

[21] Y. H. Toh; T. M. Ng; B. K. Liew. (2009). "Automated Fish Counting Using Image Processing" International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering.

1.2.5 Aportes de conocimiento nuevo, procedimientos, métodos y/o aplicaciones

A continuación, se mostrará los aportes de nuevos conocimientos que propone el sistema desarrollado frente a las deficiencias o limitaciones identificadas en las publicaciones científicas, académicas e ingenieriles.

- Se observa que en la Tabla 5 no existe alguna publicación que realice la medición de los alevines analizados, por lo cual, el algoritmo propuesto subsanará la debilidad calculando la longitud de largo y ancho de alevines de tilapia con una eficacia del 90%.

- Como se visualiza en la Tabla 5, solo una de las publicaciones puede alcanzar a lo máximo 96.62 % de eficacia en el conteo de peces. Por ello, el algoritmo desarrollado cumplirá con una precisión del 98% para el conteo de los alevines de muestras no mayores a 60.

- Con respecto a las publicaciones de los ítems 1, 2 y 3 de la Tabla 5, se obtiene interferencias en las imágenes capturadas generando una mala detección del pez, por lo que en el presente proyecto se desarrolla un ambiente cerrado con iluminación propia y correcta configuración y ubicación de la cámara para capturar las imágenes más adecuadas para el algoritmo.

- Como se observa en los ítems 1 y 4 de la Tabla 5, los sistemas mencionados necesitan el constante ingreso de peces de forma manual para ejecutar sus algoritmos. Es por ello, que el presente sistema tendrá incorporado un mecanismo de traslado y posicionamiento automático de alevines para la correcta obtención de resultados.

Como muestra del aporte de investigación brindado en la presenta Tesis, se elaboró una publicación científica la cual fue expuesta en el congreso internacional INTERCON 2018 y además indexada en IEEE y Scopus[22].

[22] B. Mejia, A. Salas and G. Kemper, "An Automatic System Oriented to Counting and Measuring the Geometric Dimensions of Gray Tilapia Fingerlings Based on Digital Image Processing," 2018 IEEE XXV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/INTERCON.2018.8526426.

1.3 Justificación

El propósito del proyecto es elaborar un sistema automático de conteo y medición que esté al nivel de los existentes sistemas importados en el país, con la ventaja de tener un costo mucho más bajo. En consecuencia, promover la innovación de tecnología en el sector acuícola del Perú ya sea para agilizar procesos o la investigación académica. Es por ello, que el proyecto al realizar los cálculos conteo y medición disminuirá el grado de error de estos mismos cálculos, en comparación a los procedimientos manuales realizados por muchas empresas, también se reducirá la tasa de mortalidad de los alevines a causa del estrés, que se genera en consecuencia de los procesos manuales y, por último, agilizará tiempos en el proceso.

1.3.1 Justificación respecto a beneficios para el usuario, cliente o patrocinador del proyecto

La solución a la problemática planteada beneficiará al cliente en los siguientes aspectos:

- Se disminuirá el tiempo de demora del proceso de conteo y medición de las dimensiones geométricas de los alevines.
- Se disminuirá de la tasa de mortalidad de los alevines de tilapia en el proceso de conteo y medición de estos.
- Costo más accesible del sistema para las pequeñas empresas en comparación de los sistemas importados.
- Mayor precisión al realizar el proceso de conteo y medición de los alevines de tilapia.

Impacto en la sociedad

- Promueve la investigación y la innovación de tecnología en el sector acuícola del País.
- Promueve el uso de procesamiento de imágenes como solución a diversos problemas existentes en diferentes rubros del día a día.
- Primer sistema de conteo y medición de alevines por medio de procesamiento de imágenes elaborado en el país; promoviendo el desarrollo de tecnología en el sector acuícola del país.

1.3.2 Justificación Ingenieril

A nivel científico, tecnológico e ingenieril, el proyecto implica la solución de los siguientes problemas de ingeniería citados a continuación:

- Elaboración de software para el cálculo de la cantidad y longitudes de largo y ancho de alevines de tilapia: Se debe desarrollar un algoritmo aplicando conceptos de procesamiento de imágenes para determinar el conteo y medición de estos alevines. Este algoritmo será embebido en un Rasppberry pi 3 el cual posee un procesador potente, pequeño y de fácil acoplamiento a la estructura mecánica debido a su tamaño.

- Desarrollar un sistema electromecánico para el transporte y posicionamiento de una muestra adecuada de alevines: Primero se requiere una simulación 3D para representar la estructura mecánica la cual albergará 3 niveles en donde se posicionarán todos los componentes del sistema. Luego, se implementará físicamente esta estructura la cual cumple con la teoría de dinámica de fluidos para concretar el traslado de alevines.

- Elaborar un ambiente idóneo para la correcta aplicación del algoritmo de procesamiento de imágenes: Se debe de diseñar e implementar un recinto cerrado con una iluminación uniforme y correcta colocación de la cámara para capturar una imagen de calidad la cual será interpretada en el algoritmo.

1.3.3 Justificación Económica

En el aspecto económico el proyecto se justifica por lo siguiente:

- El sistema desarrollado utilizará mecanismos y componentes económicos con la finalidad de lograr un producto accesible de alrededor de $ 5,000.00 (siendo el costo de las máquinas importadas mayor a $ 8,800.00) para las empresas de cultivo de acuicultura en el Perú, estando entre estas el centro piscícola de la UNALM.

- Venta más exacta de la cantidad de alevines. Al tener un menor grado de error en el proceso de conteo de alevines, el centro piscícola de la UNALM venderá una cantidad mucho más exacta con lo que optimizará la ganancia ya que actualmente para compensar el error existente, se añade un 15 % más de alevines de los calculados de manera manual.

1.3.4 Justificación Social

El presente proyecto tiene una justificación social en base a lo siguiente:

- El sistema al estar ubicado en el CINPIS de la UNALM será utilizado con finalidades didácticas por los universitarios y operarios la universidad y además con ello, promover la investigación científica de esta especie.
- Se tendrá una distribución de actividades más eficiente, por lo que los colaboradores del CINPIS podrán centrarse en otras áreas de trabajo al reducir el excesivo tiempo gastado previamente.
- Los colaboradores se sentirán más aliviados ya que no pondrán en riesgo la integridad física del alevín al momento de realizar los procesos de conteo y medición.

1.4 Requerimientos técnicos, ingenieriles y operativos

A continuación, se listará los requerimientos técnicos, ingenieriles y operativos que debe satisfacer la solución propuesta.

- Sistema electromecánico para el transporte y posicionamiento de como máximo 60 alevines desde una pecera global a la segunda pecera que se encuentra dentro del recinto para la adquisición de imágenes.
- Mecanismo de protección para evitar el paso de alevines al momento de cerrar la válvula que actúa como compuerta para el traslado de estos.
- El sistema podrá contar un promedio de 500 alevines en 8 minutos.
- El algoritmo de procesamiento de imágenes para el proceso de conteo de los alevines tendrá una precisión del 98%.
- EL algoritmo de procesamiento de imágenes para el proceso de medición de dimensiones geométricas de largo y ancho de los alevines tendrá una precisión del 90%.
- El sistema contará con un recinto de adquisición de imágenes que cumpla los requisitos de iluminación que son: led de luz blanca de 10 Watts y una difuminación uniforme. Así mismo, incorporado al recinto, estará una cámara web Logitech con

resolución de 1920x1080p ubicada a una altura de 20 cm de la base del recinto para su correcto enfoque y campo visual de los alevines.

1.5 Objetivo General

Desarrollar para el centro piscícola de la UNALM un sistema que permita incrementar la eficiencia del procedimiento de conteo de alevines de tilapia gris a un 98% y de la medición de las dimensiones geométricas de largo y ancho de estos alevines a un 90%.

1.6 Objetivos Específicos de Desarrollo de la Solución Propuesta

- Desarrollar un sistema electromecánico para el traspaso de alevines de un ambiente global a un ambiente de menor escala en donde se realizará la captura de imágenes. Indicador: Una estructura mecánica la cual albergue dos peceras conectadas por tuberías en las cuales se transporten muestras de alevines.

- Desarrollar un entorno físico idóneo para la adquisición de imágenes en alta calidad de una muestra de alevines y determinar la mejor ubicación y configuración de la cámara. Indicador: Un recinto con iluminación propia y cámara capaz de adquirir imágenes de una muestra de alevines.

- Desarrollar un circuito electrónico para el funcionamiento y control de todos los componentes electromecánicos utilizados en el proyecto incluyendo a los de la etapa de traspaso y del procesamiento y captura de imágenes. Indicador: Un circuito electrónico el cual permita el funcionamiento y control de los motores y válvula de bola electromecánica.

- Desarrollar un algoritmo de procesamiento de imágenes para realizar el conteo y medición de alevines, en conjunto con la interfaz gráfica, donde se visualizarán los resultados. Indicador: Algoritmos computacionales desarrollados en el sistema operativo Raspbian basado en lenguaje Phyton, encargados de contabilizar y medir el largo y ancho de los alevines.

- Validar el desempeño de la solución integral comparando los resultados del sistema con los resultados obtenidos en campo avalado por los expertos. Indicador: Un reporte de validación en donde se presenta las pruebas realizadas, las métricas utilizadas, resultados y comentarios comparativos respecto a trabajos anteriores.

1.7 Breve descripción de la solución propuesta

En las siguientes secciones se describe brevemente la solución propuesta en el presente trabajo de tesis.

1.7.1 Diagrama de Bloques

A continuación, mediante la Figura 6 se detallará por medio de un diagrama de bloques el funcionamiento global del sistema propuesto.

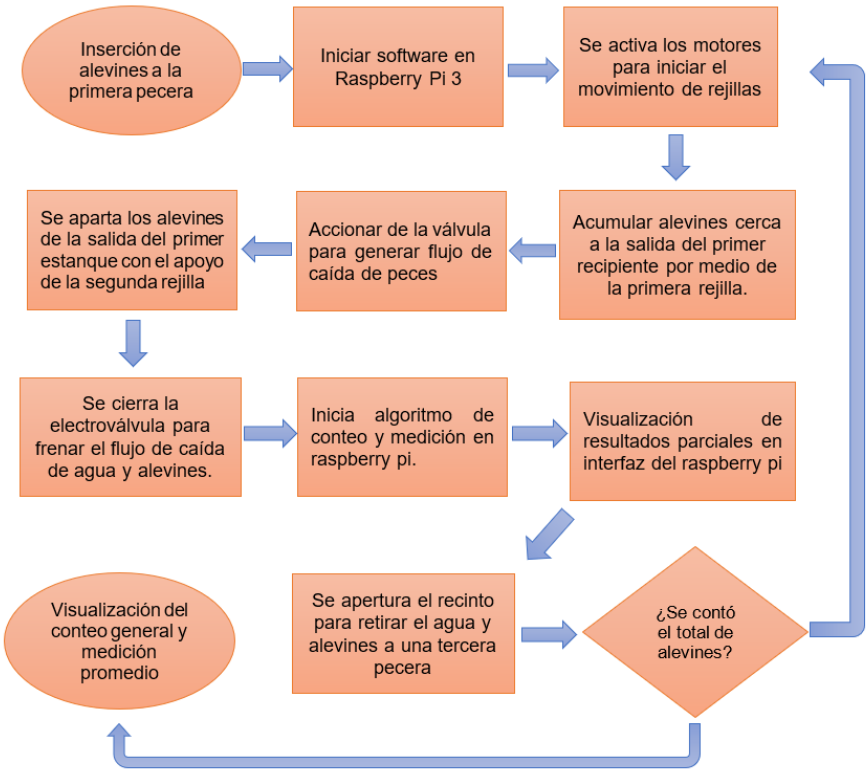


Figura 6. Diagrama de bloques del proyecto

A continuación, se muestra el diagrama pictórico del proyecto en la Figura 7 donde el sistema contará con 2 estanques, de los cuales uno será el principal donde estarán todos los alevines, otro donde solo llegarán una cantidad de alevines para la captura de imágenes. Además, las peceras se comunicarán por tubos PVC donde se encontrará una válvula esférica que controlará el flujo de caída de alevines por medio de un Raspberry Pi 3. Para finalizar, el conteo y medición se realizará en la segunda pecera, la cual está dentro de un recinto con iluminación propia, por lo que se aplicará un algoritmo de procesamiento de imágenes para obtener las variables en mención.

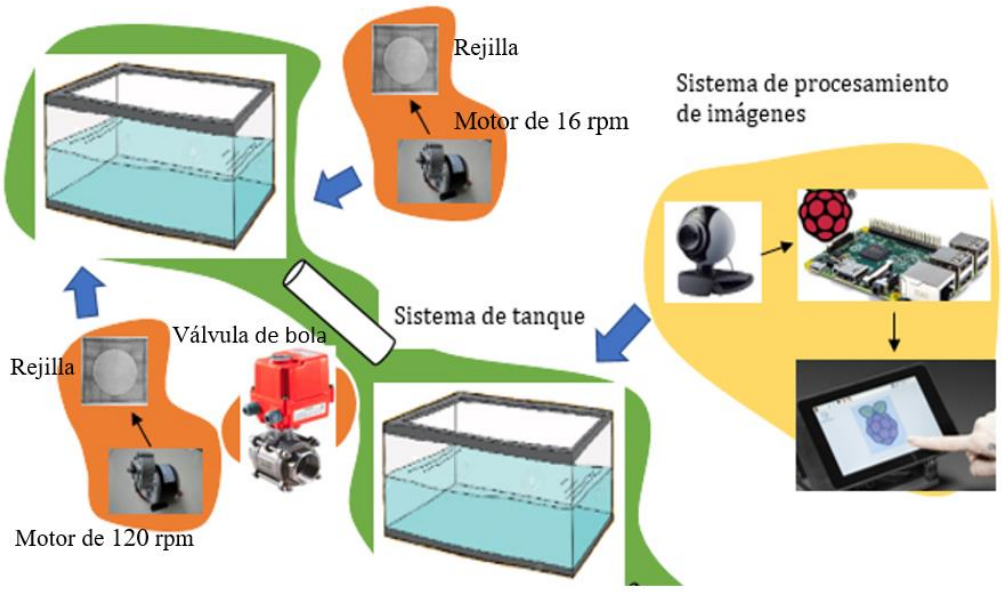


Figura 7. Diagrama pictórico del proyecto

1.7.2 Funcionamiento

A continuación, se explicará paso a paso el funcionamiento del proyecto en base al diagrama de bloques de la Figura 6:

1) Se inserta la población de alevines en la primera pecera.
2) Para iniciar el proceso se inicia el software en el Raspberry.
3) Se selecciona el botón “Iniciar Proceso” en la interfaz gráfica del sistema.
4) Se inicia el proceso de traslado de alevines, para ello se activa la primera rejilla que por medio del motor y la correa de engranajes avanza y acumula a los alevines cerca del orificio de salida del recipiente.
5) Se activa la electroválvula esférica y el compresor por lo que inicia el traslado de alevines hacia la segunda pecera, luego de unos segundos la segunda rejilla se moviliza y aleja los alevines de la salida del primer estanque, para luego cerrar la electroválvula.
6) De los alevines trasladados a la segunda pecera del recinto, se obtiene la captura de imagen por medio de una cámara conectada al Raspberry y este mismo inicia el proceso de conteo y/o medición por medio del algoritmo desarrollado.
7) En la interfaz gráfica se muestra el cuadro de conteo acumulado, el cual irá aumentando de valor a medida que se tienen más muestras de alevines. Lo mismo ocurre con el cuadro de medición promedio acumulado del largo del alevín.

8) Se apertura el recinto para extraer de forma manual el agua y alevines a un tercer estanque, por lo que el segundo recipiente quedara disponible para alojar futuras muestras.
9) Se repite el proceso desde el inciso 3 hasta llegar al número deseado de peces a contar.
10) Finalmente aparecerá un cuadro comentando que el proceso ya se ha terminado, y aparecen los resultados de conteo total y medición promedio de largo.

1.7.3 Ilustración del Producto Final Estimado

Se presenta en la Figura 8 la simulación 3D de la estructura mecánica con sus componentes los cuales en conjunto representan a la solución propuesta para el proyecto.

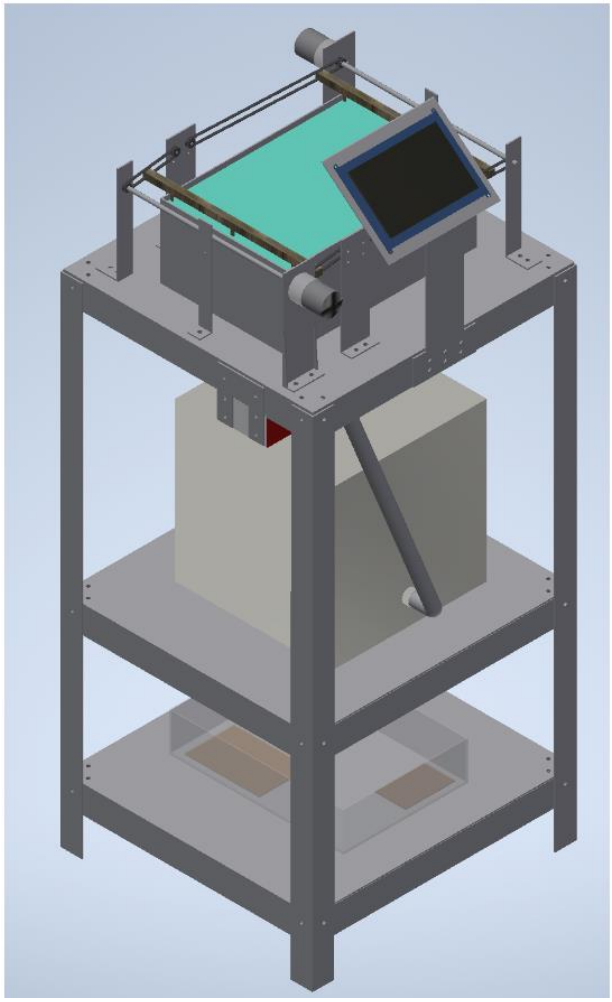


Figura 8. Simulación 3D del producto propuesto

1.7.4 Alcances y limitaciones de la solución propuesta

Por un lado, se espera que el proyecto tenga los siguientes alcances para así resolver la problemática previamente planteada.

- Obtención de un porcentaje de acierto del 98 % en el conteo y del 90% en la medición de largo y ancho de alevines de tilapia.
- Desligarse de la alta dependencia de colaboradores que ejecutan estos procesos, ya que se tiene una solución automatizada.
- Reducir el tiempo requeridos para realizar estos procedimientos de forma manual.
- Disminuir en gran medida el deceso de alevines por estrés, ya que estos permanecerán en el agua.
- La incursión de nuevas tecnologías en el sector acuícola

Por otro lado, el proyecto se encuentra con las siguientes limitaciones

- Se requiere a un colaborador para que extraiga los alevines y el agua de la segunda pecera.
- En el conteo, si hay un alevín justo debajo de otro no se podrá reconocer ya que solo se tiene una vista de la pecera.
- En la medición, si el alevín se halla doblado, se tendrá un margen de error al calcular su ancho y largo.
- El sonido que emite la compresora de aire puede que incomode un poco a los alevines.

1.7.5 Aplicaciones directas e Indirectas de la solución propuesta

La aplicación principal de la solución planteada es que mediante un sistema automatizado se contabilice y se mida el largo y ancho de alevines de tilapia gris, por lo que sería de utilidad para las instituciones que se dedican a la comercialización de negocio a negocio, un ejemplo de ello es el centro piscícola de la UNALM.

En otras aplicaciones, se podría modificar el algoritmo del producto, para que permita realizar los procedimientos de conteo y medición a otras especies de peces. Además, se

podría modificar las dimensiones de la estructura para que pueda albergar peces de mayor tamaño, y así realizar estos mismos procedimientos en las instituciones que ya comercializan para el consumo humano.

1.8 Viabilidad

La viabilidad del proyecto y el desarrollo de la solución propuesta son descritas seguidamente:

1.8.1 Viabilidad técnica

a. Capacitación del personal.

   Para el desenvolvimiento del proyecto se requiere los conocimientos ligados a procesamiento de imágenes, sistema de control de componentes mecánico y electrónicos, programación de computadoras, diseño y simulación de estructuras mecánicas, diseño y fabricación de circuitos integrados. De este modo, se estos conocimientos han sido adquiridos en los siguientes cursos.

   - Procesamiento avanzado de señales e imágenes.
   - Programación avanzada de computadoras.
   - Control de procesos y sistemas embebidos.
   - Sensores y actuadores.
   - Dispositivos y circuitos analógicos.

b. Asesoramiento Técnico / Ingenieril.

   Se cuenta con el asesoramiento del grupo de trabajo del CINPIS de la UNALM, liderado por la Magíster Beatriz Angeles con profesión de Ingeniería Pesquera quien proporcionó acceso a sus instalaciones y a su vez brindó información científica de los procesos realizados.

c. Infraestructura y Equipamiento Técnico.

   Se cuenta con un ambiente de trabajo idóneo ya que posee las siguientes especificaciones:

- Amplio espacio para ubicar la estructura mecánica y pecera con alta densidad poblacional de alevines.
- Iluminación adecuada y alimentación constante de electricidad.
- Se posee equipamiento electrónico como multímetros, osciloscopio y generador de voltaje continuo; y herramientas como pistola de soldar, desarmadores, planchas de acrílico, etc.

d. Requerimientos técnicos del cliente.

El centro piscícola de la UNALM ha requerido las siguientes especificaciones técnicas:

- El producto debe de trabajar en un entorno con presencia de humedad: La estructura mecánica del sistema será elaborada en acero inoxidable AISI 316. Además, todo el circuito del sistema estará protegido en un contenedor cerrado.
- Debe de contar una cantidad superior a 3000 peces por hora: El algoritmo permitirá analizar 3750 alevines por hora.
- Debe de medir por lo menos el 10 % de la población de alevines: Se considera que el algoritmo sea capaz de medir el 100 % de la población sin ocasionar un aumento considerable en el tiempo de ejecución del proceso de conteo.
- El sistema debe poder moverse por diferentes ambientes del CINPIS: Se elaborará un equipo portable ya que todos sus componentes estarán fijados en la estructura mecánica y simplemente requerirá de una alimentación eléctrica de 220V para que este sistema entre en operatividad.
- Interfaz gráfica amigable para el uso del personal del CINPIS: Se desarrollará una interfaz gráfica utilizando las librerías de UI Design que posee el software GNU Octave por lo que al presionar un solo botón en la pantalla podrán iniciar el flujo de trabajo, visualizar resultados y finalizar el proceso.

e. Disponibilidad de componentes y materiales.

Los componentes y materiales son de fácil acceso ya que son comerciales en los mercados locales e internacionales en sus categorías respectivas. Enseguida, se enlista los componentes requeridos:

- Válvula esférica neumática.
- Solenoide eléctrico neumático.
- Compresor y filtro de aire.
- Engranaje con correas y motores DC.
- Raspberry Pi 3.
- Luz led.
- Pantalla LCD.
- Malla de plástico, madera y acero inoxidable.
- Tubos PVC.
- Cámara Web.

1.8.2 Viabilidad económica

Los costos previstos para desarrollar la presente solución se observan en la Tabla 6.

ITEM	PRODUCTO	PRECIO UNITARIO APROXIMADO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
1	Acrílico 3 mm 1 plancha	S/ 50.00	6	S/ 300.00
2	Alevines de tilapia	S/ 165.00	10	S/ 1,650.00
3	Arduino Mega 2560	S/ 60.00	2	S/ 120.00
4	Broca de Cobalto	S/ 50.00	6	S/ 300.00
5	Cable HDMI 1 metro	S/ 39.90	2	S/ 79.80
6	Cable Multifilar 1 metro	S/ 1.80	20	S/ 36.00
7	Cargador de Raspberry	S/ 50.00	2	S/ 100.00
8	Case Raspberry pi 3	S/ 60.00	2	S/ 120.00
9	Cinta aislante	S/ 5.10	1	S/ 5.10
10	Circuito de control	S/ 100.00	1	S/ 100.00
11	Circuito regulador de LED de potencia	S/ 20.00	1	S/ 20.00
12	Codo 3/4" PVC	S/ 2.20	8	S/ 17.60

13	Compresor de aire 1HP	S/ 300.00	2	S/ 600.00
14	Correa de engranajes	S/ 10.00	4	S/ 40.00
15	Engranajes	S/ 2.00	6	S/ 12.00
16	Estructura mecanica	S/ 1,600.00	1	S/ 1,600.00
17	Filtro de aire 1/4"	S/ 150.00	2	S/ 300.00
18	Fuente programable DC	S/ 250.00	1	S/ 250.00
19	Led de 10W luz blanca	S/ 10.00	3	S/ 30.00
20	Cámara Raspberry 5 MP	S/ 60.00	2	S/ 120.00
21	Cámara Raspberry Infraroja 5MP	S/ 120.00	1	S/ 120.00
22	Cámara Web Logitech C920	S/ 300.00	2	S/ 600.00
23	Manguera 1/4" 1 metro	S/ 25.00	2	S/ 50.00
24	MicroSD RadioShack 32GB	S/ 74.90	2	S/ 149.80
25	Motor DC 120 RPM	S/ 20.00	2	S/ 40.00
26	Motor DC 16 RPM	S/ 20.00	2	S/ 40.00
27	Pantalla LCD TouchScreen 7"	S/ 230.00	2	S/ 460.00
28	Pegamento Acrílico	S/ 14.00	4	S/ 56.00
29	Pegamento PVC	S/ 35.00	1	S/ 35.00
30	Pic 18f4550	S/ 15.00	1	S/ 15.00
31	Protectores de cables	S/ 20.00	1	S/ 20.00
32	Raspberry Pi 3 - Model B	S/ 300.00	2	S/ 600.00
33	Recinto de acero inoxidable	S/ 500.00	1	S/ 500.00
34	Teclado inalámbrico	S/ 46.00	1	S/ 46.00
35	Teflon	S/ 3.90	3	S/ 11.70
36	Tiras de madera 1 metro	S/ 2.00	5	S/ 10.00
37	Tubo 3/4" PVC	S/ 18.00	4	S/ 72.00
38	Tubo de silicona	S/ 1.00	12	S/ 12.00
39	Valvula de bola neumatica 3/4"	S/ 600.00	2	S/ 1,200.00
40	Valvula soloneide	S/ 300.00	2	S/ 600.00
41	Multímetro	S/ 500.00	1	S/ 500.00
42	Pistola de soldar	S/ 30.00	1	S/ 30.00
43	Desarmadores	S/ 10.00	3	S/ 30.00
44	Pelacables	S/ 18.00	1	S/ 18.00
45	Mallas 1m	S/ 2.00	5	S/ 10.00
46	Cuchilla	S/ 24.00	1	S/ 24.00
47	Tornillo	S/ 0.50	100	S/ 50.00
			Presupuesto final	S/ 11,100.00

Tabla 6. Presupuesto estimado de la solución propuesta

Para el financiamiento se ganaron los fondos del Sexto concurso anual de incentivo a la investigación 2018 en la categoría "D" con código IAP-05-2018[23]. Por lo tanto, la dirección

[23] Dirección de Investigación de la universidad UPC (15/11/2020) *VI Concurso Anual de Incentivo a la Investigación*. Transparencia UPC. https://www.upc.edu.pe/transparencia-upc/investigaciones-con-recursos-upc/investigaciones-con-recursos-upc-2017-2019-0/

de investigación de la UPC cubrirá un 80% de los costos estimados en la Tabla 6 y el 20 % restante será asumido por los autores.

1.8.3 Viabilidad social

La implementación del producto no perjudicará la integridad física y mental de los autores. De igual forma, los usuarios finales no corren ningún riesgo al emplear de este producto.

1.8.4 Viabilidad operativa

- La estructura y componentes técnicos podrán operar tanto en el CINPIS de la UNALM como en un ambiente ajeno a este.
- El CINPIS cuenta con una conexión eléctrica con alimentación de 220 V, lo cual va a permitir el funcionamiento del sistema completo.
- Las dimensiones de 44 cm x 42 cm x 76 cm del producto permitirán que se pueda movilizar con facilidad en el centro piscícola y por el material del que estará hecho podrá adecuarse a las condiciones de humedad presentes.

1.8.5 Alternativas

El sistema puede ser utilizado para el conteo y medición de alevines de la especie Guppys. Con la premisa de que la precisión disminuirá en un 10 % para ambos procesos.

Comentarios Finales

En el presente capítulo se presentó y definió al problema existente en el proceso de conteo y medición de los alevines de tilapia en el CINPIS de la UNALM, el cual le lleva generando pérdidas económicas que desean ser subsanadas. Por lo tanto, se elaboró una propuesta para brindar una solución al respecto, a pesar de la existencia de distintos productos comerciales extranjeros, esta tesis innova en aspectos importantes como el sistema electromecánico de traspaso alevines, así como un algoritmo de medición de estos.

Posterior a ello, se presentan los requerimientos técnicos e ingenieriles solicitados por el CINPIS y con esto, se plantea el objetivo tanto general como específicos. En continuidad, se explica mediante un diagrama de bloques el funcionamiento paso a paso del sistema, exhibiendo adicionalmente, la ilustración del producto final simulado. Finalmente, se concluye que el producto es viable en distintos aspectos así que puede ser implementado.

2 CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se desarrollará los principales fundamentos teóricos para entender el diseño e implementación del sistema propuesto. Donde, se utilizaron conocimientos de: acuicultura, alevines de tilapia, adquisición de imágenes, técnicas de procesamiento de imágenes y componentes para el sistema de control.

2.1 Conceptos básicos

Se expone los conocimientos básicos del sector acuícola y del alevín de tilapia.

2.1.1 Acuicultura

Según la Real Academia Española, la acuicultura es el cultivo de especies acuáticas vegetales y/o animales[24]. Así mismo, la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) en su página web, define a la acuicultura como "Cría de organismos acuáticos, comprendidos peces, moluscos, crustáceos y plantas. La cría supone la intervención humana para incrementar la producción; por ejemplo: concentrar poblaciones de peces, alimentarlos o protegerlos de los depredadores.

La cría supone asimismo tener la propiedad de las poblaciones de peces que se estén cultivando. La acuicultura varía mucho según el lugar donde se lleve a cabo, desde la piscicultura de agua dulce en los arrozales de Vietnam hasta la cría de camarón en estanques de agua salada en las costas de Ecuador, y la producción de salmón en jaulas en las costas de Noruega o de Escocia. Sin embargo, la mayor parte de la acuicultura se lleva a cabo en el mundo en desarrollo, para la producción de especies de peces de agua dulce de poco consumo en la cadena alimentaria, como la tilapia o la carpa".

2.1.2 Alevín de tilapia gris

Las tilapias son peces de agua dulce originarios de África y hoy en día es una de las especies de pescado más comercializados del mundo. Ya que, la globalización del comercio de este producto es gracias al cultivo de estas especies en pozas artificiales. En el Perú es una de las especies de pez más vendidas, siendo su mercado interno como externo.

[24] Real Academia De La Lengua Española, RAE, (25 de abril del 2020). https://dle.rae.es/acuicultura

Biología de la tilapia.

a) Morfología Externa:

- Presenta un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, cuya función es actuar simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal.
- Su cuerpo es generalmente comprimido y discoidal, raramente alargado.
- Su boca es generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos.
- Para su locomoción poseen aletas pares e impares. Las aletas pares las constituyen las pectorales y las ventrales; las impares están constituidas por las aletas dorsales, la caudal y la anal.
- La parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta, consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, disponiendo sus aletas dorsales en forma de cresta.
- La aleta caudal es redonda, trunca y raramente cortada, como en todos los peces, esta aleta le sirve para mantener el equilibrio del cuerpo durante la natación y al lanzarse en el agua[25].

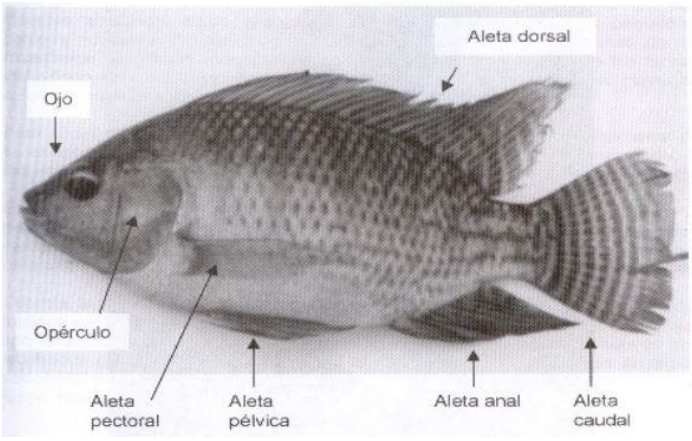


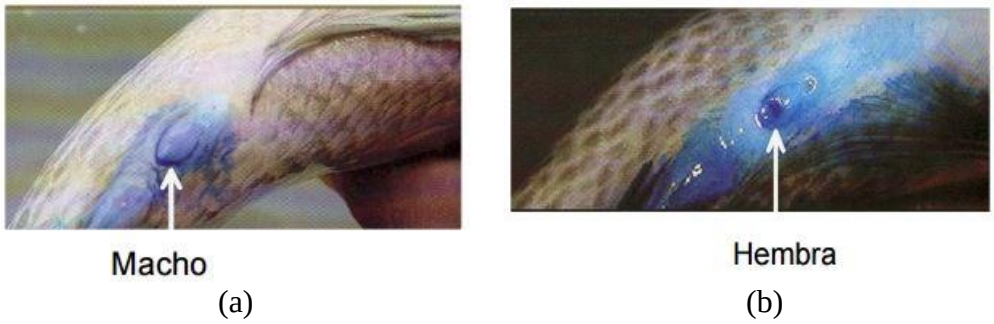
Figura 9. Partes de una tilapia[26]

b) Carácter sexual:

- Se puede diferenciar el sexo de las tilapias en base a que el macho presenta dos orificios bajo el vientre: el ano y el orificio urogenital, mientras que la hembra posee tres: el ano, el poro genital y el orificio urinario.

[25] María Auxiliado-ra Saavedra Martínez. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Acuáticos (CIDEA-UCA).
[26] María Auxiliado-ra Saavedra Martínez. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Acuáticos (CIDEA-UCA).

- El orificio urogenital del macho es un pequeño punto. El orificio urinario de la hembra es microscópico, apenas visible a simple vista, mientras que el poro genital se encuentra en una hendidura perpendicular al eje del cuerpo[27].
- En la Figura 10 (a) se observa una imagen del órgano sexual del macho mientras que en la imagen (b) se muestra el de la hembra.



(a) (b)

Figura 10. Órganos sexuales (a) macho, (b) hembra, de las Tilapias[28]

c) Hábitos productivos:

Se reproduce entre 20 a 25º C mayormente en zonas tropicales. Donde. el huevo de mayor tamaño es más eficiente para la eclosión y fecundidad. La madurez sexual se da a los 2 o 3 meses. Por lo cual, tiene 7 etapas de desarrollo embrionario los cuales se mencionan en el artículo de María Auxiliadora Saavedra Martínez titulado "*Manejo del cultivo de tilapia*". Estos pasos son:

1) *Después de 3 a 4 días de sembrados los reproductores se acostumbran a los alrededores.*
2) *En el fondo del estanque el macho delimita y defiende un territorio, limpiando un área circular de 20 a 30 cm de diámetro forma su nido. En estanques con fondos blandos el nido es excavado con la boca y tiene una profundidad de 5 a 8 cm.*
3) *La hembra es atraída hacia el nido en donde es cortejada por el macho.*
4) *La hembra deposita sus huevos en el nido para que inmediatamente después sean fertilizados por el macho.*

[27] María Auxiliado-ra Saavedra Martínez. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Acuáticos (CIDEA-UCA).
[28] María Auxiliado-ra Saavedra Martínez. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Acuáticos (CIDEA-UCA).

5) *La hembra recoge a los huevos fertilizados con su boca y se aleja del nido. El macho continúa cuidando el nido y atrayendo otras hembras con que aparearse. Para completarse el cortejo y desove requieren de menos de un día.*
6) *Antes de la eclosión, los huevos son incubados de 3 a 5 días dentro de la boca de la hembra. Las hembras no se alimentan durante los períodos de incubación y cuidado de las larvas.*
7) *Las larvas jóvenes (con saco vitelino) permanecen con su madre por un periodo adicional de 5 a 7 días, escondiéndose en su boca cuando el peligro acecha.*

d) Requerimientos Medioambientales:

- Temperatura: Los rangos óptimos de temperatura oscilan entre 20-30º C, sin embargo, pueden soportar temperaturas menores. A temperaturas menores de 15º C no crecen, mientras que, la reproducción se da con éxito a temperaturas entre 26-29ºC. También, los límites superiores de tolerancia oscilan entre 37-42º C.
- Oxígeno Disuelto: Soporta bajas concentraciones, aproximadamente 1 mg/l, e incluso en períodos cortos valores menores. A menor concentración de oxígeno el consumo de alimento se reduce, y por tanto, también se reduce el crecimiento de los peces. Lo más conveniente son valores mayores de 2 o 3 mg/l, particularmente en ausencia de luz.
- pH: Los valores óptimos de pH son entre 7 y 8. No pueden tolerar valores menores de 5, pero sí pueden resistir valores alcalinos de 11.
- Turbidez: Se deben mantener 30 centímetros de visibilidad
- Altitud: 850 a 2,000 m.s.n.m.[29]

[29] María Auxiliado-ra Saavedra Martínez. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Acuáticos (CIDEA-UCA).

- **Infraestructura de producción.**

a) Estanques: La tilapia es un pez fácil de cultivar si se sigue un buen plan de manejo de estanques siendo un recurso alimenticio y comercial de alta calidad.

b) Corrales: Se puede construir un corral en la parte menos profunda de un arroyo, un río, un lago o un embalse. La profundidad del agua en un corral no deberá exceder de 1.5 m en la parte más honda, también deberá asegurarse de que la misma nunca sea inferior a 1 m, incluso durante la estación seca. También, hay que recalcar que el corral debe ser ubicado en una zona donde el agua este calmada y deberá tener protección contra vientos. Para finalizar, el agua donde se ubicará el corral debe estar muy limpia y sin desechos.

c) **Jaulas:** Las jaulas pueden ser fabricadas de muchas maneras con diferentes materiales. Un ejemplo se aprecia en la Figura 11.[30]

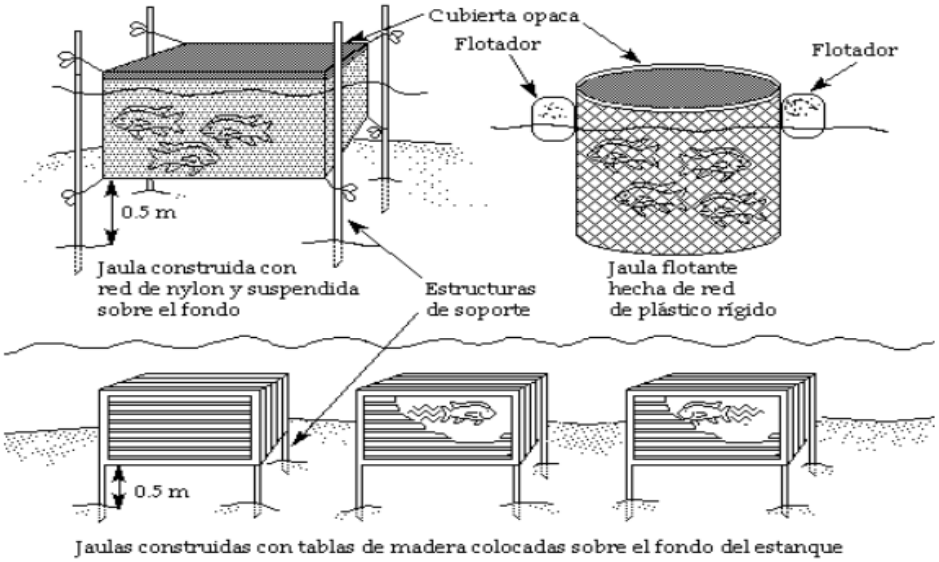


Figura 11. Jaulas para cultivo de tilapias[31]

- **Calidad del agua**

A continuación, se muestra la Tabla 7 que contiene los rangos de viabilidad de ciertos parámetros para el eficiente cultivo de tilapias detallado en la publicación de María Auxiliadora Saavedra Martínez titulado "*Manejo del cultivo de tilapia"*.

[30] María Auxiliado-ra Saavedra Martínez. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Acuáticos (CIDEA-UCA).
[31] María Auxiliado-ra Saavedra Martínez. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Acuáticos (CIDEA-UCA).

PARÁMETROS	RANGO
Temperatura	25.0 - 32. 0º C
Oxígeno Disuelto	5.0 - 9.0 mg/l
pH	6.0 - 9.0
Alcalinidad Total	50 - 150 mg/l
Dureza total	80 - 110 mg/I
Calcio	60 - 120 mg/I
Nitritos	0.1 mg/I
Nitratos	1.5 - 2.0 mg/I
Amonio Total	0.1 mg/I
Hierro	0.05 - 0.2 mg/I
Fosfatos	0.15 - 0.2 mg/I
Dióxido de Carbono	5.0 -. 10 mg/I
Sulfuro de Hidrógeno	0.01 mg/I

Tabla 7. Rango de parámetros para eficiente calidad de agua[32]

2.1.3 Método actual de conteo y medición de alevines aplicado por la UNALM

El centro de investigación piscícola de la Universidad Agraria La Molina actualmente posee piscigranjas ubicadas en ambientes con una atmósfera y condiciones adecuadas para el desarrollo de tilapias. Siendo actualmente, uno de los mayores proveedores de alevines de tilapia en Lima Metropolitana. En las fechas entre enero y mayo se gestiona la mayor producción de alevines de tilapia debido a las elevadas temperaturas de la temporada de verano. Por lo que, la empresa necesita realizar el conteo de la población de alevines próxima a ser comercializada con la condición de que el 5% de la población mida entre 1 cm y 3 cm.

Para el proceso manual del conteo de los alevines, el operador extrae a los alevines de sus piscigranjas mediante mallas o coladores (la Figura 12 muestra un ejemplo de la extracción por mallas) para después, realizar cálculos mentales para determinar un aproximado de alevines extraídos. Finalmente, los alevines ya contados son colocados en recipientes para su futura distribución. Este proceso tiene una demora de 20 minutos para contar un millar de

[32] María Auxiliado-ra Saavedra Martínez. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Acuáticos (CIDEA-UCA).

alevines, donde lastimosamente un 10% de esta población termina en su deceso debido a una larga exposición al estrés, originado por retirarlos del agua y la constante manipulación humana.



Figura 12. Ejemplo de extracción de alevines mediante mallas

Por otro lado, en caso el operador observe que la población contada se encuentra fuera de los rangos de entre 1 a 3 centímetros, procede con el proceso de medición. Para ello, se extrae del agua nuevamente 5% de esta población los cuales son colocados en papel milimétrico para determinar la medida de largo y ancho de cada alevín. Este método conlleva que esta porción de alevines esté expuesta a un tiempo prolongado sobre este papel ya que requiere que el alevín este inmovilizado para calcular sus dimensiones, desencadenando así, que todos estos alevines extraídos ya no regresen vivos a la población inicial.

2.2 Dinámica de fluidos

Es una subrama de la mecánica de fluidos que se encargar de estudiar el comportamiento de los fluidos en movimiento tanto en estado líquido como gaseoso. En este proyecto se le da un mayor énfasis a la hidrodinámica ya que el elemento que se movilizara por las tuberías es el agua.

2.2.1 Conceptos Básicos

a) Presión (P)

Es un valor físico que mesura la proyección de la fuerza ejercida de forma perpendicular sobre una superficie, cuya unidad de medición es el Pascal.

Se puede expresar por la Ecuación 1

$$P = \frac{F}{A}$$

Ecuación 1. Ecuación de la presión

donde:

F = Fuerza

A = Área total de la superficie

Tipos de presión

- Presión Atmosférica

  Resulta de la presión que realiza el grupo de masa de gases de la atmosférica sobre la superficie de la tierra y, por ende, todo lo que se encuentre en ella.

- Presión Absoluta

  Es la suma de la presión atmosférica más la presión que un elemento efectúa sobre un cuerpo.

- Presión Manométrica

  Es la diferencia entre la presión absoluta y atmosférica. Además, es las que más se emplea en la vida cotidiana.

b) Velocidad (v)

Es una magnitud vectorial que relaciona al cambio de posición de un objeto a través del tiempo.

Sin aceleración, se puede expresar por la Ecuación 2

$$v = \frac{d}{t}$$

Ecuación 2. Ecuación de velocidad

donde:

d = distancia en metros

t = tiempo en segundos

c) Caudal (Q)

Es un volumen del fluido el cual recorre una superficie por un tiempo determinado. O también, se puede considerar como la velocidad en la que circula este fluido a través de una superficie de tuberías.

Se expresa por la Ecuación 3

$$Q = \frac{V_o}{t}$$

Ecuación 3. Ecuación de Caudal con tiempo

donde:

V_o = el volumen del fluido en m^3

De igual forma, el caudal se podría hallar por la Ecuación 4.

$$Q = A \times v$$

Ecuación 4. Ecuación de Caudal

d) Densidad (ρ)

Se denomina a la cantidad de masa existente en una unidad de volumen. Por lo que, mientras se tenga mayor masa de un fluido ocupando un mismo volumen, se tendrá mayor densidad. Se expresa por la Ecuación 5.

$$\rho = \frac{m}{V_o}$$

Ecuación 5. Ecuación de densidad

donde:

m = la masa del fluido en Kg.

Cuando un fluido presenta densidad constante en toda su circulación, se considera que es incompresible.

e) Peso específico (γ)

Es una relación la cual vincula al peso y al volumen de una sustancia ubicada en el espacio. Se expresa por la Ecuación 6

$$\gamma = \rho \times g$$

Ecuación 6. Peso específico

donde:

g = gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

f) Viscosidad

Es una propiedad física la cual está ligada a la resistencia que presenta un fluido para circular y padecer deformaciones graduales a causa de tensiones cortantes o de tracción.

2.2.2 Ecuación de continuidad

La cantidad de fluido que ingresa por una tubería, el cual puede atravesar una red hidráulica con distintas secciones, permanecerá igual a la cantidad de este fluido que sale por esta tubería. Por lo que se representa con la Ecuación 7 y se observa en la Figura 13

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2$$

Ecuación 7. Ecuación de continuidad

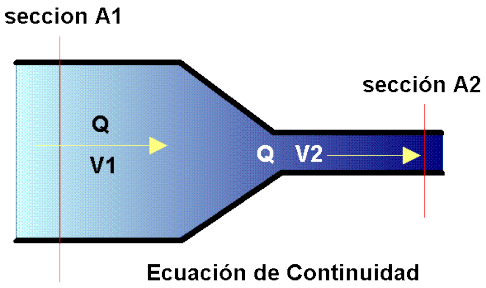


Figura 13. Principio de continuidad [33]

[33] E-ducativa.catedu.es. n.d. *Ecuación de continuidad.* [en línea] Disponible en: http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/22_ecuacin_de_continuidad.html

2.2.3 Principio de Bernoulli

Expone el comportamiento de un fluido en movimiento a través de un conducto cerrado, en el que, si el fluido es ideal, la energía se conserva constante a lo largo de este trayecto.
La energía de un fluido se divide en tres componentes:

- Energía Cinética

Se obtiene por la velocidad del fluido

- Energía Potencial Gravitacional

Se debe a la altitud que se encuentra el fluido

- Energía de Flujo

Se consigue por la presión que se le genera al fluido.

Con estos conocimientos de energía, se expresa la Ecuación 8

$$P + \frac{\rho}{2} \times v^2 + \rho \times g \times z = constante$$

Ecuación 8. Ecuación de Bernoulli de fluido ideal

donde:

z = altura (m)

Por otro lado, existe una ecuación de Bernoulli más amplia, en donde si toma en cuenta el comportamiento de un fluido real, por lo que a esta ecuación se le adiciona el trabajo exterior realizado por un agente externo como una bomba, la viscosidad y fricción de este fluido real.

La ecuación de Bernoulli con pérdidas y trabajo se observa en la Ecuación 9.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{{v_1}^2}{2 \times g} + Z_1 + \frac{W}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{{v_2}^2}{2 \times g} + Z_2 + h_p + h_s$$

Ecuación 9. Ecuación de Bernoulli con trabajo y perdidas

[Acceso el 15 de enero del 2021].

donde:

P_1=Presión 1

v_1= Velocidad 1

Z_1= Altura 1

W = Trabajo externo

P_2= Presión 2

v_2= Velocidad 2

Z_2= Altura 2

h_p= Perdida primaria

h_s= Perdida secundaria

2.2.4 Ecuación de Darcy-Weisbach

Al presentarse una fricción del fluido a lo largo de una tubería con longitud determinada y velocidad promedio, se obtiene una pérdida de carga principal o de presión.

Por lo tanto, mediante una formula se agrupan factores relacionados a los fluidos para determinar la perdida. Entre ellos se encuentra un factor adimensional llamado factor de fricción f, el cual varía de acuerdo con el tipo de fluido (laminar, transicional y turbulento).

Esta ecuación se representa en la Ecuación 10.

$$h_p = f \times \frac{L_T}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

Ecuación 10. Ecuación de Darcy-Weisbach de pérdida primaria

donde:

h_p= pérdida primaria

f= factor de fricción

L_T= Longitud de la tubería

D= Diámetro de la tubería

Asimismo, se producen menores pérdidas de presión en transiciones de la tubería tales como un ensanchamiento o un estrechamiento, y en los accesorios que formen parte de ella. Por ende, se utiliza la Ecuación 10 para hallar las pérdidas secundarias, la cual posee una ligera divergencia respecto al de pérdida primaria h_p debido a que se utiliza un coeficiente de resistencia K en lugar del factor de fricción f.

$$h_s = \sum K \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

Ecuación 11. Ecuación de Darcy-Weisbach de pérdida secundaria

donde:

K= coeficiente de resistencia

En la Ecuación 11 se emplea una sumatoria de coeficientes de resistencia K, porque cada transición de tubería y accesorio posee su propio coeficiente de resistencia, así que se tendría que sumar todos para determinar la perdida secundaria total h_s.

2.2.5 Ecuación de Swamee-Jain

Se emplea para calcular aproximadamente el factor de fricción f, por lo que se requiere conocer la rugosidad del material ε, el diámetro de la tubería D y los números de Reynolds Re.

Se presenta esta ecuación en la Ecuación 12

$$f = \frac{0.25}{\log_{10}(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}})^2}$$

Ecuación 12. Ecuación de Swamee-Jain

donde:

ε= Rugosidad absoluta

Re= Número de Reynolds

Además, al cociente entre la rugosidad absoluta y diámetro de la tubería se le conoce como rugosidad relativa $\frac{\varepsilon}{D}$.

Número de Reynolds

Denota una relación entre dos fuerzas de un fluido.

La primera, fuerza de inercia, es la que sufre cualquier cuerpo ante una aceleración o desaceleración.

La segunda, fuerza de viscosidad, es la que se contrapone a la libre circulación de un fluido debido al rozamiento a nivel de partículas. Esta ecuación de división entre estas fuerzas se representa en la Ecuación 13.

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu}$$

Ecuación 13. Ecuación de Número de Reynolds

donde:

μ= viscosidad dinámica

2.2.6 Diagrama de Moody

Es un diagrama elaborado por Lewis Ferry Moody, el cual es un método alternativo para hallar el factor de fricción. Por ello, se representa por una gráfica doblemente logarítmica el cual posee dos ejes, uno con referencia al número de Reynolds, y el otro con referencia a la rugosidad relativa de la tubería. En la Figura 14, se visualiza este diagrama de Moody

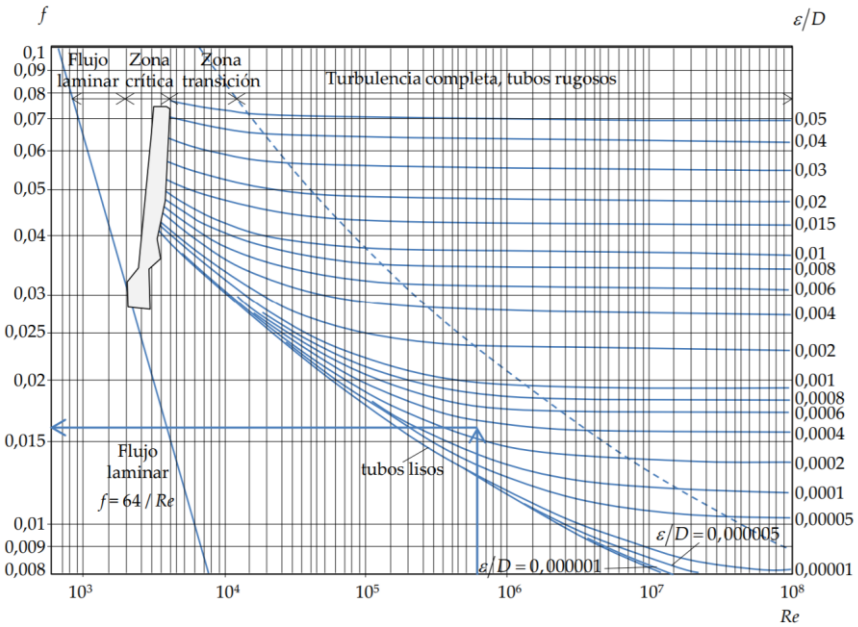


Figura 14. Diagrama de Moody[34]

[34] Arregui de la Cruz, Francisco et al (2017) Apuntes mecánica de fluidos. Editorial: Universitat Poltecnica de Valencia

2.3 Procesamiento de imágenes

A continuación, se expondrá los fundamentos teóricos en los cuales estará basado el algoritmo de procesamiento de imágenes.

2.3.1 Adquisición de imágenes

Sensor de Imagen. El sensor de imagen es el elemento de una cámara electrónica, tanto de vídeo como de fotografía estática cuya función es detectar y capturar la información que compone la imagen. Para ello, se convierte la atenuación de las ondas de luz (cuando estas atraviesan o son reflejadas por cuerpos) en señales eléctricas.

Las ondas capturadas por el sensor pueden ser luz u otro tipo de radiación electromagnética. Su forma física es la de un chip formado por millones de componentes sensibles a la luz (fotodiodos o fototransistores) que al ser expuestos capturan las ondas proyectadas de un objetivo, que compone la imagen. Los sensores de imagen son utilizados en diversos dispositivos, tales como cámaras digitales, equipos médicos y equipos de visión nocturna. En la Figura 15 se puede ver los tipos de sensores de imágenes más importantes.

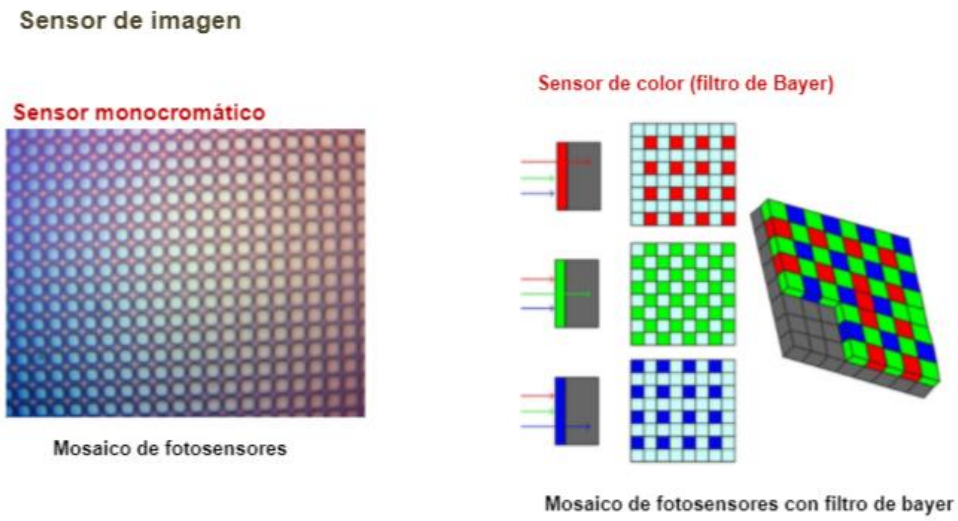


Figura 15. Tipos de sensores de imagen[35]

El sensor en su interior está compuesto por una matriz de millones de diminutas celdas llamadas fotositos donde dentro de cada una de estas celdas se encuentra un fotodiodo, que es un componente electrónico sensible a la luz. Durante la exposición, cada fotodiodo

[35] Imagen extraída de: Dr. Kemper, Guillermo (2021). Procesamiento Avanzado de Señales e Imágenes. Fundamentos de la Imagen Digital, diapositiva 18.

convierte la energía presente en la luz (fotones), en corriente eléctrica (electrones). De esta forma, los fotositos almacenan una mayor o menor carga eléctrica en función de la intensidad lumínica que reciben. El valor de carga acumulado por cada fotosito es bastante pequeño, por lo que debe ser amplificado antes de su digitalización. La Figura 16 muestra un ejemplo de un proceso de adquisición de una imagen digital.

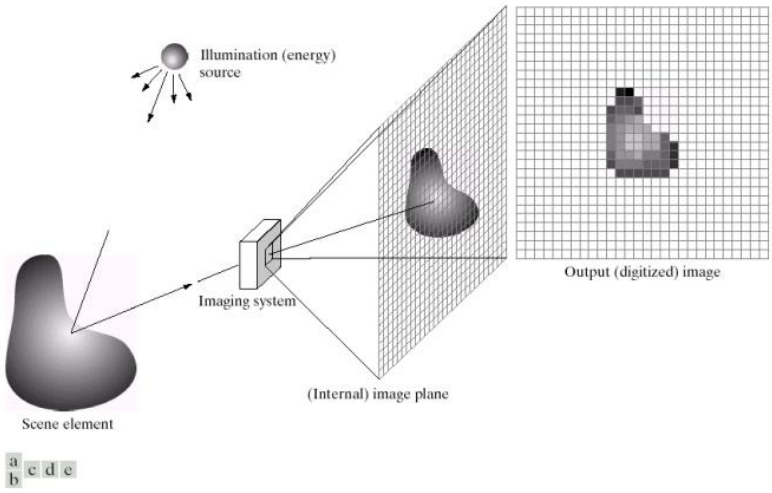


Figura 16. Ejemplo del proceso de una adquisición de imagen digital. a) Fuente de energía ("iluminación"), b) Elemento en escena, c) Adquisición de imagen, d) Proyección de una escena en una imagen plana, e) Imagen digitalizada[36]

Por consiguiente, la imagen de la Figura 16 se puede representar matemáticamente como una función bidimensional representada en la Ecuación 14.

$$0 < b(x, y) < \infty$$

Ecuación 14. Representación matemática de una imagen [37]

La función $b(x, y)$ se caracteriza por dos componentes:

- Iluminación $i(x, y)$: cantidad de luz incidente procedente de la fuente sobre la escena.
- Reflectancia $c(x, y)$: cantidad de luz reflejada por los objetos de la escena.

Ambos componentes se unen para formar la siguiente función representada en la Ecuación 15.

[36] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition
[37] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition

$$b(x,y) = i(x,y)c(x,y)$$

Ecuación 15. Función de los componentes de iluminación y reflectancia[38]

Donde el rango de valores posibles para $i(x,y)$ es el mostrado en la Ecuación 16 y para $c(x,y)$ es el mostrado en la Ecuación 17[39].

$$0 < i(x,y) < \infty$$

Ecuación 16. Rango de valores de $i(x,y)$[40].

$$0 < c(x,y) < 1$$

Ecuación 17. Rango de valores de $c(x,y)$[41]

Distancia focal y Campo de Visión. La distancia focal de una lente es la distancia entre el centro óptico de la lente y el foco (o punto focal). El foco es el punto donde se concentran los rayos de luz.

En un objetivo, la distancia focal es la distancia entre el diafragma de éste y el foco. Los objetivos de las cámaras tienen una distancia focal fija o variable, dependiendo del tipo de objetivo. Al variar la distancia focal se consigue un menor o mayor acercamiento, lo que comúnmente se le denomina zoom.

El campo de visión se divide en campo horizontal y vertical. Donde el campo horizontal se calcula resolviendo la Ecuación 18.

$$FOV_H = 2 \times tg^{-1}\left(\frac{0.5 \times W_S}{f_l}\right)$$

Ecuación 18. Cálculo del campo de visión horizontal [42]

donde:

- FOV_H: Campo de Visión Horizontal (°).

[38] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition
[39] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition
[40] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition
[41] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition
[42] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition.

- W_S: Ancho del sensor de la cámara (m).
- f_l: Distancia Focal (m).

Para obtener el campo de visión vertical se utilizará la Ecuación 19.

$$FOV_V = 2 \times tg^{-1}\left(\frac{0.5 \times Al_s}{f_l}\right)$$

Ecuación 19. Cálculo del campo de visión vertical [43]

donde:

- FOV_V: Campo de Visión Vertical (°).
- Al_s: Altura del sensor de la cámara (m).
- f_l: Distancia Focal (m).

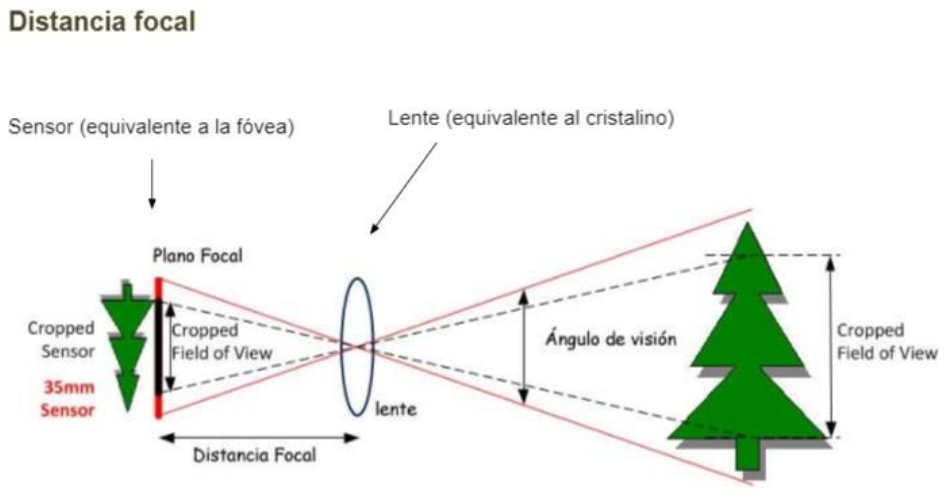


Figura 17. Ejemplo de Campo de Visión[44]

Muestreo y cuantificación. Después del proceso de adquisición de imágenes, se obtiene como resultado el valor del voltaje de respuesta brindado por cada fotodiodo del sensor de imagen ante la intensidad de luz captada en el momento de la captura.

Por consiguiente, para poder tener una imagen digital es necesario realizar el muestreo y cuantificación de los valores de respuesta obtenidos del sensor de imagen. Para ello, estos

[43] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition.
[44] Imagen extraída de: Dr. Kemper, Guillermo (2021). Procesamiento Avanzado de Señales e Imágenes. Fundamentos de la Imagen Digital, diapositiva 12.

valores son transformados en una matriz de valores digitales donde cada valor representa una escala de color de acorde a la intensidad de luz adquirida en el momento de la captura.

En la Figura 18 se muestra el proceso de generar la imagen digital lo que incluye el proceso de muestro y cuantificación de la imagen. Así mismo, en la Figura 19 se muestra el plano 2D que se desea capturar y su respectiva representación digital con los valores de intensidad de luz para cada valor de la matriz que representa la imagen.

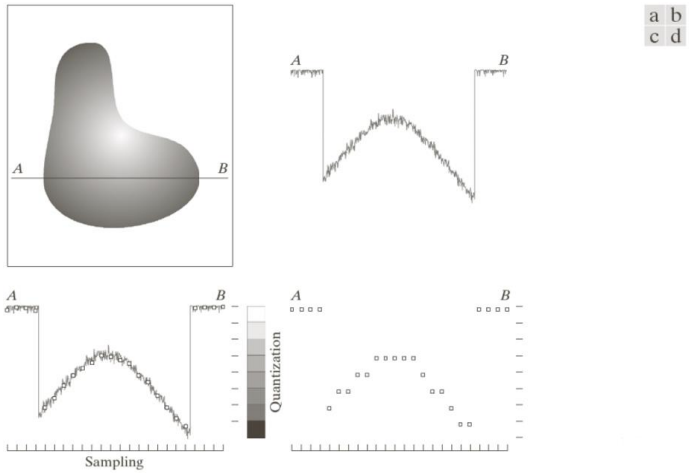


Figura 18. a) Plano que se desea capturar. b) Valores continuos del proceso de adquisición de imágenes. c) y d) Cuantificación de estos valores en digital[45]

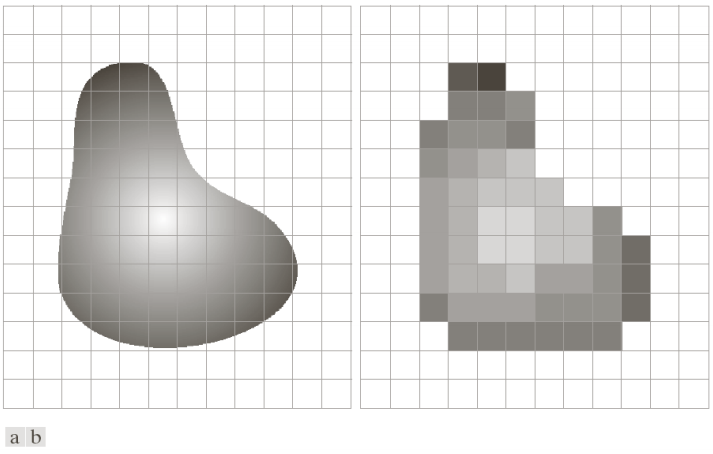


Figura 19. Imagen a) representa el plano 2D que se desea capturar mientras que la imagen b) representa la imagen digitalizada[46]

[45] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition.
[46] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition.

2.3.2 Representación de una imagen digital

Después del proceso de cuantificación de los valores obtenidos en la imagen capturada, la imagen digital contará con valores adecuados para su representación digital según el formato correspondiente.

Por esta razón, la imagen cuantificada se representa como una matriz o arreglo bidimensional de números con M filas y N columnas y obedece a la función $I(x, y)$ donde (x, y) son coordenadas discretas con los siguientes posibles valores: $x = 0, 1, 2, \dots, M-1$ y $y = 0, 1, 2, \dots, N-1$. Así mismo, se describe de forma aproximada como se visualiza en la Ecuación 20.

$$I(x,y) = \begin{matrix} I(0,0) & I(0,1) & \dots & I(0,N-1) \\ I(1,0) & I(1,1) & \dots & I(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I(M-1,0) & I(M-1,1) & \dots & I(M-1,N-1) \end{matrix}$$

Ecuación 20. Representación de imagen digital como la función matemática[47]

Cada celda de la matriz representa cada píxel de la imagen digitalizada y por lo tanto cada valor de la matriz representa un valor de píxel respectivo siendo estos, los que darán el color a la imagen. En la Figura 20 se muestra un ejemplo de una representación matricial de una imagen de 20x15 píxeles.

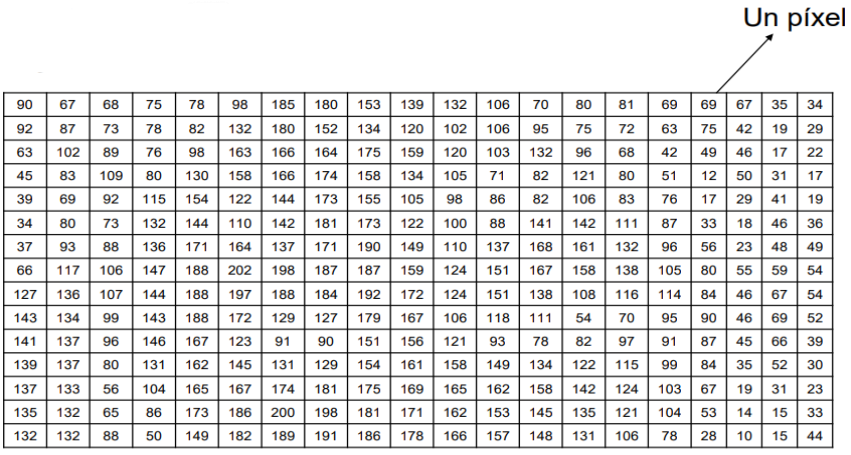


Figura 20. Representación matricial de imagen de 20x15 píxeles[48]

[47] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition.
[48] Imagen extraída de: Mag. Christian Del Carpio. (2016). Procesamiento Avanzado digital de Imágenes. Fundamentos de la Imagen Digital, diapositiva 27.

2.3.3 Modelos de color

El uso del color en el procesamiento de imágenes tiene dos motivos principales por lo cual es utilizado. El Primero, el color es un poderoso descriptor que, en la mayoría de los casos simplifica la identificación y extracción de los objetos de una escena. El segundo, es que los humanos pueden distinguir miles de colores y sin embargo sólo dos docenas de niveles de gris. Debido a las características del ojo humano, todos los colores que pueden reconocer en una imagen son una combinación de los llamados colores primarios: R(Red/Rojo), G(Green/Verde) y B(Blue/Azul).

Cuando se habla de un modelo de color se refiere a la ayuda que brinda estos mismos para recolectar información característica de la imagen utilizando los colores como medio de detección. En esencia, un modelo de color es la especificación de un sistema de coordenadas tridimensional en el que cada color queda representado por un único punto. Entre los espacios de color utilizados más frecuentemente para el procesamiento de imágenes se encuentran el RGB, YIQ, CMY, YCbCr y HSI[49].

2.3.3.1 Modelo de color RGB

El ojo humano percibe el color de los objetos existentes, como la consecuencia del reflejo de la luz sobre estos. Este reflejo ingresa al ojo humano donde se realiza la interpretación del color basándose en los colores primarios rojo, verde y azul, donde cada uno de estos colores representa una longitud de onda distinta.

Para la representación digital de imágenes a color, una gran variedad de equipos electrónicos utiliza el formato RGB. Donde, las imágenes representadas mediante este modelo de color, están compuestas de tres componentes de imagen donde cada una de ellas representa a cada color primario existente en esta. Para reproducir una imagen de color en un monitor RGB, el sistema combina en pantalla las 3 componentes de imagen (rojo, verde y azul) como se observa en la Figura 21.

Un elemento importante de una imagen digital es la profundidad de píxel que posee. Por lo tanto, se le denomina profundidad de píxel al número de bits utilizados para representar cada píxel de una imagen. Por lo que, una imagen RGB en la que cada una de las componentes de color utilice 8 bits para representar cada valor de la imagen, tendrá una profundidad de

[49] Roberto Rodríguez Morales. (2011) Procesamiento Y Análisis Digital De Imágenes, RA-MA.

píxel de 24 bits (3 planos de imagen multiplicados por el número de bits por plano). De igual forma, representar cada componente de imagen utilizando 8 bits, permite tener una cantidad de 256 posibles colores para cada compoente[50].

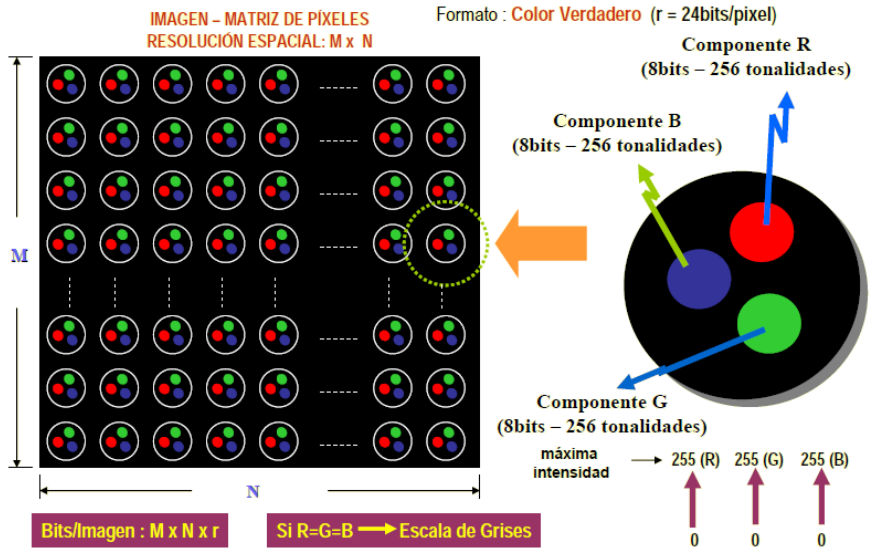


Figura 21. Representación de imagen RGB con profundidad de píxel de 24 bits[51]

En resumen, una imagen RGB resultante está conformada por la unión de 3 matrices (Rojo, Verde y Azul) o arreglos bidimensionales $I_R(x,y)$, $I_G(x,y)$ y $I_B(x,y)$ con M filas y N columnas, donde (x,y) toma los siguientes valores: $x = 0, 1, 2, \dots, M-1$ y $y = 0, 1, 2, \dots, N-1$.

2.3.3.2 Modelo de color HSI

En el modelo de color HSI los colores se distinguen unos de otros por su tono, intensidad, y saturación[52]. La componente de tonalidad está asociada con la longitud de onda dominante en una mezcla de ondas luminosas. Por lo que, el tono representa el color dominante tal y como se puede percibir; cuando se dice que un objeto es rojo, verde o café se está indicando su tono, un ejemplo se presenta en la Figura 22 a). La componente de intensidad representa la iluminación percibida. Donde, la intensidad da la sensación de que algún objeto refleja más o menos luz como en la Figura 22 b). La componente de saturación se refiere a la cantidad de luz blanca mezclada con el color dominante. También, es una característica al

[50] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. Digital Image Processing. Third Edition.
[51] Kemper, Guillermo. (2014). Compilación de diapositivas de Fundamentos de Procesamiento Digital de Imágenes. Universidad Nacional de Ingenieria, Perú.
[52] G.A. Agoston, Color Theory and Its Application in Art and Design, 19 (Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Germany, 1979) pp. 9 y 44.

diferenciar un color intenso de uno pálido. Cada uno de los colores primarios tiene su mayor valor de saturación antes de ser mezclados con otros. Así, el azul cielo es muy claro (menos saturado), mientras que el azul marino es más opaco (más saturado). Otro ejemplo, es el color rosa (rojo y blanco) que esta menos saturado; mientras que el color rojo está totalmente saturado, un ejemplo es la Figura 22 c).

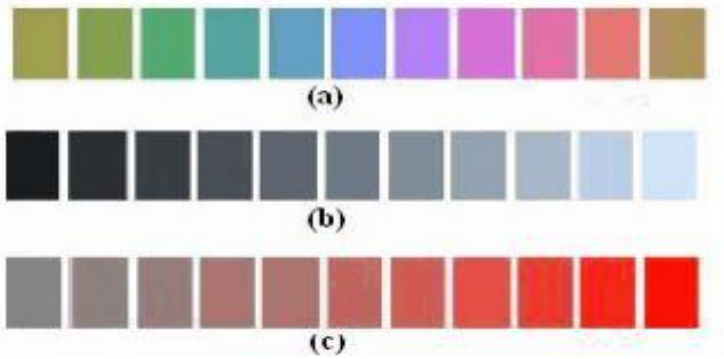


Figura 22. En la figura a) se presentan diferentes tonalidades (color dominante); en la figura b) se encuentra distintas intensidades, que son representadas por esta escala de grises; en la figura c) hay variedades de saturación del color rojo[53]

Tono y saturación están definidos por el triángulo de color que se muestra en la Figura 23. Se observa que el tono H del punto de color O es una medida angular, medida desde el eje rojo. Así, cuando H=0°, el color es rojo, cuando H es 60° el color es amarillo, y así sucesivamente. La saturación S del punto O es proporcional a la distancia desde O hasta el centro del triángulo. Entre mayor sea esta distancia la saturación será mayor. El valor de intensidad del punto O es proporcional a la distancia (sobre la recta perpendicular al plano del triángulo y que pasa por su centro) medida desde el punto negro hasta donde inicia el vector del punto O. De esta forma, para cualquier punto de color en la pirámide triangular, si su respectivo valor de intensidad tiende al punto del blanco, entonces el color será más claro. Pero si tiende al punto negro el color será más oscuro. Por lo tanto, uniendo tono, saturación e intensidad se tiene la estructura de doble pirámide triangular de la Figura 23. Los puntos sobre la superficie de la pirámide representan un color totalmente saturado. Los

[53] J.J. Báez Rojas y M.A. Alonso Pérez. (diciembre 2008) REVISTA MEXICANA DE FÍSICA E 54 (2) 186–192.

colores de los puntos interiores de la pirámide se hacen menos saturados conforme se acercan al eje vertical[54].

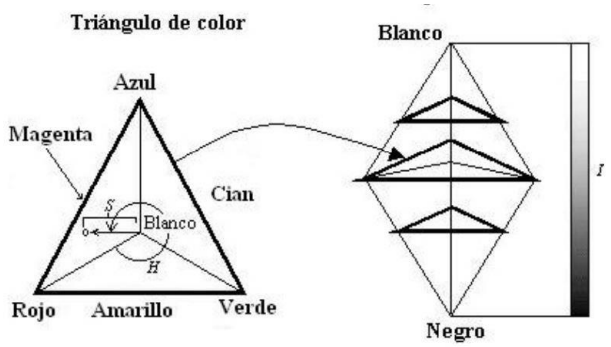


Figura 23. Triángulo de color y doble pirámide triangular del modelo HSI[55]

2.3.4 Conversión de RGB a HSI

La conversión de formato RGB a HSI se realiza aplicando las siguientes ecuaciones:

Para hallar los valores de la componente de tonalidad H se utiliza la Ecuación 21, 22 y 23.

$$\theta(x,y) = cos^{-1}\left(\frac{0.5[(I_R(x,y) - I_G(x,y)) + (I_R(x,y) - I_B(x,y))]}{(I_R(x,y) - I_G(x,y))^2 + (I_R(x,y) - I_B(x,y))(I_G(x,y) - I_B(x,y))}\right)$$

Ecuación 21. Valor del ángulo θ para calcular la variable $H(x,y)$[56]

$$H(x,y) = \begin{cases} \theta(x,y) & I_B(x,y) \leq I_G(x,y) \\ 2\pi - \theta(x,y) & I_B(x,y) > I_G(x,y) \end{cases}$$

Ecuación 22. Valor de la tonalidad de color $H(x,y)$[57]

$$H(x,y) = \frac{H(x,y)}{2\pi}$$

Ecuación 23. Normalización de $H(x,y)$[58]

[54] J.J. Báez Rojas y M.A. Alonso Pérez. (Diciembre 2008) REVISTA MEXICANA DE FÍSICA E 54 (2) 186–192.
[55] J.J. Báez Rojas y M.A. Alonso Pérez. (Diciembre 2008) REVISTA MEXICANA DE FÍSICA E 54 (2) 186–192.
[56] Ecuación extraída de: Mag. Christian Del Carpio. (2016). Procesamiento Avanzado digital de Imágenes. Fundamentos de la Imagen Digital, diapositiva 39.
[57] Ecuación extraída de: Mag. Christian Del Carpio. (2016). Procesamiento Avanzado digital de Imágenes. Fundamentos de la Imagen Digital, diapositiva 39.
[58] Ecuación extraída de: Mag. Christian Del Carpio. (2016). Procesamiento Avanzado digital de Imágenes. Fundamentos de la Imagen Digital, diapositiva 40.

Para hallar los valores de la componente de saturación S, se utiliza la Ecuación 24.

$$S(x,y) = 1 - \frac{3 \times min(I_R(x,y), I_G(x,y), I_B(x,y))}{I_R(x,y) + I_G(x,y) + I_B(x,y)}$$

Ecuación 24. Valor de la saturación[59]

Para hallar los valores de la componente de Intensidad IN, se utiliza la Ecuación 25.

$$IN(x,y) = \frac{I_R(x,y) + I_G(x,y) + I_B(x,y)}{3}$$

Ecuación 25. Valor de Intensidad

2.3.5 Segmentación de Imágenes

La segmentación es el método por el cual subdivide una imagen en objetos que están incluidos en esta misma, con el propósito de separar o extraer la información de interés del resto de la imagen. Por lo que dependiendo del tipo de objeto que se necesita extraer, se utilizará una herramienta distinta para su obtención. Entre las herramientas más importantes están: identificar los bordes de una imagen, segmentar en regiones, líneas o curvas. Los atributos básicos de segmentación de una imagen son: la luminancia en imágenes monocromáticas, los componentes de color en imágenes en color, textura, forma, etc.[60].

Los algoritmos de segmentación de imágenes monocromáticas generalmente se basan en una de las dos propiedades básicas de los valores del nivel de gris: discontinuidad y similitud. La discontinuidad consiste en dividir una imagen basándose en los cambios bruscos del nivel de gris.

Los temas más importantes en la discontinuidad son:

- Detección de puntos aislados.
- Detección de líneas.
- Detección de bordes de una imagen.

Por otro lado, en la similitud, se presenta la regularidad en los valores del nivel de gris, donde los principales métodos usados son:

[59] Ecuación extraída de: Mag. Christian del Carpio. (2016). Procesamiento Avanzado digital de Imágenes. Fundamentos de la Imagen Digital, diapositiva 41.
[60] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. Digital Image Processing. Third Edition

- Umbralización.
- Crecimiento de región.
- División y fusión de regiones[61].

En la Figura 24 se visualiza un ejemplo de aplicación de una máscara de detección de líneas con -45° sobre una imagen.

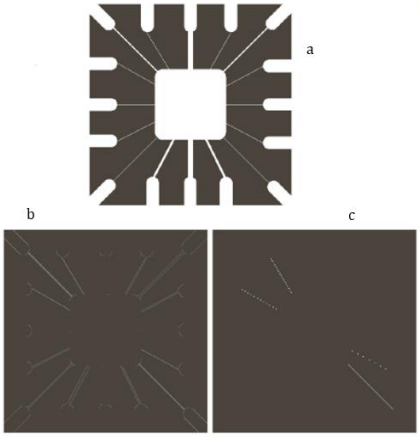


Figura 24. a) Imagen original. b) Imagen después de la aplicación de la máscara de detección de líneas en 45°. c) Imagen después de filtrar las líneas con ángulo -45° [62]

2.3.5.1 Segmentación por Umbralización

El siguiente método se aplicará en el proyecto, debido a que es una herramienta de mucha ayuda para extraer solo la información correspondiente a los alevines. La umbralización es uno de los métodos más importantes de la segmentación de imágenes. Su aplicación consta de asignar un valor umbral μ_0 con el cual transformará la imagen a las tonalidades de negro y blanco siendo uno de estos el objeto de interés[63]. A continuación, la Figura 25 mostrará un ejemplo de un proceso de umbralización de una imagen aplicando una umbralización local y una umbralización Otsu donde utiliza el resultado de ambas para formar la imagen final.

[61] Dra. Nora La Serna Palomino, Lic. Ulises Román Concha. Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes Revista de ingeniería de sistemas e informática, vol. 6, N.º 2, JULIO-DICIEMBRE2009
[62] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition.
[63] Dra. Nora La Serna Palomino, Lic. Ulises Román Concha. (julio - diciembre 2009) Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes Revista de ingeniería de sistemas e informática, vol. 6, N.º 2

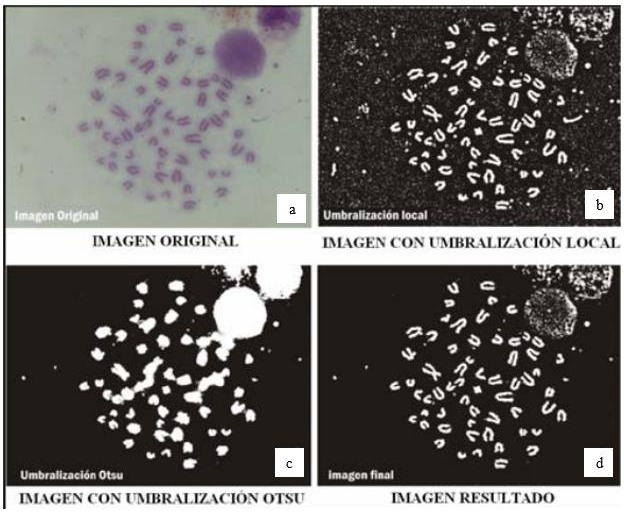


Figura 25. a) Imagen original, b) Imagen con umbralización local, c) Imagen con umbralización Otsu, d) Imagen resultado[64]

2.3.5.2 Segmentación por binarización

Para binarizar una imagen se realiza el mismo proceso que la Segmentación por umbralización, diferenciándose en que los píxeles de la imagen binarizada tendrán únicamente dos valores que son "1" y "0".

En la Figura 26 se muestra un ejemplo de una imagen binarizada y su respectiva representación matricial de la imagen donde los píxeles con valor "0" representan el color negro y los píxeles de valor "1" representan el color blanco.

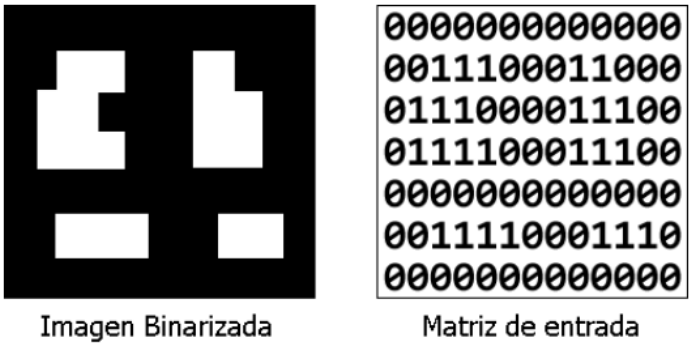


Figura 26. En imagen de la izquierda se muestra la imagen binarizada, mientras que en la imagen de la derecha su matriz correspondiente[65]

[64] Leandro E., Diana M., Camilo A., Juana Moncaleano Angel Cruz-Roa. (12 de diciembre del 2014). Obtención automática del cariotipo bovino mediante.
[65] Gonzalo Luzardo. (2009). Segmentación de imágenes basado en etiquetación de píxeles.

Por lo tanto, para una imagen representada por $fe(x, y)$ es binarizada según el valor de μ_0, donde este estará en el rango de <0, 255> o también entre <0, 1> si la imagen está normalizada. Dando como resultado la imagen en blanco y negro representada por $I_{bi}(x, y)$, tal como se visualiza en la Ecuación 26.

$$I_{bi}(x,y) = \begin{cases} 1, & fe(x,y) \leq \mu_0 \\ 0, & fe(x,y) > \mu_0 \end{cases}$$

Ecuación 26. Función resultante de la Umbralización[66]

2.3.6 Etiquetado

El proceso de etiquetado consiste en la detección y etiquetado de objetos dentro de una imagen, etiquetando cada objeto detectado con un valor. Para ello, se realiza un procedimiento utilizando una máscara la cual utilizará un tipo de conectividad para identificar cada objeto en la imagen y así mismo, evitar etiquetar un mismo objeto como 2 objetos distintos. Los tipos de conectividad son:

- 4-conectividad.
- 8-conectividad.
- M-conectividad.

El Mag. Christian del Carpio, docente de la facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas UPC, documentó los pasos a realizar para el proceso de etiquetado[67], los cuales se mostrará a continuación:

Paso 1: el primer píxel a evaluar tiene el valor de "0". Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 2: el segundo píxel a evaluar tiene valor de "1". Los píxeles anteriormente evaluados (que se encuentran dentro de la máscara) no tienen etiquetas. Por lo tanto, se le asigna la

[66] Ecuación extraída de: Dra. Nora La Serna Palomino, Lic. Ulises Román Concha. (julio - diciembre 2009) Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes Revista de ingeniería de sistemas e informática, vol. 6, N.º 2

[67] Del Carpio, Christian. (2015). Método de Reconocimiento de Patrones Basado en Procesamiento Digital de Imágenes y Redes Neuronales Orientado al Registro Automático de Evaluaciones Académicas. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

etiqueta “A”. 0 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 1 1.

Paso 3: el tercer píxel a evaluar tiene valor de “0”. Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 4: el cuarto píxel a evaluar tiene valor de “1”. Los píxeles anteriormente evaluados no tienen etiquetas. Por lo tanto, se le asigna la etiqueta “B”.

Paso 5: el quinto píxel a evaluar tiene valor de “1”. Un píxel anteriormente evaluado tiene el valor de “B”. Por lo tanto, se le asigna a este píxel la etiqueta “B”.

Paso 6: el sexto píxel a evaluar tiene el valor de “0”. Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 7: el séptimo píxel a evaluar tiene valor de “1”. Un píxel anteriormente evaluado tiene el valor de “A”. Por lo tanto, se le asigna a este píxel la etiqueta “A”.

Paso 8: el octavo píxel a evaluar tiene valor de “1”. Tres píxeles anteriormente evaluados han sido etiquetados. Dos con el valor de “A” y uno con el valor de “B”. Por lo tanto, se le asigna a este píxel la etiqueta más antigua, que es “A”. Así mismo se hace referencia que la etiqueta “A” es equivalente a la etiqueta “B”.

Paso 9: el noveno píxel a evaluar tiene valor de “1”. Tres píxeles anteriormente evaluados han sido etiquetados. Dos con el valor de “B” y uno con el valor de “A”. Por lo tanto, se le asigna a este píxel la etiqueta más antigua, que es “A”. Así mismo se hace referencia que la etiqueta “B” es equivalente a la etiqueta “A”.

Paso 10: el décimo píxel a evaluar tiene el valor de “0”. Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 11: el décimo primer píxel a evaluar tiene el valor de “0”. Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 12: el décimo segundo píxel a evaluar tiene el valor de “0”. Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 13: el décimo tercer píxel a evaluar tiene el valor de “0”. Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 14: el décimo cuarto píxel a evaluar tiene el valor de “0”. Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 15: el décimo quinto píxel a evaluar tiene valor de "1". Un píxel anteriormente evaluado tiene el valor de "A". Por lo tanto, se le asigna a este píxel la etiqueta "A".

Paso 16: el décimo sexto píxel a evaluar tiene el valor de "0". Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 17: el décimo séptimo píxel a evaluar tiene el valor de "0". Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 18: el décimo octavo píxel a evaluar tiene valor de "1". Los píxeles anteriormente evaluados no tienen etiquetas. Por lo tanto, se le asigna la etiqueta "C".

Paso 19: el décimo noveno píxel a evaluar tiene el valor de "0". Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 20: el vigésimo píxel a evaluar tiene el valor de "0". Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 21: el vigésimo primer píxel a evaluar tiene el valor de "0". Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 22: el vigésimo segundo píxel a evaluar tiene el valor de "0". Por lo tanto, se pasa al siguiente píxel.

Paso 23: el vigésimo tercer píxel a evaluar tiene valor de "1". Un píxel anteriormente evaluado tiene el valor de "C". Por lo tanto, se le asigna a este píxel la etiqueta "C".

Paso 24: el vigésimo cuarto píxel a evaluar tiene valor de "1". Dos píxeles anteriormente evaluados tienen el valor de "C". Por lo tanto, se le asigna a este píxel la etiqueta "C".

Paso 25: el vigésimo quinto píxel a evaluar tiene valor de "0".

Ahora se procede a reemplazar las etiquetas equivalentes. En este ejemplo solo la etiqueta "B", es equivalente a la etiqueta "A". Por lo tanto, las etiquetas con valor "B" pasan a tener el valor a "A"[68].

[68] Del Carpio, Christian. (2015). Método de Reconocimiento de Patrones Basado en Procesamiento Digital de Imágenes y Redes Neuronales Orientado al Registro Automático de Evaluaciones Académicas. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

La demostración gráfica de los primeros 10 pasos los cuales son necesarios para comprender el proceso etiquetado se describe en la Figura 27 dando como resultado la imagen final de la Figura 28 con cada objeto etiquetado.

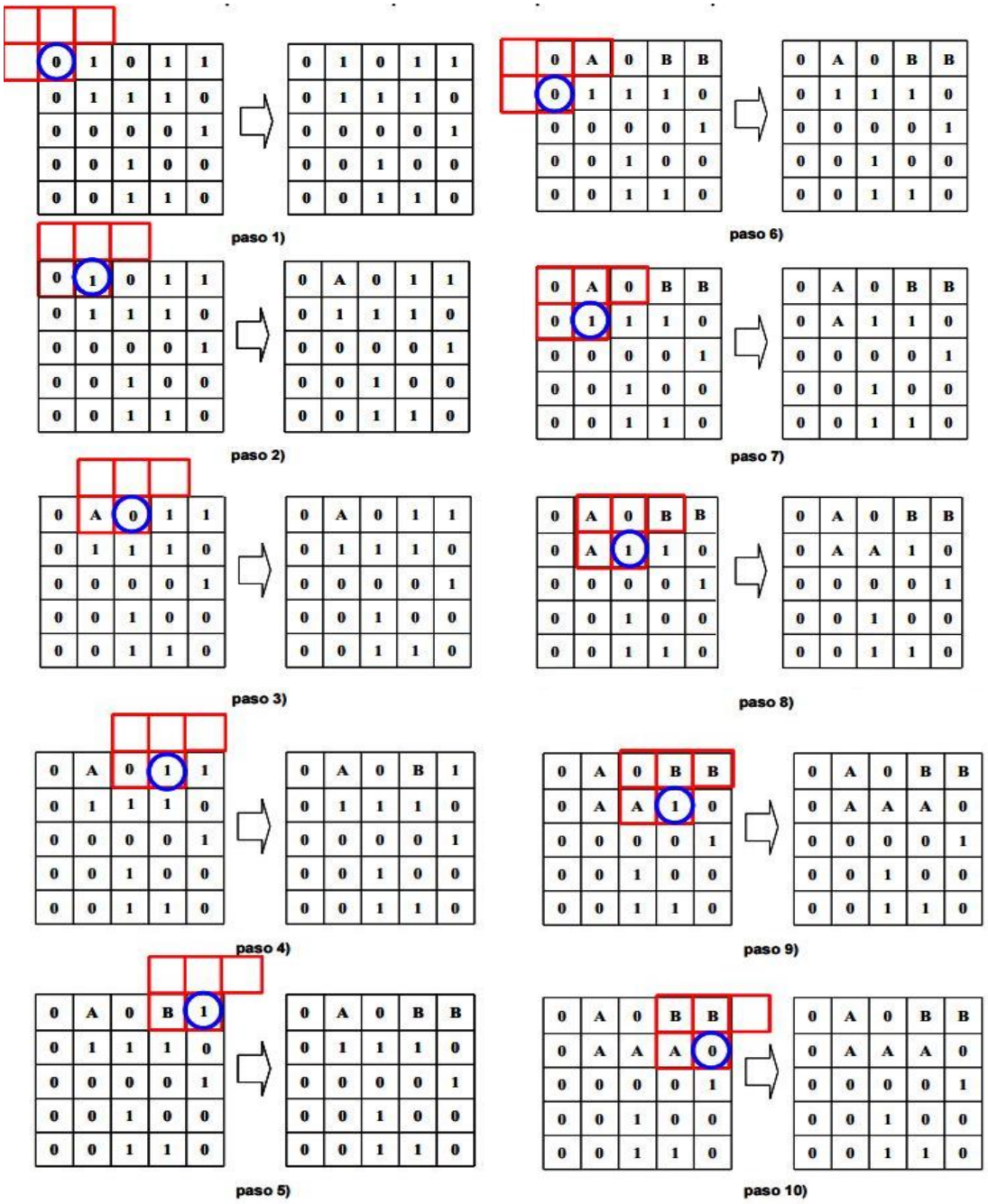


Figura 27. Primeros 10 pasos del proceso de etiquetado[69]

[69] Del Carpio, Christian. (2015). Método de Reconocimiento de Patrones Basado en Procesamiento Digital de Imágenes y Redes Neuronales Orientado al Registro Automático de Evaluaciones Académicas. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

0	A	0	A	A
0	A	A	A	0
0	0	0	0	A
0	0	C	0	0
0	0	C	C	0

Figura 28. Imagen resultante después de todo el proceso de etiquetado[70]

2.3.7 Rotación de Imagen

Consiste en la rotación de un punto sobre su eje de coordenadas. Para girar un punto alrededor de otro punto arbitrario (x_0, y_0) del espacio se requiere tres transformaciones:

- Traslación de ese punto arbitrario hasta su origen.
- Rotación
- Traslación de ese punto hasta su posición original[71].

A continuación, en la Ecuación 27, 28 y 29 se mostrará los valores de x_f e y_f que es la posición final del píxel (x, y) que girará alrededor del punto arbitrario (x_0, y_0).

Rotación en el eje Z:

$$\begin{bmatrix} x_f \\ y_f \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_0 \\ 0 & 1 & -y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) & 0 \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_0 \\ 0 & 1 & -y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación 27. Ecuación para hallar los valores de x_f e y_f al girar en el eje Z[72]

[70] Del Carpio, Christian. (2015). Método de Reconocimiento de Patrones Basado en Procesamiento Digital de Imágenes y Redes Neuronales Orientado al Registro Automático de Evaluaciones Académicas. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
[71] Ecuación extraída de: Mag. Christian Del Carpio. (2016). Procesamiento Avanzado digital de Imágenes. Fundamentos de la Imagen Digital, diapositiva 51-53.
[72] Ecuación extraída de: Mag. Christian Del Carpio. (2016). Procesamiento Avanzado digital de Imágenes. Fundamentos de la Imagen Digital, diapositiva 51-53.

Rotación en el eje X:

$$\begin{bmatrix} x_f \\ y_f \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación 28. Ecuación para hallar los valores de x_f e y_f al girar en el eje X [73]

Rotación en Y:

$$\begin{bmatrix} x_f \\ y_f \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -x_0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación 29. Ecuación para hallar los valores de x_f e y_f al girar en el eje Y [74]

2.3.8 Histograma

El histograma forma parte de numerosas técnicas de procesamiento de dominio espacial. Ya que es usada para mejorar la imagen como también para extraer estadísticas de esta[75]. En la Figura 29 se muestra ejemplos de gráficas de histogramas con sus correspondientes imágenes a las cuales representan. La imagen a) muestra una imagen alta en tonalidades negras. Por lo tanto, su gráfica de histograma muestra que existen mayor cantidad de pixeles en los valores cercanos al "0" (color negro). La imagen b) muestra una imagen con mayor tonalidad de blancos. Por consiguiente, su histograma tendrá valores más cercanos al "255" (color blanco).

[73] Ecuación extraída de: Mag. Christian Del Carpio. (2016). Procesamiento Avanzado digital de Imágenes. Fundamentos de la Imagen Digital, diapositiva 51-53.
[74] Ecuación extraída de: Mag. Christian Del Carpio. (2016). Procesamiento Avanzado digital de Imágenes. Fundamentos de la Imagen Digital, diapositiva 51-53.
[75] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition.

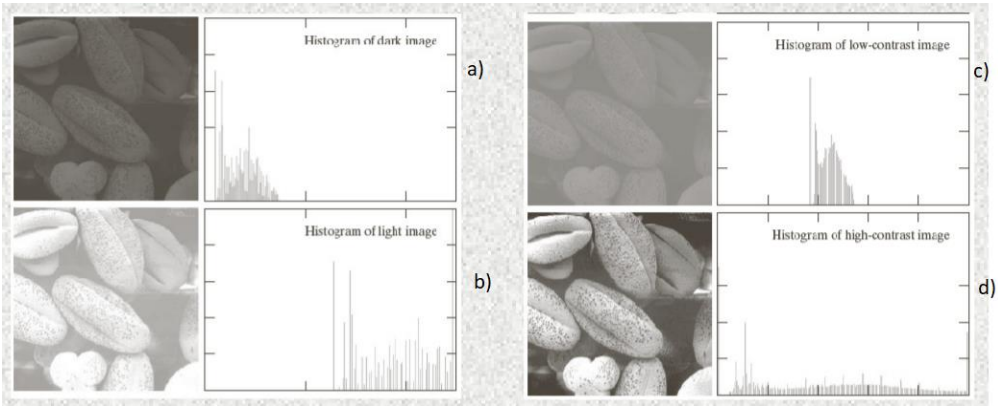


Figura 29. (a) Histograma alta tonalidad de negros. (b) Histograma alta tonalidad de blancos. (c) Histograma bajo contraste. (d) Histograma alto contraste[76]

El histograma para una imagen digital con niveles de intensidad representados por ke cuyo valor va desde 0 hasta $L-1$ donde $L=2^r$ y r es igual al número de bits del valor del píxel, se representa como una función discreta como se observa en la Ecuación 30 donde ke representa cada valor de intensidad y np_{ke} el número de pixeles existentes en la imagen con esa intensidad.

$$hi(ke) = np_{ke}$$

Ecuación 30. Función discreta correspondiente al histograma de una imagen[77]

Comentarios Finales

En el presente capítulo se evidenció los conceptos básicos de acuicultura, alevín de tilapia y su cultivo. Para así poder entender la problemática actual existente en el CINPIS de la UNALM como también, el impacto que brinda la solución propuesta, la cual se componen de dos partes. La primera es el traspaso de alevines, para ello se requiere adquirir conocimientos de dinámica de fluidos, entendiendo como se transporta un flujo de agua determinado. La segunda es el algoritmo de conteo y medición, para ello es relevante conocer los conceptos y técnicas de procesamiento de imágenes con la finalidad de entender cada proceso de por el que pasa la imagen adquirida con la muestra de alevines con el objetivo de extraer únicamente la información de estos.

[76] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition.
[77] Ecuación extraída de: Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition.

3 CAPÍTULO 3 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE PROPUESTO

3.1 Introducción

El siguiente capítulo se describe las técnicas y conocimientos usados para el desarrollo de la implementación de Hardware del sistema propuesto como solución a la problemática planteada.

Para ello, fue necesario el asesoramiento por parte de los expertos en la crianza de los alevines de tilapia del centro de investigación piscícola de la Universidad Agraria La Molina, así como la ejecución de pruebas para evaluar el comportamiento de estos alevines y así determinar las consideraciones adecuadas para cada paso del proceso general.

Actualmente, el centro piscícola de la UNALM cuenta con piscigranjas como las mostradas en la Figura 30. Por lo que, se decidió que el sistema contará con una pecera general donde albergará a todos los alevines que serán contados para luego ser transportados y posicionados en la segunda pecera donde se realizará el algoritmo de conteo y medición de estos.



Figura 30. Piscigranjas del centro piscícola de la UNALM [78]

Es así, que inicialmente se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los alevines no deben salir del agua en todo el proceso de transporte y posicionamiento de estos.

[78] Spena Acuicultura. (20 de junio del 2020) http://www.spenacuicultura.com/project/unalm-cinpis/.

- Deben ser trasladados como máximo 60 alevines al segundo recipiente.
- El sistema debe contar con un mecanismo para bloquear el paso de alevines, mientras que la válvula que conecta a ambas peceras, se cierra.
- El sistema debe contar con un mecanismo para acercar a los alevines al orificio de salida de la primera pecera.
- El sistema debe contar con un circuito que realice el control de los mecanismos desarrollados.

3.2 Materiales

En adelante se detalla los materiales utilizados en diversas partes del proyecto explicando cual fue el motivo de su elección.

3.2.1 Acero Inoxidable

Se obtiene principalmente por la aleación del Hierro, Carbono y Cromo. Se utiliza regularmente en la construcción de estructuras y/o contenedores en la industria alimentaria.

Se caracteriza por ser un metal de gran dureza, y resistente a la corrosión. Tampoco requiere un tratamiento posterior al proceso de soldadura, no es magnético ni templable. Cuenta con facilidad para ser trabajado en frío, esto incluye el doblado, cilindrado, embutido profundo.

Se escoge el acero AISI316, ya que tiene un componente químico adicional Molibden el cual brinda mayor resistencia ante la corrosión y lo permite situar en ambientes marinos. En la Tabla 8, se muestra la composición química de este acero.

	Composición Química en %								
AISI (UNS)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
AISI 316	0.08	0.75	2.00	0.045	0.030	16-18	10-14	2-3	0.10

Tabla 8. Composición química del Acero Inoxidable[79].

Por lo tanto, se enlista los elementos del proyecto que han sido elaborado en acero inoxidable de 3 mm de grosor:

- Estructura Mecánica
- Soporte de piezas electromecánicas y pantalla

[79] Material Mundial (10 de noviembre de 2020). *Acero Inoxidable 316 Ficha Técnica*. Grados Material Mundial. https://www.materialmundial.com/inox-ss316-aisi-astm-acero-inoxidable-316-ficha-tecnica-propiedades-ss/

- Recinto

Justificación

Se ha elegido este material frente el aluminio y madera puesto a que este ofrece una gran durabilidad; es resistente a la humedad por lo que se puede situar en el ambiente húmedo del CINPIS, es resistente a la corrosión, así permite colocar agua con alevines en la primera pecera; brinda una considerable elasticidad para generar dobleces en los soportes en L de motores y ejes; tiene una buena soldabilidad por ello, se puede soldar la pecera a la base del primer nivel.

3.2.2 PVC

El policloruro de vinilo C_2H_3Cl es el resultado de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo el cual contiene cloro y etileno. Los componentes del PVC provienen del petróleo bruto y sal, a pesar de ello, se le considera como uno de los plásticos con menor dependencia del petróleo.

Tiene propiedades que ayudan a este material a ser ligero, impermeable, químicamente inocuo, insensible a la humedad y tener flexibilidad, tenacidad y de alto valor energético. Así mismo, se le considera un material termoplástico ya que tiene facilidad para moldearse cuando se le somete al calor, ya que se convierte en un material blando y al enfriarse tiene la cualidad de recuperar su solidez sin perder la nueva apariencia.

En la Figura 31 se muestra una imagen con una variedad de tubos PVC.



Figura 31. Tuberías de PVC[80]

[80] Revista Perú Construye Ed. 51. (14 de mayo del 2020). https://peruconstruye.net/2018/11/16/tubos-de-pvc-elementos-resistentes-de-alta-fluidez/.

Se emplea tuberías PVC que interconectan el primer con el segundo nivel y por donde viajaran los alevines. Además, se instalan codos PVC de 90 grados para obtener un conducto de tuberías por partes horizontales, evitando así que exista un gran caudal al final de esta.

Justificación

Se ha seleccionado este material ya que tolera que circule agua a través de él, presenta una gran durabilidad, posee diferentes diámetros, se pueda adaptar para realizar diversas trayectorias de tuberías.

3.2.3 Polimetilmetacrilato (Acrílico)

Se polimeriza el monómero de metilmetacrilato, obteniendo así un polímero termoplástico, el cual posee una notable transparencia, buena estética y es resistente a los rasguños.

Con este material se ha elaborado los siguientes elementos del sistema:

- La parte de la rejilla que va dentro del agua como se observa en la Figura 32
- El segundo recipiente
- La caja del circuito del tercer nivel

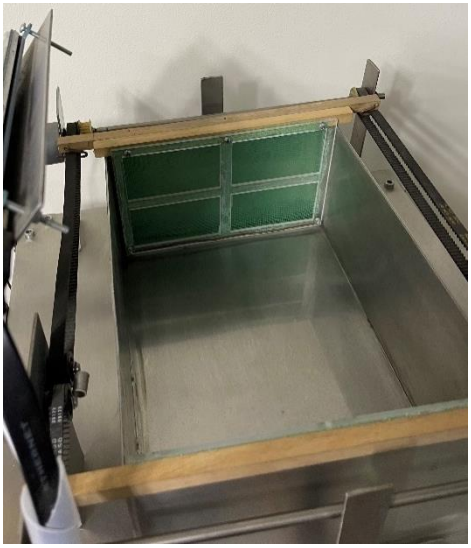


Figura 32. Rejilla de Acrílico

Justificación

Se requiere que la rejilla tenga un material resistente al agua y sea de peso ligero para que se pueda movilizar en sentido horizontal dentro de la pecera. Además, el segundo recipiente requiere que uno de sus laterales sea más alto, lo cual se diseña y se corta en acrílico; y sea

de poco peso para que se pueda extraer del recinto. Adicionalmente, el circuito debe de ser protegido de la humedad por ello se inserta en una caja de acrílico. Se descarta el cristal por ser pesado.

3.2.4 Madera

Se encuentra contenido en los troncos de los árboles, y posee una distinta elasticidad según la dirección de deformación del material.

Después pasa por un proceso de secado y cortado, es utilizada para distintas finalidades en diferentes sectores.

En la Figura 33 se muestra el pedazo de madera que se destina para servir como la parte superior de cada rejilla, la cual está conectada a las correas de engranajes.



Figura 33. Varilla de Madera de 8mm de grosor[81]

Justificación

Al ser madera la parte superior, permite que se movilice cada rejilla a una velocidad constante sin que se rompa, ya que es un material resistente. Además, se puede acoplar con facilidad tanto a la correa como al cuerpo de acrílico de estas rejillas.

3.2.5 Malla de plástico

Se aplica procesos similares utilizados en el sector de la textilería con la diferencia que se utiliza hilos sintéticos de polietileno. Este material brinda propiedades como flexibilidad y resistencia.

En la Figura 34 se muestra un rollo de malla de plástico el cual se coloca en ambas rejillas para que desplace a los alevines en una sola dirección.

[81] Amazon. Madera 8mm. (16 de mayo del 2020). https://www.amazon.es/25-Palos-Madera-Espa%C3%B1a-Cuadrado/dp/B079TQTNDM.



Figura 34. Rollo de malla plástica flexible y duradera[82]

Justificación

Esta malla de cuadrados de 1 mm ayuda a que los alevines naden en una soladirección establecida, puesto a que estos no pueden atravesarla, así se consigue que se acerquen o se alejen del ducto de desfogue.

3.3 Componentes

Los componentes por utilizar son comerciales y es posible su adquisición de forma local o de importación. Con efectos de explicación, se ha clasificado los componentes de acuerdo con la función que realizan en el sistema por lo que se componen en tres partes.

3.3.1 Componentes generales

Son los que están presentes en la parte de software y de hardware en el proyecto

a. Fuente DC

Convierte la tensión alterna de la red eléctrica a tensiones continuas.

Se observa en la Figura 35 la fuente DC regulable de 0 a 30V y de 0 a 3A, la cual va a energizar a los componentes electrónicos del proyecto

[82] Malla de Plástico. (14 septiembre del 2019). https://malla-de-plastico.com/2016/09/14/malla-plastica-multiusos/.



Figura 35. Fuente DC HY3003F[83]

Justificación

En primer lugar, se emplea esta fuente porque permite otorgar un voltaje de 12 voltios y 5 voltios al circuito de control y componentes electromecánicos con una corriente máxima de 3 A lo que garantiza de que estos elementos si sean energizados. En segundo lugar, porque mediante un cable banano se puede vincular a la fuente con los componentes a energizar.

b. Raspberry Pi 3

Es un ordenador de placa reducida de bajo costo desarrollado en el Reino Unido, utiliza frecuentemente un software libre llamado Raspbian basado en Linux, lo que permite alcanzar una programación avanzada. Además, posee puertos USB, salida de video, conexión de red, y puertos de entrada y salida para la comunicación con otros dispositivos electrónicos.

Se ubica en el tercer nivel de la estructura mecánica. Se trata del computador encargado de controlar a los componentes electromecánicos con el apoyo de un circuito electrónico ya que este envía comandos por un código en Python para que estos componentes realicen ciertas tareas. Asimismo, se ocupa del algoritmo del procesamiento de imágenes para que cuente y mida a los alevines, por lo que muestra estos resultados en una interfaz gráfica.

En la Figura 36 se muestra el Raspberry Pi 3 B y en la Tabla 9 se detalla la información técnica de este modelo

[83] HI-FI electrónica. (18 septiembre del 2019). Fuente de laboratorio (Imagen). Recuperado de https://hifisac.com/en/shop/product/hy3003f-fuente-de-laboratorio-lineal-0-30vdc-0-3adc-3039.



Figura 36. Raspberry Pi 3 B [84]

Procesador	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8)
Velocidad	1.4GHz 64-bit quad-core
Memoria	1 GB LPDDR2 SDRAM
Puertos USB 2.0	4
GPIO	40
Conectividad de Red	- Lan: Puerto RJ-45 (Ethernet) de 10/100/1000Mbps - Wireless: 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE
Salida de audio	Jack de 3.5 mm, HDMI
Salida de vídeo	Full Size HDMI (rev1.3 y 1.4)
Almacenamiento	Micro SD
Energía	5 V /2.5 A DC

Tabla 9. Especificaciones técnicas Raspberry Pi 3 B+[85]

Justificación

En primer lugar, este computador forma parte del proyecto porque posee un software libre en plataforma Linux lo que permite el libre desarrollo de aplicaciones. En segundo lugar, posee un alto procesamiento por lo cual se puede ejecutar el código de control y el algoritmo de conteo y medición en secuencia. En tercer lugar, permite gestionar una interfaz gráfica la

[84] Raspberry Pi Org (19 de septiembre del 2020). Raspberry Pi 3 Model B (Imagen) Recuperado de https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/
[85] Raspberry Pi 3 Model B(20 septiembre del 2020). https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/

cual puede ser mostrada por un periférico de video. En cuarto lugar, al incorporar la tecnología inalámbrica, posibilita que este componente se conecta a una VNC por medio de internet, lo que habilita la atención de posibles inconvenientes por conexión remota. Finalmente, se trata de la penúltima versión comercializada por el fabricante lo cual trae un sólido producto.

3.3.2 Componentes para el traspaso de alevines

Se diseña e implementa un circuito de control que maneja los componentes electromecánicos para que ejecuten actividades, que en conjunto logran trasladar alevines de una pecera a otra.

a. Motor DC

Es una pieza que convierte la energía eléctrica en mecánica ocasionando un movimiento rotatorio, debido al accionar de un campo magnético. Se le puede controlar con suavidad y en su mayoría permite la inversión de giro, tiene una respuesta rápida debido a que cuenta con una gran razón de torque a la inercia del rotor.

En la Figura 37 se visualiza que se ha escogido dos motores DC con reductor de distintas velocidades, uno de 120 rpm y el otro de 16 rpm con alimentación de 12 voltios, los cuales están acoplados al sistema de correas y rejillas. La diferencia en velocidades de los motores se debe a que se busca que una rejilla se movilice más rápido que la otra, para abarcar mayor distancia en menor tiempo.



Figura 37 . Motores DC de 120 y 16 rpm con reductor

Justificación

En primer lugar, se emplea estos motores DC porque pueden ser alimentados con una conexión de cable a una fuente DC, y controlados por un computador mediante líneas de control. En segundo lugar, porque permite transformar el movimiento circular en horizontal y así movilizar la rejilla por dentro de la primera pecera. En tercer lugar, porque el reductor consigue fijar las revoluciones por minuto, con lo cual se puede calcular el tiempo de activación de los motores para obtener un desplazamiento de las rejillas preciso. Se descartó un motor AC, debido a que es más complejo controlarlo por un computador de placa reducida.

b. Ejes y Engranajes

Un eje es un elemento que soporta piezas inmóviles, oscilantes y rotarias. Este elemento no transmite momentos de giros por lo que generalmente están sometidos a esfuerzos de flexión.

Un engranaje es un mecanismo usado para transmitir y transformar el movimiento rotacional. Poseen dientes en su alrededor, por lo que para adecuarse a otro engranaje, se requieren los mismos parámetros o dimensiones de dientes.

En la Figura 38 se visualiza los ejes y engranajes de piñón que se instalan en el proyecto para que se unan a las correas y motores, así en conjunto desplacen a las rejillas. De este modo, dos engranajes se unen mediante una correa que se fijan por los piñones de estos, y en paralelo se fijan estos mismos elementos.

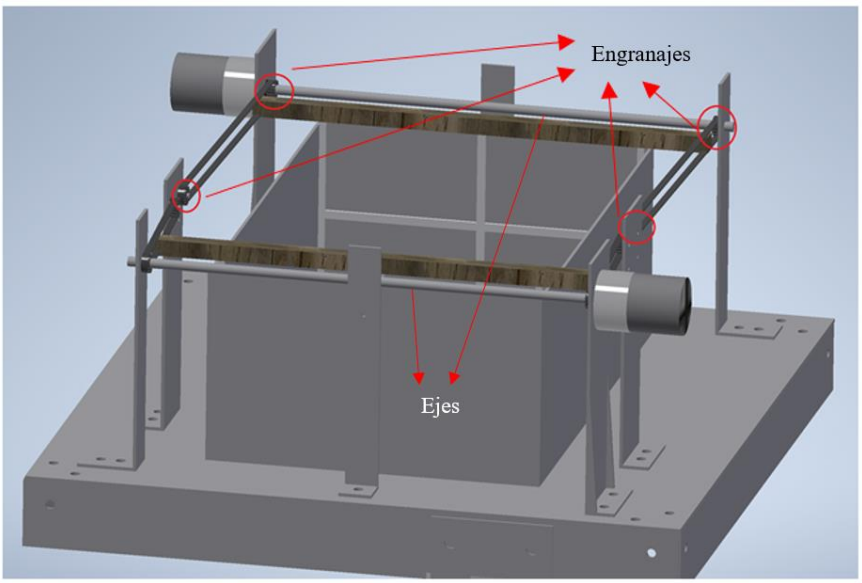


Figura 38 . Colocación de Ejes y Engranajes

Justificación

Se requiere que el movimiento se transmita de un lugar a otro para mover las rejillas, por lo que los engranajes pueden fijarse tanto al eje del motor como al eje individual para hacer girar a las correas por medio de la comunicación con los piñones.

c. Válvula de bola neumática

Como se observa en la Figura 39, se compone de tres partes:

- Válvula de bola

  Es un mecanismo que regula el flujo de un fluido canalizado mediante una esfera perforada en su interior. Para su apertura se gira el eje, por lo que permite el paso del fluido mediante el alineamiento de la entrada y salida con el agujero de la esfera. Para su cierre se retorna el eje a su posición inicial, por lo que el agujero se encuentra en posición perpendicular al ducto, impidiendo el paso del fluido.

- Actuador Rotatorio Neumático

  Busca generar un movimiento giratorio, el cual está limitado a un ángulo máximo de rotación que generalmente es 90 grados. Se conecta aire comprimido a uno de los lados del embolo, lo que genera una fuerza de movimiento entre este y la pared del cilindro, mediante un elemento mecánico como yugo, piñón y cremallera. Para moverlo en sentido contrario, se requiere introducir aire comprimido en el otro lado del embolo.

- Solenoide

  Bobina en forma de cilindro que a través del paso de corriente genera un campo magnético de alta intensidad. Para conseguir un campo más uniforme en su interior se requiere una bobina más extensa. Este mecanismo se utiliza para convertir energía en movimiento lo que en la aplicación se denomina válvula solenoide. Una de estas aplicaciones se encuentra en la neumática por lo que la válvula controla el flujo del aire, al aplicarle una corriente permite que el aire pase, y al no tener corriente, deniega este pase.

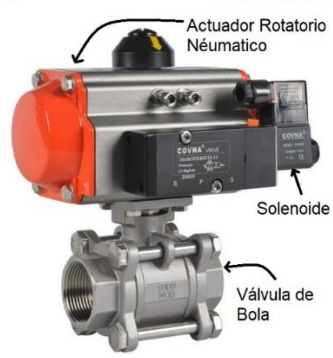


Figura 39. Válvula de Bola Neumática

Se coloca esta válvula justo por debajo del primer nivel en continuidad de un recorrido de la tubería PVC como se visualiza en la Figura 40. Consecuentemente, opera como una compuerta que cede o deniega el paso de alevines con agua al segundo nivel.

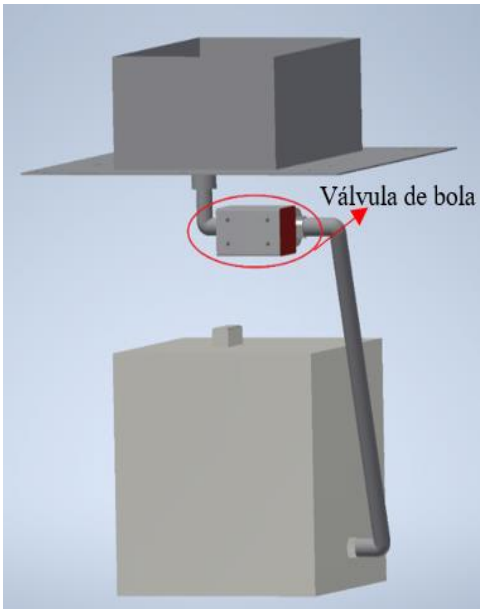


Figura 40 . Ubicación Válvula de Bola

Justificación

En primer lugar, se selecciona esta válvula neumática porque se requiere que el sistema alterne entres dos estados, uno que existan alevines en la primera pecera y el otro que se transporte una muestra al segundo recipiente, es así que la válvula actúa como una compuerta para lograr este cometido. En segundo lugar, porque posee extremos con rosca lo que garantiza un buen acople con las tuberías PVC evitando pérdidas de agua. En tercer lugar, porque se busca realizar una apertura y cierre rápido de esta compuerta para rellenar un determinado volumen en el segundo recipiente, por lo que al ser neumática ejecuta estas

funciones de forma rápida. En comparación de la válvula eléctrica que se toma mayor tiempo en estas tareas.

d. Compresor de aire

Es una maquina diseñada para aumentar la presión de aire extraído del ambiente y desplazar fluidos como gases y vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre esta máquina y el gas, transfiriéndole energía al flujo, lo que aumenta su presión y energía cinética para impulsarlo a salir.

Se instala el compresor de aire a un lado de la estructura mecánica para que por medio de una manguera transparente envíe aire a una determinada presión y así active o desactive la válvula. Además, se añade un filtro de aire para eliminar las partículas ajenas al aire tales como polvo, humedad y bacterias.

Justificación

En primer lugar, se ha escogido este compresor ya que se requiere alimentar a la válvula de bola para que entre en operatividad. En segundo lugar, porque posibilita el ajuste de la presión de aire de salida, mientras más presión reciba la válvula, más rápido se abrirá o cerrará.

e. Bornera

Es un tipo de conector eléctrico que permite fijar un cable a pieza metálica con el apoyo de un tornillo ajustable. Se utiliza con diversos tipos de cable, ya que dan una gran seguridad para que las conexiones eléctricas sean duraderas.

Se observa en la Figura 41 borneras de dos pines que se colocan en el circuito de control para que funjan como receptores de los cables de dispositivos de entrada y salida del sistema.



Figura 41. Bornera[86]

[86] Electromanía (22 septiembre del 2020). Bornera (Imagen). Recuperado de https://www.electromania.pe/producto/bornera-de-2-pines/

Justificación

Cada componente tales como motor, solenoide, poseen dos cables los cuales son dirigidos al circuito para que se aplique la lógica del control. Es así, que la bornera consiente que la conectividad de estos componentes sea rápida, ya que sus cables se pueden ajustar o desajustar en ella por medio de un destornillador.

f. Transistor

Es un dispositivo electrónico semiconductor encargado de transformar una señal de salida como respuesta a una de entrada. Consiste en 3 terminales que forman uniones bipolares, cada uno de ellos contiene materiales específicos en cantidades específicas.

En el circuito de control se incorpora el transistor NPN 2N2222A, como se observa en la Figura 42, a las salidas digitales del Raspberry, ya que este dispositivo va a permitir activar los relés y consiguientemente los componentes electromecánicos.

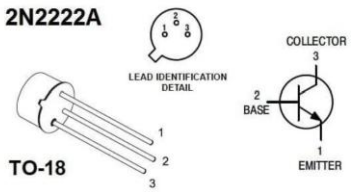


Figura 42. Transistor 2N2222A[87]

Justificación

Se emplea este transistor porque se planea que opere como un switch, activándose con la baja corriente que le brinda la salida del Raspberry a la base, así que por el colector y emisor circulará una mayor corriente, lo cual origina que se active el relé.

i. Relé

Es un aparato electromagnético que mediante una bobina y electroimán funciona como un interruptor que permite u obstruye el paso de corriente eléctrica de circuitos independientes.

Se incorpora en el circuito de control justo después de los transistores para que este relé de 5V sea el encargado de activar finalmente los componentes electromecánicos. Además, se

[87] Hardware Libre (22 septiembre del 2020). 2N2222(Imagen). Recuperado de https://www.hwlibre.com/transistor-2n2222/

añade dos relés de 8 pines de 12 v, como se observa en la Figura 43, el cual se encarga de cambiar la polaridad del motor.



Figura 43. Relé de 8 pines de 12 V [88]

Justificación

Se utilizan estos relés porque se busca que los componentes electromecánicos operen en dos estados, uno activo y el otro inactivo. Por ello, estos dispositivos funcionan como un switch que, al llegar corriente a la bobina, permite el paso de otra corriente por el pin normalmente abierto.

j. Diodo

Es un dispositivo semiconductor que cuenta con dos terminales, uno positivo llamado ánodo, y otro negativo llamado cátodo, lo que ocasiona que circule corriente solo en una dirección, ya que en la dirección opuesta se encuentra con una resistencia sumamente elevada que impide el paso de corriente.

En la Figura 44, se observa el diodo utilizado en el circuito de control, el cual se posiciona en la entrada de la bobina del relé.



Figura 44. Diodo [89]

[88] Yohii (20 de setiembre de mayo del 2020). *Relé electromagnético DC 12 V*. Amazon. Recuperado el 14 de junio del 2020 de https://www.amazon.com/Yohii-IEC255-Electromagnetic-Power-Socket/dp/B07HJ3HLYS/ref=asc_df_B07HJ3HLYS/?tag=hyprod-20&linkCode.

[89] McAllister Willy (17 de octubre del 2019). *El diodo como un elemento de circuito*. Khan Academy. https://es.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-semiconductor-devices/ee-diode/a/ee-diode-circuit-element.

Justificación

Se requiere que existe un dispositivo que protege al relé de las corrientes parasitas o en sentido opuesto, por lo que, al colocar el diodo en la entrada de este relé, garantiza que la corriente circule solo en un sentido.

3.3.3 Componentes para el procesamiento de imágenes

Se diseña e implementa un sistema para la captura de imagen de buena calidad para que los algoritmos puedan procesar bien esta imagen y obtengan resultados favorables.

a. Led de potencia

Es un diodo semiconductor de gran resistencia que puede emitir energía luminosa. El funcionamiento esta dado por el cambio de banda de conducción a la de valencia, en donde la perdida de energía se expresa en forma de fotón con una amplitud, dirección y fase aleatoria. Además, incluye diversas alternativas ópticas de control de flujo luminoso, otorgándole así mayores posibilidades de diseño y efectos de color.

En la Tabla 10 y 11 se expone las características del Led de 10 W utilizado en el proyecto, el cual se posiciona en la tapa superior del recinto, lo que permite iluminar artificialmente todo el interior de este. También, en la Figura 45 se observa este led de potencia

Angulo de apertura	120 grados
Temperatura de operación	-35 a 60 C
Corriente Nominal	1000mA
Numero de chips internos	9

Tabla 10. Características técnicas del de 10 W parte 1

Colores disponibles	Temperatura de color	Voltaje de operación		Consumo (W)	Flujo luminoso	
		Min	Max		Min	Max
WW	3000-5000 K	8.0	11.0	10	400	700
W	5000-7000 K	8.0	11.0	10	500	900

Tabla 11. Características técnicas del de 10 W parte 2[90]

[90] Siled (2018) *Leds de potencia.* *https://www.siled.com.mx/catalogos/potencia/files/leds%20de%20potencia.pdf*



Figura 45. Led de potencia de 10 W

Justificación

En primer lugar, se emplea este led porque se requiere iluminar el recinto con una luz blanca para que se identifique el alevín en la imagen. En segundo lugar, porque tiene una gran durabilidad y no disipa mucho calor. En tercer lugar, porque es suficiente con regular en baja la intensidad de luz para que ilumine todo el recinto.

b. Cámara Web

Dispositivo de video que funciona como un periférico de entrada, ya que transmite secuencias de audio y de video mediante un cable USB hacia un computador, con el objetivo de que se visualicen en tiempo real en aplicativos de video.

En la Figura 46 se aprecia la cámara web C920 empleada para capturar las imágenes en el segundo nivel, por lo que se posiciona en la tapa superior del recinto, al lado del led, teniendo así un campo de visión suficiente para adquirir una correcta imagen, la cual es enviada al Raspberry por conexión USB.



Figura 46. Cámara Web C920 Logitech[91]

Justificación

En primer lugar, esta cámara forma parte del sistema porque tiene una alta resolución 15 MP, lo cual es idóneo para identificar los bordes del alevín y así poder medirlos con mayor precisión. En segundo lugar, porque logra diferenciar el color del alevín frente los desechos que existen en el agua, por lo que ayuda a alcanzar una mayor precisión en el conteo. En

[91] Logitech (2020). *C920*. https://www.logitech.com/en-gb/products/webcams/c920

tercer lugar, por su fácil conectividad con el Raspberry, puesto que solo basta conectarla al puerto USB y la comunicación entre ellos queda establecida.

c. Pantalla LCD

Está compuesta por un reflector, una fuente de iluminación, dos placas de vidrio transparente, y en el medio de estas, una fina capa de cristales líquidos, que van cambiando su orientación, dependiendo del voltaje eléctrico que se le va suministrando, así permite el paso de más o menos luz.

Se coloca una pantalla LCD 12” táctil en el primer nivel, como se demuestra en la Figura 47, para que los operarios del CINPIS manipulen la interfaz gráfica y ejecuten los procesos de conteo y medición. De esta pantalla, se dividen dos cables, uno para activar el táctil y el otro para enviar la señal de video.

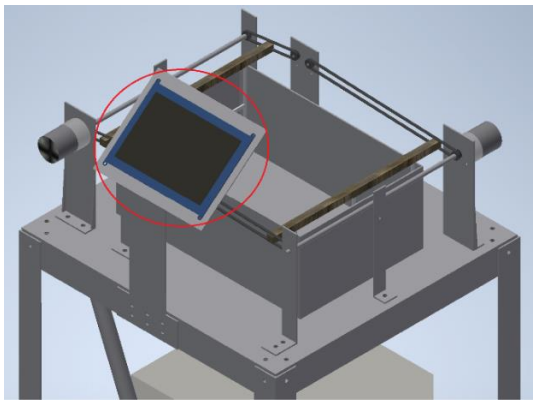


Figura 47. Pantalla LCD 12” en primer nivel

Justificación

En primer lugar, se ha instalado esta pantalla porque se desea tener un dispositivo en donde se van mostrando los resultados de los algoritmos. En segundo lugar, porque se requiere una interacción entre el operario y el sistema, por lo que implementando la interfaz en la pantalla, se puede conseguir que estos operarios manejen este sistema. En tercer lugar, porque la pantalla se puede comunicar con facilidad al Raspberry, usando tanto un puerto USB y otro de video.

3.4 Diseño e implementación

Se procede a explicar el funcionamiento del Hardware por lo que se divide en etapas en la cuales se realizan tareas específicas para conseguir el resultado esperado por el proyecto. A continuación, se observa el diagrama de bloques de esta parte del libro en la Figura 48

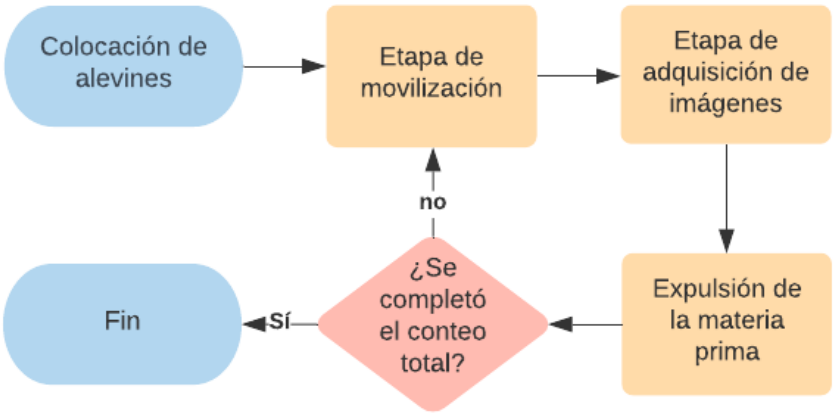


Figura 48. Diagrama de bloques

3.4.1 Colocación de alevines

Las dimensiones internas del primer recipiente de largo, ancho y alto son de 30 cm, 20 cm y 12.2 cm respectivamente.

Como se le va a verter agua y alevines, se tiene que evitar cualquier tipo de rebalse, por lo que se trabaja con una altura máxima del recipiente de 11 cm.

Aplicando la Ecuación 31 del volumen:

$$V_o = la \times ba \times ta$$

Ecuación 31. Fórmula de volumen

donde:

la = largo del recipiente (m)

ba = base del recipiente (m)

ta = altura del recipiente (m)

Utilizando las dimensiones de la Figura 49, se obtiene un volumen de 6,600 cm³.

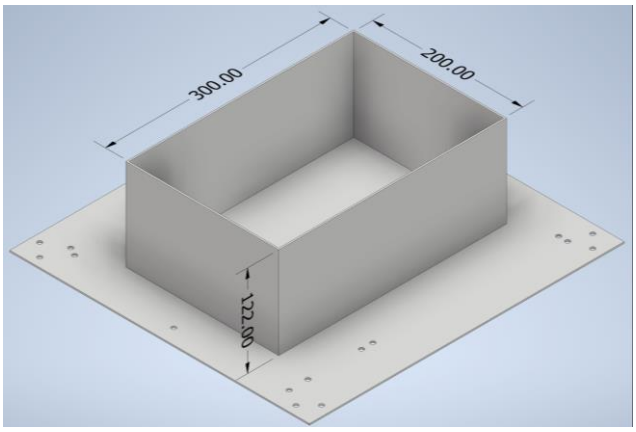


Figura 49. Dimensiones del primer recipiente

Las dimensiones del alevín de tilapia gris utilizados en promedio en el proyecto de largo, ancho y alto son de 1 cm, 0.2 cm y 0.2 cm respectivamente, por lo que el volumen ocupado por 2,000 alevines los cuales se espera colocar en promedio en el primer recipiente es de 80 cm^3. En la Figura 50 se muestra a estos alevines.



Figura 50. Alevines de tilapia gris

En los 6,520 cm^3 restantes, se rellenaría con agua, lo cual representa que se va a llenar con este elemento hasta alcanzar una altura de 10.9 cm

3.4.2 Etapa de movilización

Esta etapa se encarga de desplazar los alevines de tilapia que yacen en el primer nivel a un segundo nivel para que se les pueda contabilizar y medir en largo y ancho, lo cual se lleva a cabo mediante el procesador del Raspberry que controla a los elementos electromecánicos para que realicen las funciones correspondientes. Además, en este desplazamiento se va a contar en todo instante con la presencia del agua por lo que no se les genera un estrés innecesario.

En el primer nivel, el cual se observa en la Figura 51, se posicionan sujetadores de acero inoxidable lo cual se emplea para fijar a los motores DC, ejes, engranajes y correas a la altura de primer recipiente, ya que cada rejilla se acopla a dos correas en paralelo que a sus vez están conectadas a un eje, cuatro engranajes y un motor DC para que cada una de ellas se pueda desplazar uniformemente dentro de este recipiente lleno de agua y alevines, y así apoyar en desfogarlos, impidiendo que naden en contracorriente y permitiendo a la válvula de bola cerrar con tranquilidad. Asimismo, se tiene un sujetador de pantalla para que mediante de una pantalla el usuario puede navegar por el sistema operativo Raspbian y acceder a la interfaz para realizar el proceso de conteo y medición.

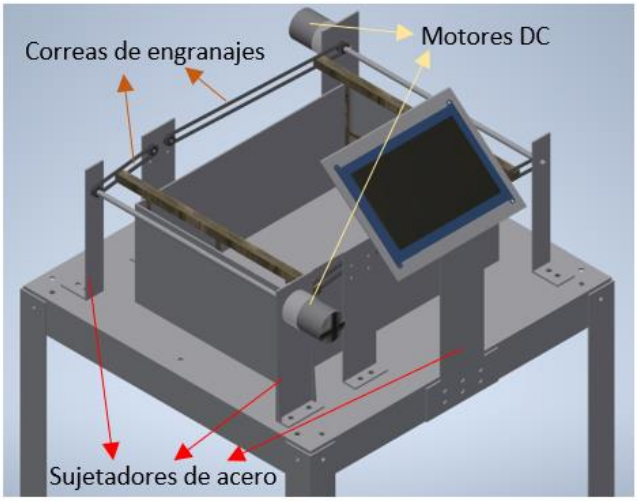


Figura 51. Primer Nivel

En la Figura 52 se observa una pieza en forma de U, la cual se encarga de sujetar a la válvula de bola justo por debajo de la base del primer nivel. Además, impide que por movimientos esta válvula, se genere un desalineamiento de las tuberías PVC.

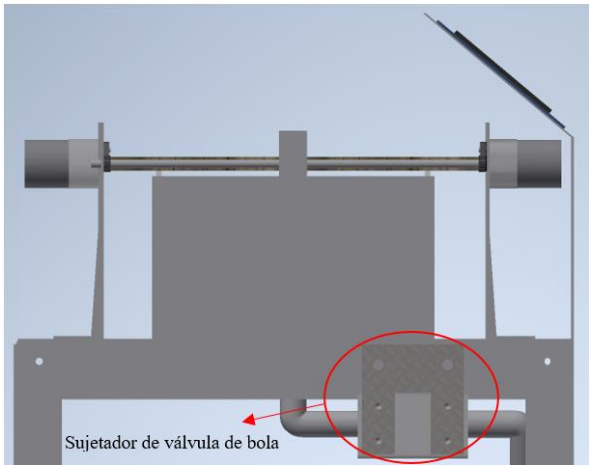


Figura 52. Sujetador de válvula de bola

En la Figura 53, como la primera rejilla acoplada al motor más veloz de 120 rpm a 12 voltios, cumple la función de acercar a los alevines al ducto de desfogue, se plantea que esta rejilla se desplace 5 cm con dirección a este orificio. Para ello, se requiere calcular que tiempo este motor estará activado para recorrer esta distancia. Se utiliza el perímetro del circulo, para calcular cuantas revoluciones tiene que dar para alcanzar los 5 centímetros, por lo que se procede a utilizar la Ecuación 32

$$N° \, de \, Vueltas = \frac{di}{2 \times \pi \times ra} \, rev$$

Ecuación 32. Número de vueltas a dar

donde:

di= distancia a recorrer (m)

ra= radio del engranaje (m)

Reemplazando los datos en la Ecuación 32 se obtiene

$$N° \, de \, Vueltas = \frac{5 \, cm}{2 \times \pi \times 1 \, cm} = \frac{5}{2 \times \pi} \, rev$$

Se calcula cuantas revoluciones genera el motor veloz en un segundo

$$Vueltas_{motor} = 120 \, \frac{rev}{min} \times \frac{1 \times min}{60 \times s} = 2 \, \frac{rev}{s}$$

Se aplica una línea de tres simple para hallar el tiempo necesario para alcanzar los 5 cm de movimiento horizontal

$$t = \frac{5}{4 \times \pi} = 0.4 \, s$$

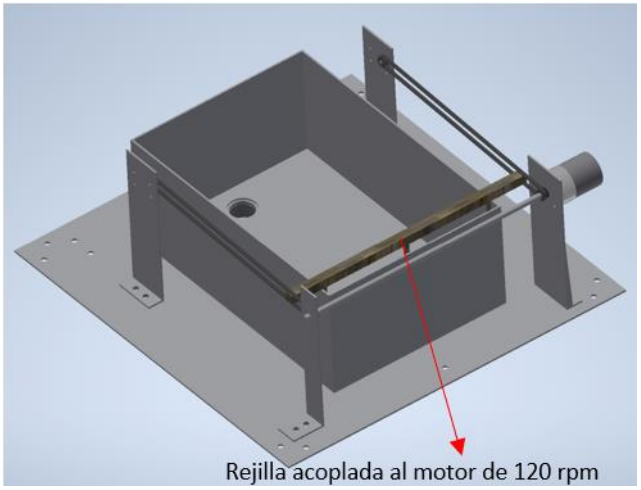


Figura 53. Primera rejilla acoplada al motor de 120 rpm

En la Figura 54, se muestra al motor más lento de 16 rpm a 12 voltios. Se pretende que la segunda rejilla se desplace 2 cm para tapar el orificio del primer nivel, por lo que evita que los alevines continúen viajando por las tuberías, y adicionalmente, permite que la válvula de bola se cierre sin generarles algún daño, ya que no habrá ningún alevín ubicado en esta.

Se emplea la Ecuación 32 para calcular cuantas revoluciones deberá tener el motor para desplazarse 2 cm

$$N° \, de \, Vueltas = \frac{2 \, cm}{2 \times \pi \times 1 \, cm} = \frac{1}{\pi} \, rev$$

Se determina cuantas revoluciones genera el motor veloz en un segundo

$$Vueltas_{motor} = 16 \, \frac{rev}{min} \times \frac{1 \times min}{60 \times s} = \frac{4}{15} \, rev$$

Se aplica una línea de tres simple para hallar el tiempo necesario para alcanzar los 2 cm de movimiento horizontal

$$t = \frac{\frac{1}{\pi}}{\frac{4}{15}} = \frac{15}{4 \times \pi} = 1.20 \, s$$

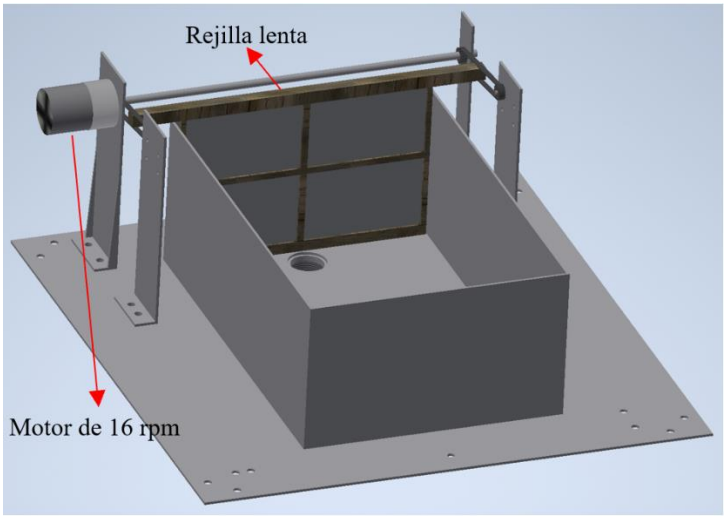


Figura 54. Segunda rejilla acoplada al motor de 16 rpm

Se tiene que ir trasladando de muestra en muestra de alevines al segundo nivel, cuya cantidad debe de ser como máximo 60 de estos, hasta que se haya contado todos los que se colocaron en el primer nivel. Además, se asigna esta cantidad porque se desea evitar que ocurra traslapes de alevines en la imagen a tomar.

Tomando como referencia la cantidad de alevines que se desea tener en el segundo recipiente, este se tiene que llenar con agua hasta que alcance una altura de 0.8 cm.

Con las dimensiones del segundo recipiente expuestos en la Figura 55, se calcula el volumen Vo_{R2} que va a ocupar esta cantidad de agua aplicando la Ecuación 31, se puede despreciar los alevines que estarán dentro del recipiente.

$$Vo_{R2} = 0.16 \times 0.2 \times 0.008 = 2{,}56 \times 10^{-4} m^3$$

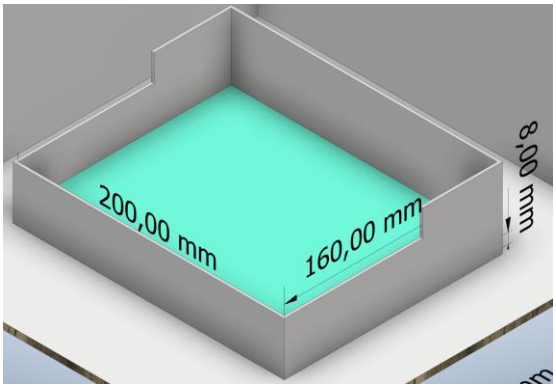


Figura 55. Dimensión segundo recipiente

Se procede a calcular cuánto tiempo requiere permanecer abierta la válvula de bola para que permita el pase de las muestras de alevines de un nivel a otro. Con fines aplicativos, solo se considera que se va a trasladar agua ya que prácticamente esta ocupa todo el volumen de la primera pecera.

Se establece que el Punto 1 está ubicado por encima de nivel de agua en el primer recipiente como se indica en la Figura 56, y Punto 2 está ubicado a la salida de la tubería la cual conecta al segundo recipiente como se indica en la Figura 57.

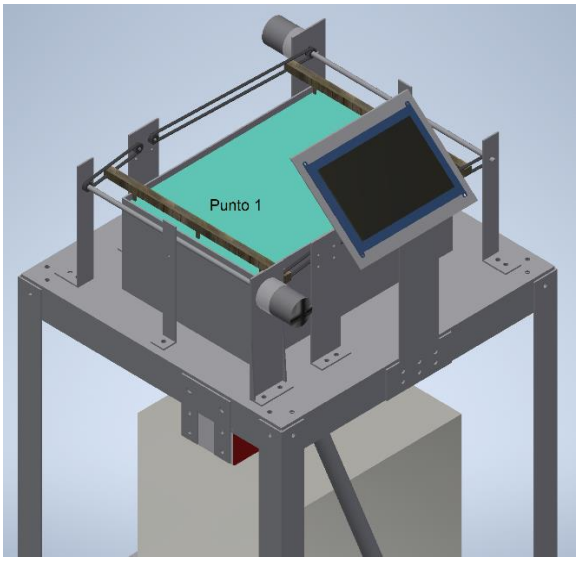


Figura 56. Ubicación Punto 1

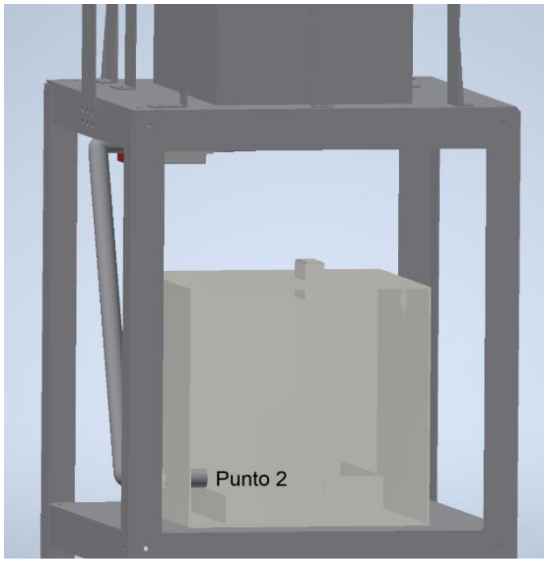


Figura 57. Ubicación Punto 2

De este modo, se utiliza ecuaciones de dinámica de fluidos. Primero, de la Ecuación 9, se deduce la Ecuación 33, la cual posee solo pérdidas eliminando el trabajo W, ya que no se cuenta con una bomba. Estas pérdidas se reflejan, primero, en la fricción que encuentra el paso de agua al entrar en contacto con las paredes de la tubería como en el tramo que la tubería está totalmente en horizontal; y segundo, en los accesorios como codos de 90 grados.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{{v_1}^2}{2 \times g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{{v_2}^2}{2 \times g} + Z_2 + h_p + h_s$$

Ecuación 33. Ecuación de Bernoulli con pérdidas

Se conoce el valor de pérdidas primarias y secundarias h_p por la Ecuación 10 de Darcy-Weisbach expuesta en el capítulo 2.

$$h_p = f \times \frac{L_T}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

En caso de la pérdida secundarias causada en los accesorios se realiza un pequeño cambio de variable en la Ecuación 10, por lo que se obtiene la Ecuación 11 del capítulo 2.

$$h_s = \sum K \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

Reemplazando las Ecuaciones 10 y 11 en la Ecuación 33, se obtiene la Ecuación 34

$$\frac{P_1}{\delta} + \frac{{v_1}^2}{2 \times g} + Z_1 = \frac{P_2}{\delta} + \frac{{v_2}^2}{2 \times g} + Z_2 + f \times \frac{L_T}{D} \times \frac{{v_2}^2}{2 \times g} + \sum K \times \frac{v_2^2}{2 \times g}$$

Ecuación 34. Ecuación de Bernoulli Completa con pérdidas

En donde:

P_1=Presión en el punto 1

v_1= Velocidad en el punto 1

Z_1= Altura del punto 1

P_2= Presión en el punto 2

v_2= Velocidad en el punto 2

Z_2= Altura del punto 2

f= factor de fricción

L_T= Longitud de la tubería

D= Diámetro de la tubería

δ= peso especifico

K= coeficiente de resistencia

Se conoce los siguientes datos del sistema:

$P_1 = P_2 = 101.325\ KPa$

$\delta = \rho \times g = 1000\ \frac{kg}{m^3} \times 9.81\ \frac{m}{s^2} = 9810\ \frac{kg}{m^2 s^2}$

$V_1 = 0\ \frac{m}{s}$

$Z_1 = 0.11 + 0.06 + 0.32 = 0.49\ m$

$Z_2 = 0\ m$

$D = 0.019\ m$

Igualmente, en las Figuras 58 y 59 se tiene conocimiento de las dimensiones del camino de la tubería la cual interconecta ambos niveles.

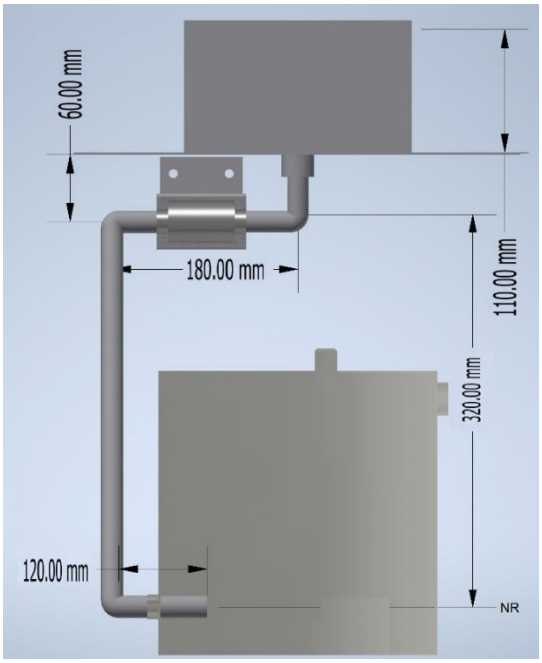


Figura 58. Dimensiones de tuberías

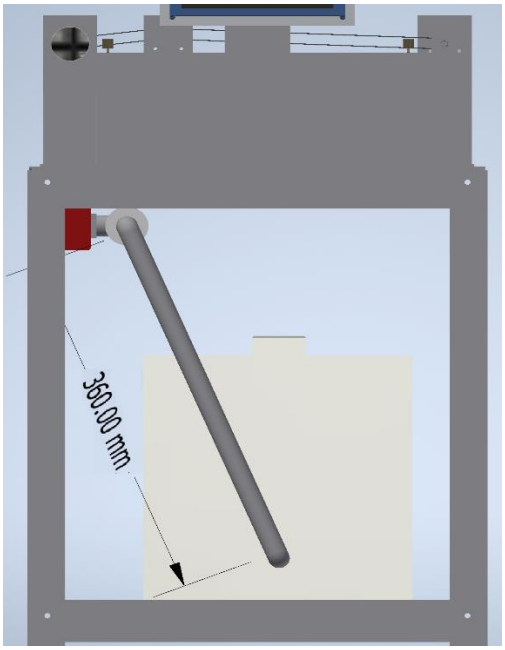


Figura 59. Longitud diagonal de tubería

El L_T se calcula aplicando la sumatoria de cada segmento de la tuberia, sin contar los accesorios como codos de 90 grados (6 cm) y válvula (8 cm).

$$L_T = 0.06 + 0.18 + 0.36 + 0.12 - 0.06 * 3 - 0.08 = 0.46\, m$$

En la Figura 60 se identifica los puntos tales como transiciones o accesorios en donde hay pérdidas secundarias, por lo que cada uno de ellos tienen un coeficiente de resistencia. El primer K_1 se encuentra en la transición de la primera pecera a la tuberia de 1.9 cm de diametro. El segundo K_2 se encuentra en cada codo de 90 grados. El tercero K_3 se encuentra en la válvula de bola. Y el ultimo K_4 está en la salidad de la tuberia.

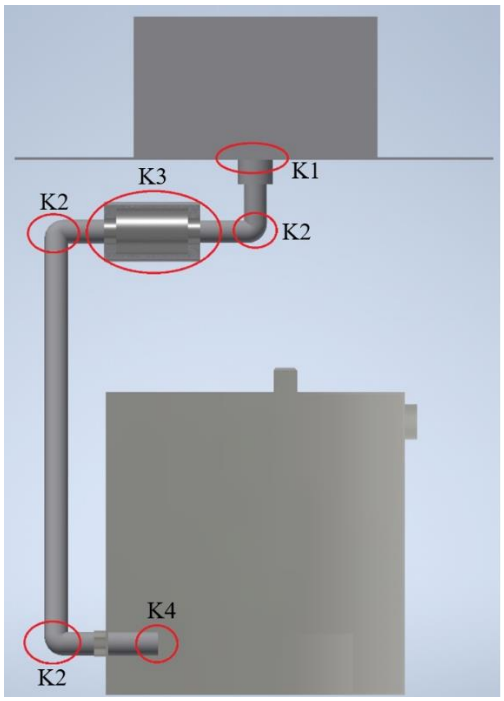


Figura 60. Identificación de accesorios

$$\sum K = K_1 + 3 \times K_2 + K_3 + K_4 = 0.5 + 3 \times 1.5 + 6.08 + 0.5 = 12.58$$

Se procede a calcular la variable v_2 de la Ecuación 34, para ello se emplea los datos del sistema.

$$\frac{101325}{9810} + \frac{0^2}{2 \times 9.81} + 0.49 = \frac{101.325}{9810} + \frac{{v_2}^2}{2 \times 9.81} + 0 + f \times \frac{0.46}{0.019} \times \frac{{v_2}^2}{2 \times 9.81} + 12.15 \times \frac{{v_2}^2}{2 \times 9.81}$$

$$0.49 = \frac{{v_2}^2}{19.62} \times (1 + 24.2105 \times f + 12.58)$$

Dando como resultado la Ecuación 35 la cual depende del factor de fricción f.

$$v_2 = \sqrt{\frac{9.6138}{13.58 + 24.2105 \times f}}$$

Ecuación 35. Ecuación de velocidad en base a la fricción

Además, se puede obtener el factor de fricción utilizando la Ecuación 12 de Swamee Y Jain del capítulo 2.

$$f = \frac{0.25}{\log_{10}(\frac{\varepsilon}{3.7 \times D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}})^2}$$

donde:

ε=rugosidad absoluta

Utilizando los datos conocidos, se consigue la Ecuación 36

$$f = \frac{0.25}{\log_{10}(\frac{0.0015\ mm}{3.7 \times 19\ mm} + \frac{5.74}{Re^{0.9}})^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\log_{10}(2.1337 \times 10^{-5} + \frac{5.74}{Re^{0.9}})^2}$$

Ecuación 36. Ecuación de Swamee y Jain con valores reemplazados

En la Ecuación 36 aparece otra incógnita, por lo que se emplea la Ecuación 13 de Reynolds del capítulo 2 para determinarla

$$Re = \frac{\rho \times v_2 \times D}{\mu}$$

Se considera que el agua del primer recipiente está a una temperatura de 15 grados. Por lo que, se emplea datos relacionado a este inciso, con lo cual se obtiene la Ecuación 37

$$Re = \frac{1000 \times 0.019 \times v_2}{0.001139}$$

$$Re = 16{,}681.2994 \times v_2$$

Ecuación 37. Ecuación de Reynols con valores reemplazados

Al tener tres Ecuaciones 35, 36 y 37, se procede a utilizar el método de iteración para resolverlas. Primero se asigna un valor de fricción f, cuyo valor inicial podría ser obtenido de la gráfica de Moody apoyándose de la rugosidad relativa $\frac{\varepsilon}{D}$. Luego, este valor se reemplaza en la Ecuación 35 para determinar la velocidad. En seguida, se emplea esta velocidad para hallar el número de Reynolds en la Ecuación 37. Después, se reemplaza este número de Reynolds en la Ecuación 36 para hallar el nuevo valor de fricción.

La iteración culmina cuando el valor asignado de fricción f es el mismo que el determinado por las ecuaciones.

Por lo tanto, se utiliza este método de iteración con el apoyo de una calculadora, obteniendo así el siguiente factor de fricción (adimensional):

$$f = 0.02862$$

Reemplazado este factor de fricción en la Ecuación 35, se obtiene la velocidad v_2

$$v_2 = \sqrt{\frac{9.6138}{13.58 + 24.2105 \times 0.02862}} = 0.8208 \ \frac{m}{s}$$

A continuación, se calcula el caudal en el punto 2 por la Ecuación 4, por ello, se sustituye la velocidad y el diámetro, y se obtiene:

$$Q_2 = 0.8208 \times \frac{\pi \times 0.019^2}{4} = 2.3272 \times 10^{-4} \ \frac{m^3}{s}$$

Mediante la Ecuación 3 de caudal, se procede a determinar el mayor tiempo que la válvula de bola estará abierta para rellenar el volumen de agua propuesto en el segundo recipiente.

$$t = \frac{Vo_{R2}}{Q_2} = \frac{2{,}56 \times 10^{-4}}{2.3272 \times 10^{-4}} = 1.10 \ s$$

A medida que vaya disminuyendo la cantidad de agua en el primer nivel, este tiempo máximo hallado se ira incrementado gradualmente para que garantice que aún circule como máximo 60 alevines al siguiente nivel.

Con los valores hallados, se elabora un diagrama de bloques presentado en la Figura 61 en donde se muestra el tiempo que va a estar activo cada componente, llegando a dar 5 pasos los cuales en el diagrama se representan por colores distintos.

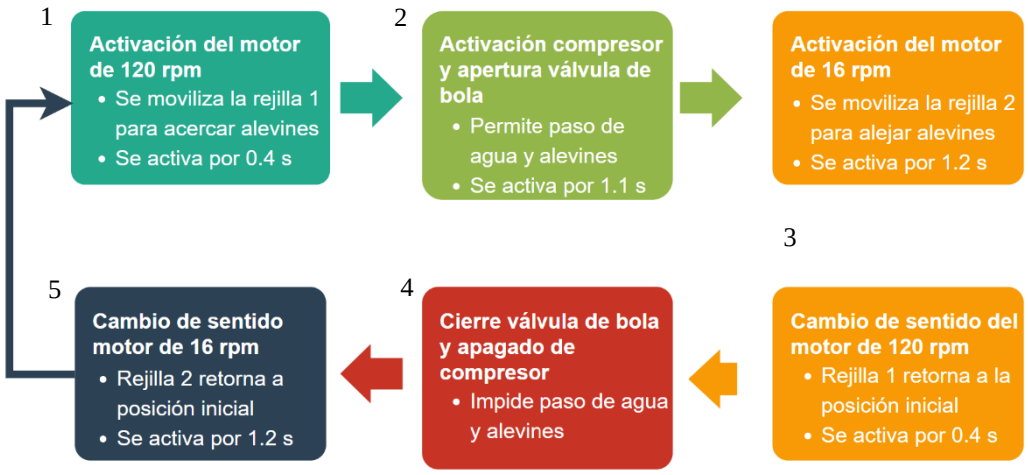


Figura 61. Mapa de tiempos

Asimismo, se observa que este procedimiento se repite hasta que ya no permanezca ningún alevín en el primer recipiente.

De esta forma, se desarrolla un circuito electrónico que permite activar y desactivar estos componentes para que realicen la función designada en el periodo determinado. Además, en el caso puntual de los motores se requiere invertir el giro para que permitan el retorno de las rejillas a su posición inicial.

En la Figura 62 se observa que las salidas GPIO del Raspberry Pi 3 operan como entradas digitales del circuito electrónico, puesto que dentro del primero se implementa el algoritmo de control. Además, se coloca un diodo en la entrada de activación de cada relé para evitar que exista conducción en otra polaridad.

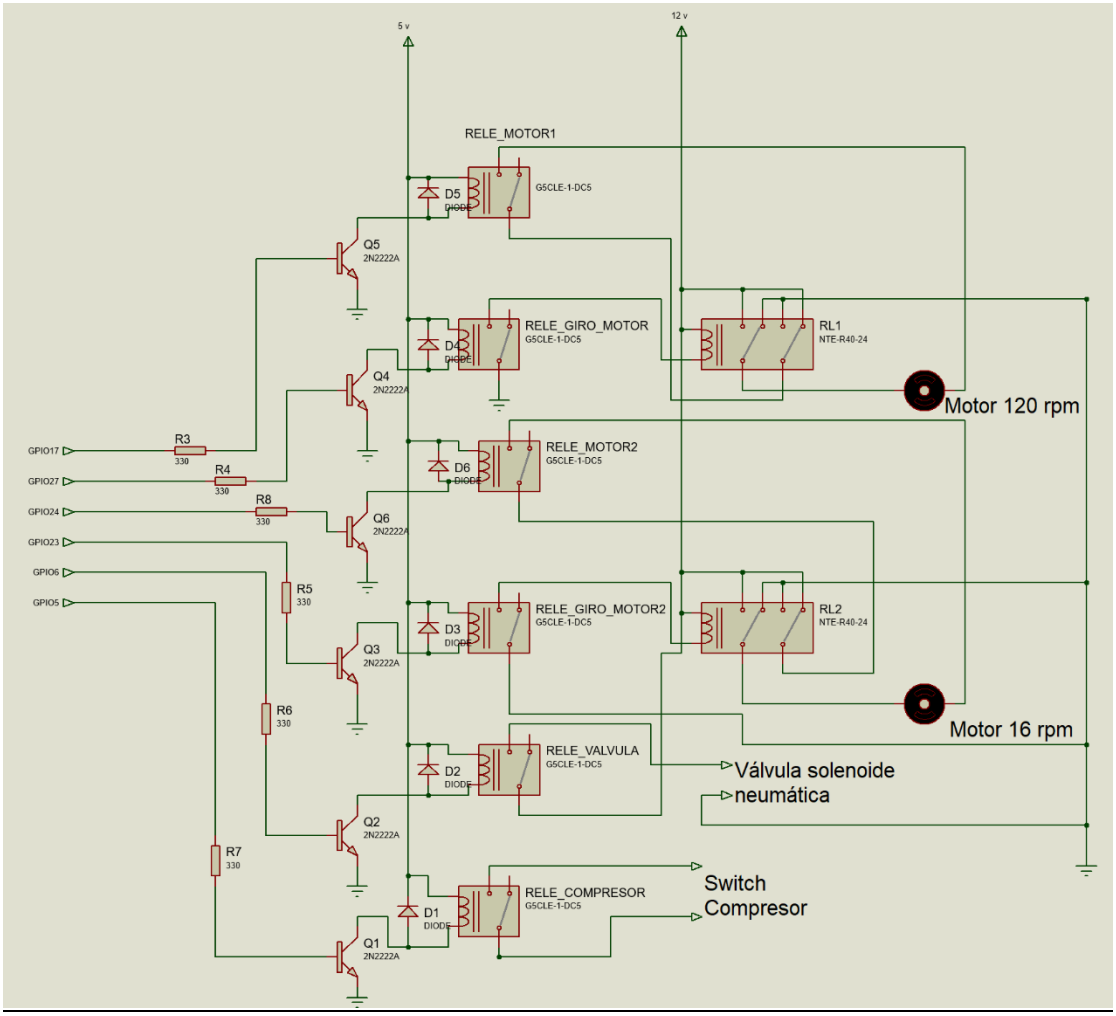


Figura 62. Circuito de Control

En la Figura 63 se muestran todos los pines GPIO que posee el Raspberry Pi 3 para su uso. En donde un grupo de ellos cuenta con salida y entrada analógica. No obstante, estos pines analógicos no fueron requerido en el proyecto a causa de que el circuito de control de actuadores diseñado posee únicamente entradas digitales.



Figura 63. Pines de entrada y salida del Raspberry pi 3 [92]

[92] Imagen extraída de página oficial de Raspberry pi. (Enlace: https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware)

Por lo tanto, los pines digitales GPIO del Raspberry Pi utilizados para este proceso están conectados a las entradas digitales del circuito de control de los componentes electrónicos y electromecánicos.

En la primera columna de la Tabla 12 muestran los pines GPIO usados para el presente desarrollo mientras que en la segunda columna se muestran los dispositivos que serán controlados por medio de estos.

Pin de Raspberry Pi	**Actuadores**
Pin GPIO 17	Motor de 120 RPM
Pin GPIO 27	Cambio giro de motor de 120 RPM
Pin GPIO 24	Motor de 16 RPM
Pin GPIO 23	Cambio giro de motor de 16 RPM
Pin GPIO 5	Compresora neumática
Pin GPIO 6	Válvula neumática

Tabla 12. Componentes electromecánicos controlados por ciertos pines del Raspberry pi

A continuación, se explica por partes el circuito de la Figura 60.

En primer lugar, se observa en la Figura 64 el circuito encargado de activar el compresor de aire. Para ello, se coloca un transistor NPN 2N222A a la salida del puerto GPIO5 del Raspberry, que, al ser alimentado con un voltaje positivo, cumple con la función de un switch que permite el paso del voltaje entre el emisor y colector, por lo que activa el relé con un voltaje de 5 v. La salida normalmente abierta del relé está conectada al switch que forma parte del compresor de aire, de tal forma se cierra circuito y lo activa.

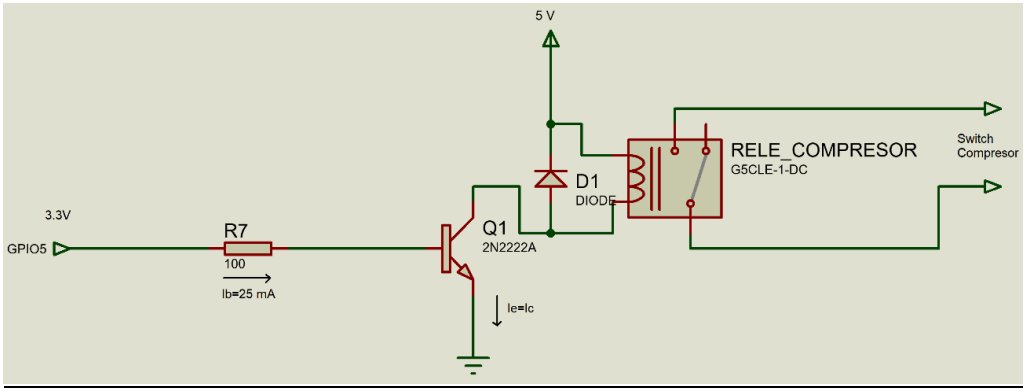


Figura 64. Circuito de compresor de aire

En segundo lugar, se observa en la Figura 65 el circuito encargado de activar el solenoide neumático. Para ello, se posiciona un transistor NPN 2N222A a la salida del puerto GPIO6 del Raspberry, al cual, al alimentarlo con un voltaje positivo, cumple con la función de un switch que permite el paso del voltaje entre el emisor y colector, así es que logra activar el relé con un voltaje de 5 v. En un pin de salida de este relé, está conectado la alimentación de 12 v, por lo que al ser activado, permite que llegue este voltaje al solenoide neumático, el cual ya tiene un pin conectado a tierra,

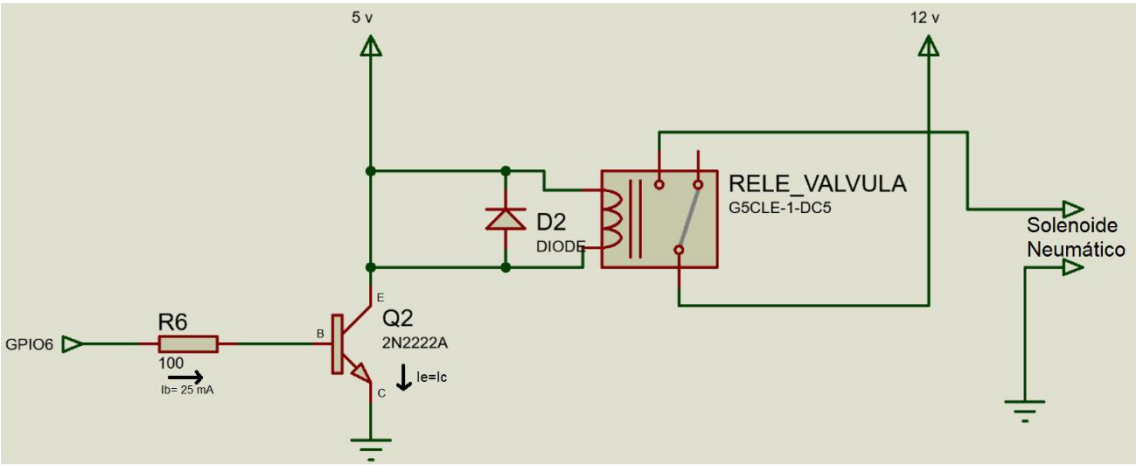


Figura 65. Circuito del solenoide neumático

De este modo, la válvula de bola permite el paso de agua y alevines cuando el switch del compresor de aire esta activado y el solenoide neumático esta alimentado con 12 v. Para cerrar de la válvula, se suprime la alimentación del solenoide por lo que estará en 0 v y al mismo tiempo, el compresor deberá permanecer activo.

En tercer lugar, se visualiza en la Figura 66 el circuito encargado de controlar a los motores del primer nivel, y el cual también les permite de cambiar de polaridad. Así que para cada motor se tiene dos relés de 5v, y, además, los acompaña otro relé de 12 v con doble bobina, el cual le entrega el voltaje a los motores, permitiendo que roten en ambos sentidos.

En el primer escenario de la Figura 66 se trata de activar cada motor con un voltaje de 12 v. Para ello se utilizan las entradas GPIO 17 para el motor de 120 rpm y GPIO 24 para el motor de 16 rpm, las cuales, al brindar un voltaje, permiten que el transistor NPN opere como un switch y posibilite la activación del relé 5 v. Este entra a conducir por los pines normalmente abierto, que reciben el voltaje de 12 v del relé de doble bobina, ya que al no estar energizado trabaja con los pines normalmente cerrados. Este voltaje de 12 v se envía a uno de los pines

del motor, y el pin restante recibe la tierra del relé de doble bobina, por el pin normalmente cerrado. Consecuentemente, los motores entran en operatividad, el de 120 rpm girará en sentido antihorario, y el de 16 rpm, en sentido horario.

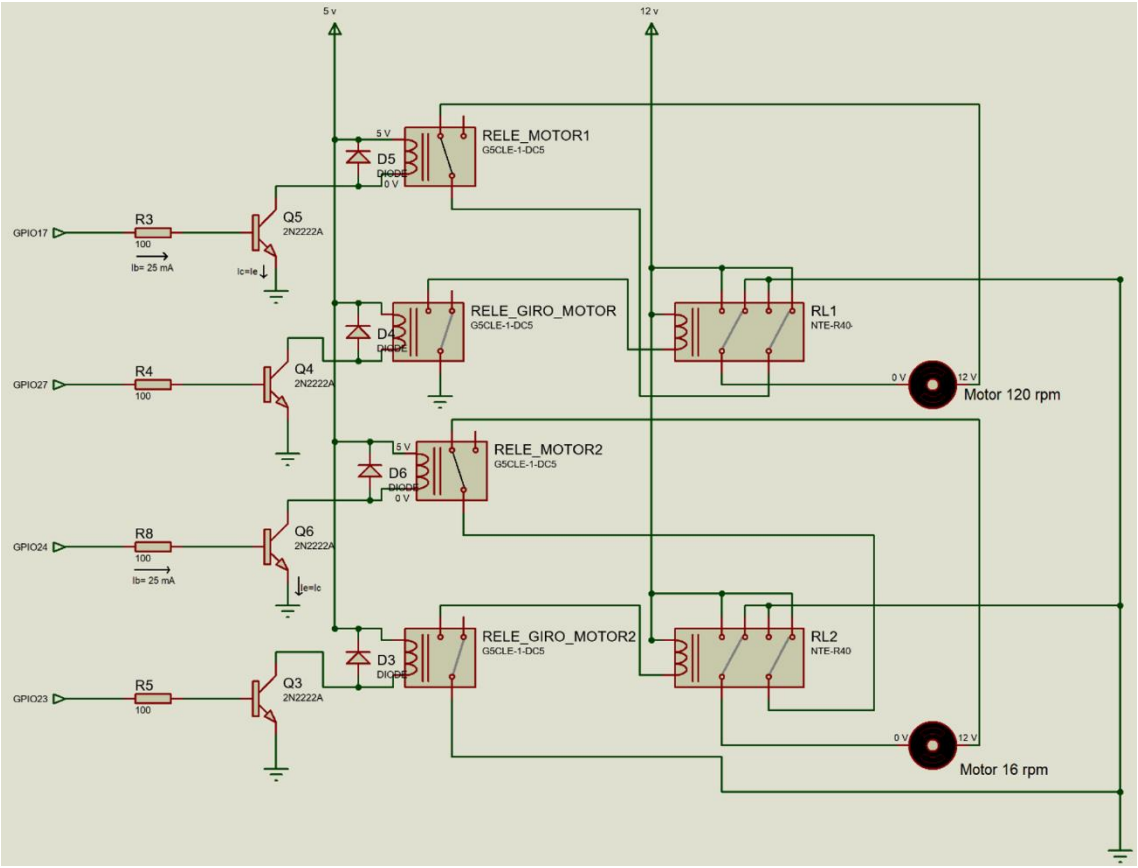


Figura 66. Circuito de control de motores

En la Figura 67 se muestra el segundo escenario, el cual consiste en cambiar el sentido de rotación de cada motor, por ello el voltaje de 12 v cambia de polaridad al llegar a estos motores.

Se utiliza las entradas las entradas GPIO 17 y GPIO 27 para el motor de 120 rpm, siendo el segundo el encargado de cambiar el giro de este motor; y las entradas GPIO 24 y GPIO 23 para el motor de 16 rpm, también siendo el segundo el encargado de cambiar de giro de este segundo motor. Por lo tanto, al enviar los 3.3 v por las entradas GPIO 27 y GPIO23, permiten que el transistor NPN opere como un switch y así active el primer relé con 5 v, por lo que conduce por los pines normalmente abierto, brindándole la tierra al segundo relé para que este se pueda activar, ya que por el otro pin ya recibe 12 v. Al mismo tiempo, se activa el otro relé por el GPIO 17, para que finalmente el motor reciba el voltaje de 12 v en otra polaridad, y así pueda cambiar el sentido de giro.

En consecuencia, el motor de 120 rpm va a girar en sentido horario, y el de 16 rpm en sentido antihorario.

Cada motor es activado en un sentido de giro de acuerdo con el algoritmo implementado en el Raspberry Pi, el cual cumple con trasladar los alevines de un nivel a otro.

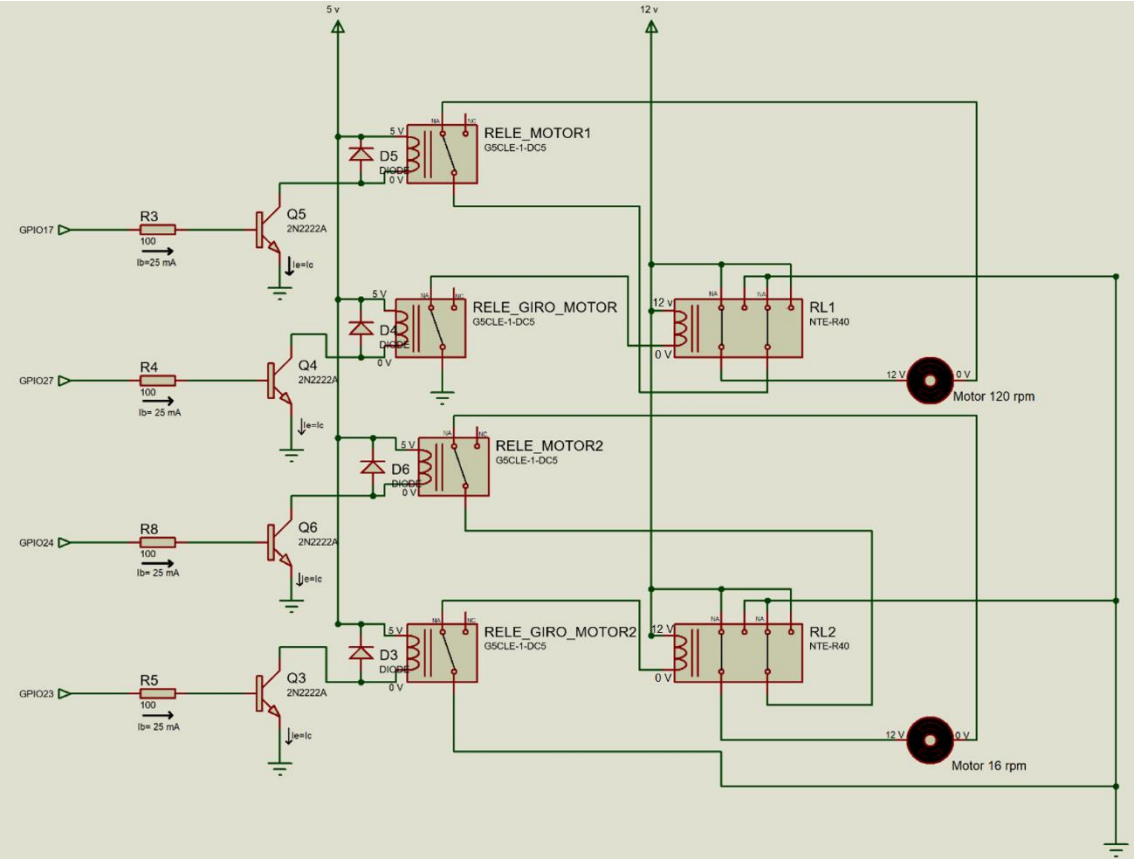


Figura 67. Circuito de cambio de polaridad de los motores

3.4.3 Etapa de adquisición de imágenes

En la presenta etapa se busca preparar el interior del recinto para que sea el lugar idóneo para la captura de imágenes de la muestra de alevines, donde se considera la colocación de la cámara y la iluminación artificial proporcionada por el led de potencia. Así, a posterior se pueda aplicar los algoritmos de conteo y medición con la alta efectividad deseada.

Se observa en la Figura 68 que la cámara se posiciona en la tapa interna, ya que toma la imagen del segundo recipiente que está en la base del recinto. Además, justo al costado de esta cámara, se sitúa el led de potencia para que pueda brindar una iluminación de arriba hacia abajo. Adicionalmente, se pinta todas las caras internas de un color blanco, por lo que posibilita que el alevín, que es de color gris, se diferencie en la imagen adquirida.

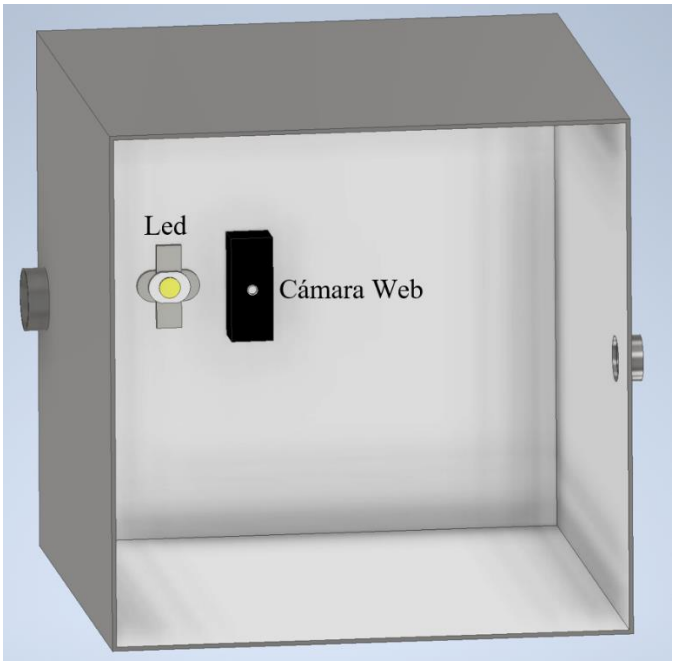


Figura 68. Colocación led y cámara

El led de potencia debe de funcionar a un voltaje que no propague mucha luz y que tampoco genere tanto calor que dañe a los alevines que están en el segundo recipiente. Además, se tiene que mantener permanente la iluminación y no generar por momentos destellos de luz. Por lo tanto, se establece que el voltaje en el que debe de operar el led es de 8 voltios, por lo que se tiene que acoplar un circuito que genere este voltaje.

En la Figura 69 se muestra al circuito encargado de brindar los 8 voltios al led de potencia. Se utiliza un transistor de potencia ya que este debe de soportar una corriente de 1A la cual circula por este led para garantizar estabilidad en la iluminación. En la base del transistor se ubica un potenciómetro de resistencia total de 10 K, el cual se coloca en 8K, en el colector se localiza el led potencia y una resistencia de potencia, y el emisor de conecta a tierra.

Este transistor opera como un switch en donde deja pasar la corriente del colector al emisor. Por lo que, la corriente del colector se halla por la Ecuación 38.

$$I_c = \beta \times I_b$$

Ecuación 38. Corriente del colector del transistor

donde:

β = Ganancia

I_b = Corriente en la base del transistor

Reemplazando con los datos conocidos en esta Ecuación 38 se obtiene

$$I_c = 40 \times 1\ m\ A = 40\ mA$$

Aplicando la fórmula de Kirchoff, se obtiene el voltaje en R2

$$V_{R2} = I_c \times R2 = 40\ m \times 100 = 4\ V$$

Restando el voltaje de la fuente menos el voltaje en R2, se obtiene el voltaje del led

$$V_{led} = V_s - V_{R2} = 12 - 4 = 8V$$

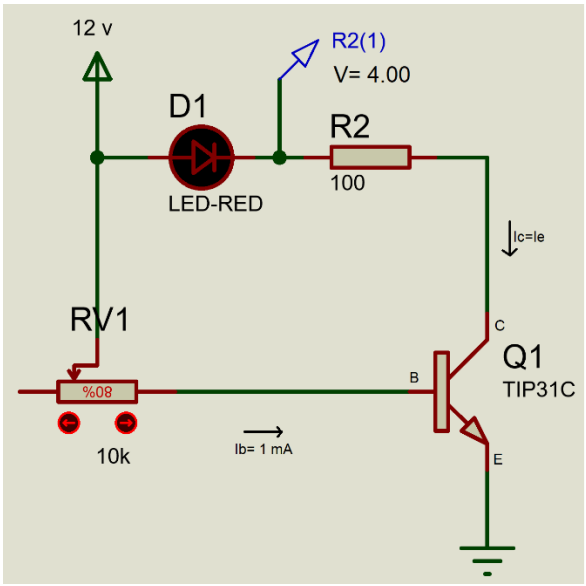


Figura 69. Circuito regulador de intensidad de luz

Además, se requiere averiguar si la distancia de separación entra la cámara y el segundo recipiente es la adecuada para capturar una imagen en donde se muestre a todos los alevines. De este modo, se procede a encontrar el campo de visión horizontal y vertical con las ecuaciones 18 y 19 del capítulo 2.

$$FOV_h = 2 \times \tan^{-1}(\frac{0.5 \times W_s}{f_d})$$

$$FOV_v = 2 \times \tan^{-1}(\frac{0.5 \times Al_s}{f_d})$$

Se conoce que la cámara Logitech C920 cuenta con un sensor de imagen de dimensiones 5.14x3.5mm de largo y ancho respectivamente y de diagonal un largo de 6.22mm y cuya distancia focal es de 3.67 milímetros.

Reemplazando estos valores en las ecuaciones 18 y 19, se obtiene lo siguiente:

$$FOV_H = 2 \times tg^{-1}\left(\frac{0.5 \times (5.14mm)}{3.67mm}\right) = 70.0°$$

$$FOV_V = 2 \times tg^{-1}\left(\frac{0.5 \times (3.5\ mm)}{3.67\ mm}\right) = 50.98°$$

El campo de visión de la cámara tiene un rango de hasta 70° en la horizontal y 50.98° en la vertical, por lo que, al situar el recipiente a 22 cm de la cámara, este se encontrará dentro de su campo de visión, llegando a abarcar a todos los alevines.

3.4.4 Expulsión de la materia prima

Se retira del recinto la muestra de alevines ubicada en el segundo recipiente, para que en caso lleguen más muestras, este recinto los pueda seguir albergando y así llegar a contabilizar en su totalidad a estos alevines.

Por consiguiente, en la Figura 70 se muestra el recinto en donde uno de sus laterales posee una compuerta, el cual permite que ingrese una mano para retirarlo y después verter su contenido en un tercer recipiente de mayores dimensiones. Luego, se retorna este segundo recipiente vacío para que el procedimiento de traspaso de alevines pueda continuar.



Figura 70. Compuerta del recinto

3.4.5 ¿Se completó el conteo total?

El usuario se pregunta si ya logró contabilizar la cantidad deseada, en caso falte, estos procedimientos explicados en este parte entran en constante repetición hasta alcanzar la

cantidad total. En caso contrario, el usuario puede cerrar la interfaz, puesto que tendrá todos los alevines contabilizados y medidos listos para ser comercializados.

Para finalizar esta sección del capítulo, en la Figura 71 se observa completamente la estructura mecánica en físico.



Figura 71. Estructura mecánica real

Comentarios finales del presente capitulo

De lo expuesto en el presenta capitulo, se resalta los siguientes comentarios:

- Se diseña la estructura mecánica mediante el software de simulación, para su posterior fabricación.
- La estructura mecánica permite alojar a los distintos niveles, que con el apoyo de un circuito de control y componentes electromecánicas, se encarguen de trasladar alevines de un lugar a otro.
- La estructura mecánica está elaborada en acero inoxidable 316 ya que estará expuesto a un ambiente húmedo como por ejemplo el centro piscícola de la UNALM.
- En el primer nivel se van a colocar todos los alevines que se deseen contabilizar y medir en dimensiones geométricas.

- Debido a que los alevines tienden a nadar en contracorriente, se emplea una primera rejilla para acercarlos al ducto de desfogue y así puedan ser enviados al segundo nivel.
- Se utiliza una segunda rejilla para alejar a los alevines del ducto de desfogue, con el fin de que al instante de cerrar la válvula de bola, no se encuentre uno de ellos, evitando así los decesos en el traspaso de estos.
- Se tiene dos velocidades distintas en los motores, puesto que, las rejillas tienen que abarcar distancias distintas en distintos tiempos.
- La distancia que existe entre la cámara y el segundo recipiente posibilita que este recipiente se encuentre dentro del FOV de la cámara, por ello, la imagen capturada contendrá todo lo que se encuentra dentro de este recipiente.
- La iluminación led debe tener el voltaje de 8v lo cual es suficiente para alumbrar todo el interior del recinto. Además, con esa intensidad de luz, no se perturba a los alevines.
- Se pintan las caras internas del recinto para que se pueda identificar fácilmente a los alevines en la imagen adquirida.
- Para retirar a los alevines se apertura la compuerta del recinto, siendo esto un procedimiento manual a realizar por el usuario.

4 CAPÍTULO 4 DESCRIPCIÓN DE LA ETAPA DE SOFTWARE DEL SISTEMA PROPUESTO

4.1 Introducción

La etapa de software cumple la función de realizar el cálculo de la cantidad de alevines de tilapia dentro de una población aproximada de entre 300 y 3000 alevines y las dimensiones geométricas de largo y ancho de cada uno de ellos.

Para lograr el objetivo planteado, se utilizó herramientas de procesamiento de imágenes para segmentar cada muestra de alevines con el propósito de binarizar la imagen adquirida y resaltar únicamente los objetos de interés que en este caso son los alevines de tilapia.

Posterior a ello, la imagen binarizada pasó por algoritmos que determinaron la cantidad de alevines y sus dimensiones, donde para esta última, fue necesario calcular la longitud en centímetros del píxel de las imágenes adquiridas por la cámara web al estar ya ubicada dentro del recinto de adquisición de imágenes.

Finalmente, los resultados obtenidos se visualizan en una interfaz gráfica donde se detallaron la cantidad de alevines con sus respectivas longitudes de largo y ancho en cada muestra realizada. Así mismo, la interfaz gráfica muestra la cantidad total de alevines contados en todas las muestras y la longitud promedio del largo de todos los alevines medidos.

4.2 Diseño e implementación

En esta sección, se explicará a mayor detalle el diseño e implementación del software utilizado en el sistema cuyo diagrama de bloques se observa en la Figura 72 el cual está conformado por 9 importantes pasos que, en conjunto, conforman el algoritmo que determinará los resultados obtenidos de todo el proceso del sistema. Estos resultados serán visualizados en una interfaz gráfica para realizar las validaciones correspondientes.

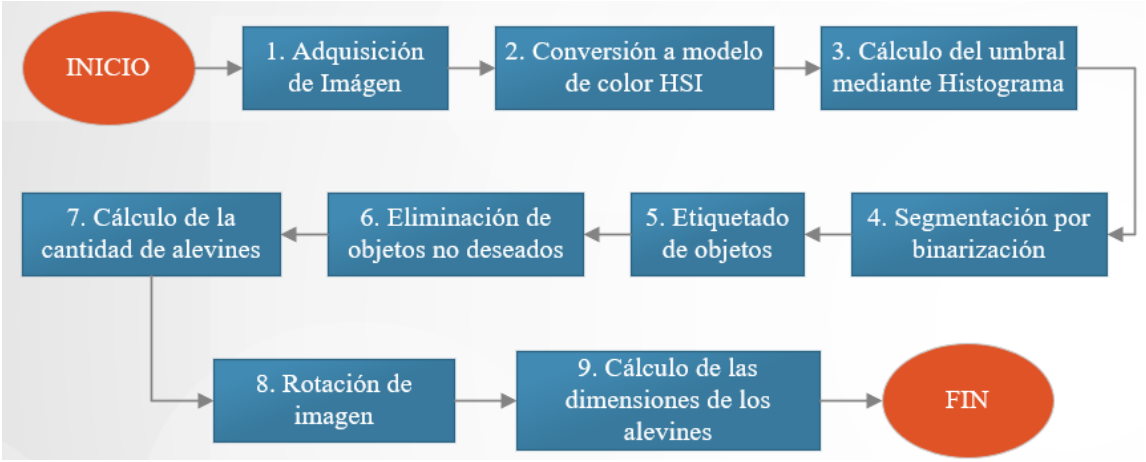


Figura 72. Diagrama de bloques general del software del sistema

4.2.1 Adquisición de imagen

Este paso tiene como objetivo la correcta adquisición de la imagen con la muestra de alevines a analizar. La imagen, es adquirida por una cámara web Logitech con resolución 1920x1080p (HD) con gran rapidez de obturación con lo cual se capturan imágenes adecuadas inclusive mientras el alevín está en movimiento. Asimismo, la cámara web adquiere las imágenes en formato RGB 24 bits true color y está ubicada al interior del recinto de adquisición de imágenes. Es en ese lugar, desde donde está conectada la cámara web al Raspberry pie 3 quien será el receptor de la imagen capturada. Por lo tanto, para la adquisición de la imagen a analizar se utilizó los parámetros iniciales detallados a continuación:

- Resolución: 1920x1080 (HD) sin bordes.
- Formato de color: RGB 24 bits true color.
- Frecuencia de captura: 60fps.
- Frames iniciales descartados: 60.
- Auto enfoque desactivado.
- Enfoque con valor igual a 10.
- Contraste con valor igual a 250.
- Saturación con valor igual a 50.
- Formato de archivo generado: PNG.

La adquisición de la imagen se realizó utilizando la librería *"fswebcam"* desarrollada en Python ya que cuenta con la opción de asignar parámetros iniciales a la cámara web. Todo ello, con el fin de contar con una imagen adecuada y que facilite el procesamiento de imágenes y la obtención de los resultados esperados. En la Figura 73 se muestra el flujo ejecutado para la obtención de la imagen a analizar. Donde el primer paso es la configuración de los parámetros mencionados. Posterior a ello, se realiza la captura de la imagen y finaliza con el guardado de la misma en formato PNG.

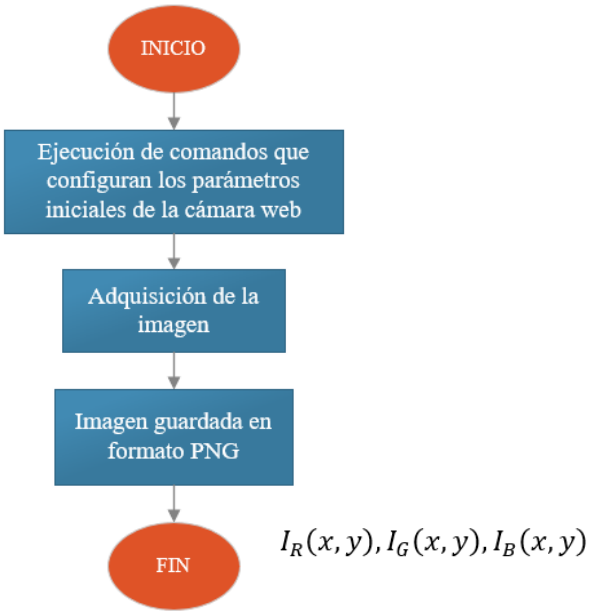


Figura 73. Flujo para la adquisición de la imagen a analizar

En la Figura 74 se puede visualizar un ejemplo de la adquisición de imagen de una muestra de 47 alevines de tilapia. Por lo que, usando los conceptos del Sub-Capítulo 2.2.3.1 (Modelo de color RGB) se utilizó la Ecuación 20 para representar cada matriz de componente de color de una imagen en formato RGB donde $I_R(x,y)$ representa la componente de color rojo, $I_G(x,y)$ la componente de color verde y $I_B(x,y)$ la componente de color azul; siendo $x = 0, 1, 2, \dots, M-1$ y $y = 0, 1, 2, \dots, N-1$. Donde, según la configuración aplicada a la cámara web, los valores de M y N son 1080 y 1920 respectivamente.



Figura 74. Imagen adquirida de una muestra de 47 alevines de tilapia con los parámetros indicados

Problemas encontrados

Se presentó problemas con el enfoque automático que tiene la cámara web al realizar la captura de imagen debido a la demora en encontrar el enfoque ideal, así como la imagen resultante la cual no contaba con mucha nitidez. Para solucionar el problema, se desactivó el enfoque automático, asignando un valor de enfoque único el cual se obtuvo mediante diferentes pruebas realizadas con diferentes valores.

4.2.2 Conversión a modelo de color HSI

El objetivo del presente paso es la conversión de la imagen con modelo de color RGB adquirida en el paso anterior, al modelo de color HSI. Para lograr esto, el software aplicó el algoritmo de conversión de modelo de color RGB a modelo de color HSI usando los conceptos del Sub-Capítulo 2.2.4 (Conversión de RGB a HSI).

En primer lugar, se calculó el valor del ángulo $\theta(x, y)$ reemplazando la Ecuación 21 con los valores obtenidos en la imagen representada por las matrices $I_R(x, y), I_G(x, y), I_B(x, y)$. Este ángulo, es muy importante para poder representar la componente de tonalidad $I_H(x, y)$.

$$\theta(x,y) = cos^{-1}(\frac{0.5[(I_R(x,y) - I_{\mathrm{G}}(x,y)) + (I_R(x,y) - I_{\mathrm{B}}(x,y))]}{(I_R(x,y) - I_{\mathrm{G}}(x,y))^2 + (I_R(x,y) - I_{\mathrm{B}}(x,y))(I_{\mathrm{G}}(x,y) - I_{\mathrm{B}}(x,y))})$$

Con el ángulo determinado, se reemplazó los valores de la Ecuación 22 para determinar la componente de tonalidad $I_H(x,y)$.

$$I_H(x,y) = \begin{cases} \theta(x,y) & I_{\mathrm{B}}(x,y) \leq I_{\mathrm{G}}(x,y) \\ 2\pi - \theta(x,y) & I_{\mathrm{B}}(x,y) > I_{\mathrm{G}}(x,y) \end{cases}$$

Posterior a ello, se normalizó $I_H(x,y)$ y para ello se remplazó los valores de la Ecuación 23.

$$I_H(x,y) = \frac{I_H(x,y)}{2\pi}$$

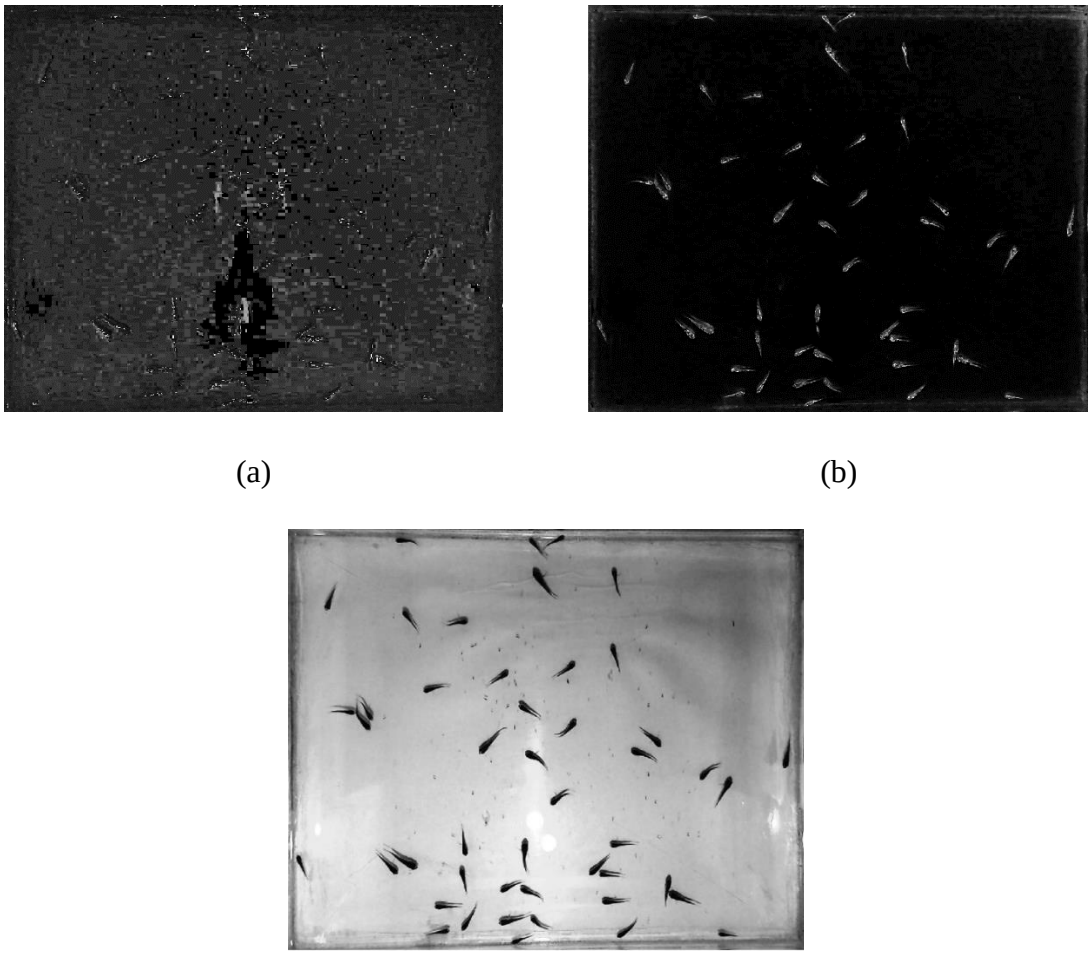
En segundo lugar, se reemplazó los valores de la Ecuación 24 para hallar los valores de la componente de saturación $I_S(x,y)$.

$$I_S(x,y) = 1 - \frac{3 \times min(I_R(x,y), I_{\mathrm{G}}(x,y), I_{\mathrm{B}}(x,y))}{I_R(x,y) + I_{\mathrm{G}}(x,y) + I_{\mathrm{B}}(x,y)}$$

Finalmente, se reemplazó los valores de la Ecuación 25 para el cálculo de la componente de Intensidad $I_I(x,y)$.

$$I_I(x,y) = \frac{I_R(x,y) + I_{\mathrm{G}}(x,y) + I_{\mathrm{B}}(x,y)}{3}$$

Este proceso, tuvo como resultado 3 imágenes distintas correspondientes a la tonalidad, saturación e intensidad de color de la imagen originalmente adquirida (RGB). En la Figura 75 se observa las imágenes resultantes después del proceso de conversión a modelo de color HSI.



(a) (b)

(c)

Figura 75. Imágenes resultantes de la conversión a modelo de color HSI. (a) Imagen de tonalidad I_H. (b) Imagen de Saturación I_S. (c) Imagen de Intensidad I_I

Se optó por utilizar la imagen de Intensidad de color representaba por la matriz $I_I(x, y)$. Debido a que el procesamiento de imágenes desarrollado se aplica únicamente a una imagen bidimensional de 8 bits, con la finalidad que el algoritmo trabaje únicamente con una matriz de valores. También, la imagen de Intensidad resultante resalta el contraste de color existente entre la muestra de alevines y el fondo blanco de la imagen adquirida. A continuación en la Figura 76 se visualiza el flujo del proceso de conversión a modelo de color HSI.

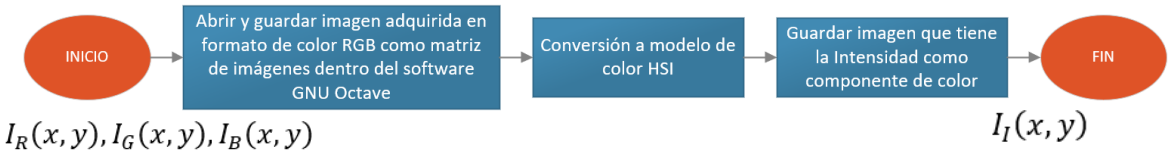


Figura 76. Flujo del proceso de conversión a modelo de color HSI

Problemas encontrados

Para la conversión a modelo de color HSI se desarrolló un algoritmo basado en las ecuaciones matemáticas que realizan la conversión al modelo de color HSI. Si bien las imágenes resultantes fueron las correctas, el tiempo de ejecución del algoritmo sobrepasó el esperado para esta parte del procesamiento. Debido a ello, se optó por usar librerías que el software GNU Octave tiene disponibles para la presente conversión. Por lo que, aplicando dichas librerías se logró realizar la ejecución del algoritmo de conversión dentro del rango de tiempo adecuado.

4.2.3 Cálculo del umbral mediante Histograma

El objetivo del presente paso es el cálculo del umbral que se utilizó para la segmentación por binarización de la imagen adquirida. Para ello, posterior a la conversión a modelo de color HSI, se realizó el cálculo del umbral adecuado utilizando como herramienta para determinar este valor el histograma de la imagen. Esto, debido a que el histograma de cada imagen adquirida tiene resultados independientes. Lo que garantiza un umbral distinto para cada imagen adquirida de cada muestra de alevines de tilapia. Generando así, el uso del umbral más adecuado para el procesamiento de cada imagen adquirida.

En la Figura 77 se observa la imagen representada por la matriz $I_I(x, y)$. En donde cada valor de la matriz normalizada, que representa el color de cada píxel, se encuentra en el rango entre $< 0{,}1 >$ (siendo "0" el color negro y "1" el color blanco).

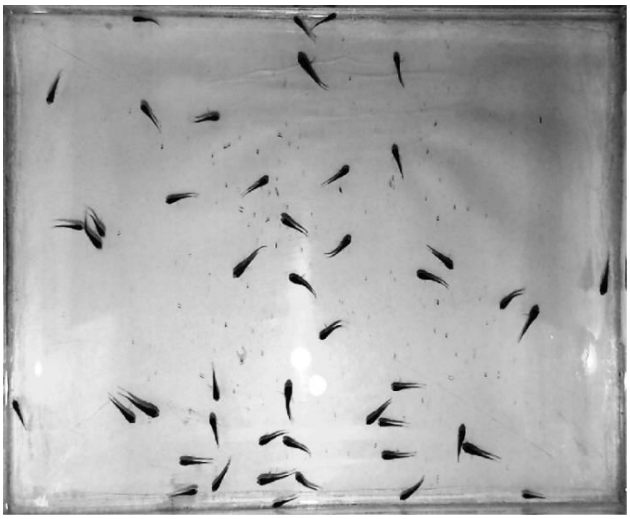


Figura 77. Imagen de componente de color de Intensidad representada por la matriz $I_I(x, y)$

Por consiguiente, para el cálculo matemático de la función que representa al Histograma de la imagen $I_I(x, y)$ se utilizó los conceptos del Sub-Capítulo 2.2.8 (Histograma). Por lo tanto, el primer paso es calcular los niveles de intensidad ke, cuyo valor al ser una imagen normalizada va desde "0" hasta "1", con 255 posibles valores en este rango, determinados por la ecuación $L = 2^r - 1$ donde r es igual al número de bits que conforman al píxel que para este ejemplo es de 8 bits.

Seguido a ello, se remplaza los valores de la Ecuación 30 para determinar la función discreta $hi(ke)$ que representa al histograma de la imagen $I_I(x, y)$, donde np_{ke} representa el número de pixeles existentes en cada valor de intensidad ke.

$$hi(ke) = np_{ke}$$

En la Figura 78, se muestra el Histograma $hi(ke)$ correspondiente a la imagen $I_I(x, y)$. En donde, en el eje de las abscisas se ubica el rango valores ke (entre "0" y "1") correspondiente a todas las tonalidades de color existentes en la imagen, mientras que en el eje de las ordenadas se encuentra la cantidad total de píxeles np_{ke} con el mismo valor de color ke. Es por ello, que en el eje de las abscisas mientras más se acerca al valor de "1" (que representa el color blanco en la imagen) existen más cantidad de píxeles con el mismo valor. Esto debido a que gran parte de la imagen $I_I(x, y)$ contiene píxeles de color blanco los cuales son obtenidos debido al fondo de la base del recinto.

Por otro lado, los píxeles que conforman a los alevines (colores más cercanos al negro), se representan en el recuadro rojo de la parte inferior izquierda del histograma de la Figura 78, donde en esta parte de la gráfica, tiene un pico máximo con valor de 0.03922 que lo conforma la parte central del alevín ya que mientras más se acerca a los bordes de este, más se aclara su color. Por lo que, según pruebas realizadas con diferentes muestras de alevines, se determinó que el umbral adecuado μ_0 para la segmentación por binarización, tiene que ser 2.6 veces mayor que el pico de píxeles que conforman el color del pez. En el ejemplo dado, el valor pico es de 0.03922. Por lo tanto, el umbral μ_0 con el que se realizará la segmentación tendrá el valor de 0.102.

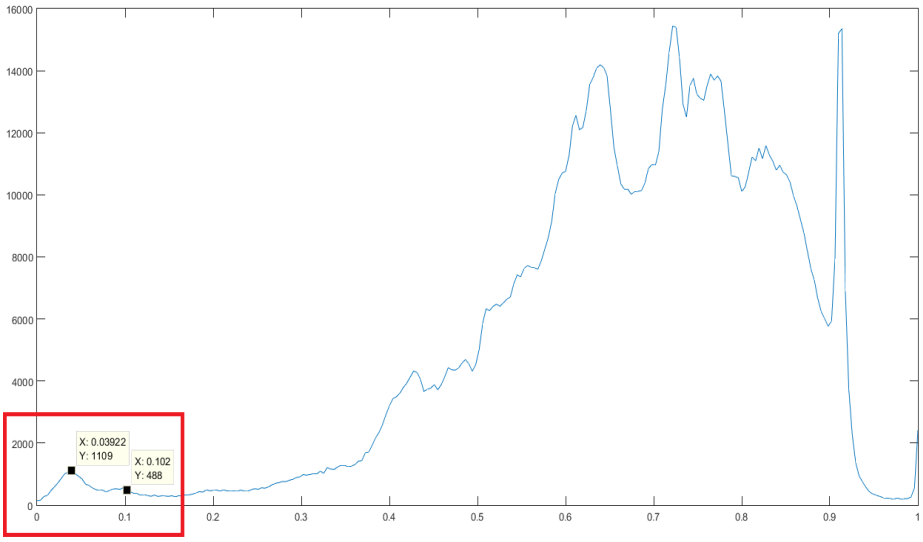


Figura 78. Histograma de la imagen de componente de color de Intensidad $I_I(x, y)$

Al umbral también se le puede asignar un valor constante ya que, al contar con el recinto cerrado e iluminado y la misma configuración de los parámetros de captura de imagen para todas las muestras, permite tener imágenes parecidas. Sin embargo, como se explicó en el capítulo anterior, la cantidad de alevines de cada muestra puede ser de como máximo 60 de estos. Por lo que, tener un umbral constante aumenta el grado de error del algoritmo. Es por ello, que el umbral más adecuado tiene que ser independiente por cada muestra analizada. Por lo tanto, se utiliza el umbral variable μ_0 el cual está ligado a los resultados de cada imagen adquirida.

En la Figura 79 se visualiza el flujo del presente paso, el cual está conformado por la ejecución de los algoritmos para el cálculo del histograma $hi(ke)$. Posterior a ello, el cálculo del valor pico que alcanza el histograma en la zona donde están los colores de los alevines. Finalmente, termina con el cálculo del umbral μ_0 adecuado para la segmentación por binarización.

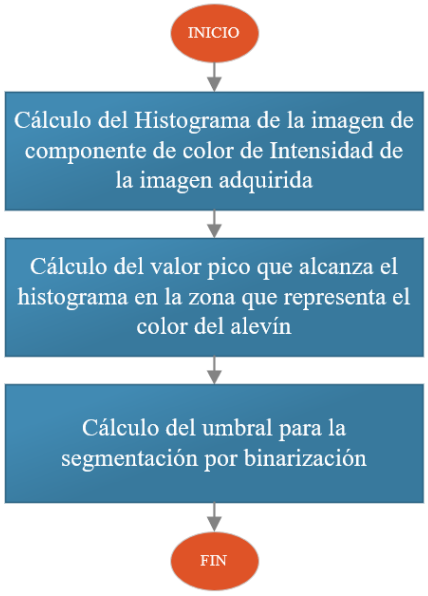


Figura 79. Flujo del cálculo del umbral mediante Histograma

Problemas encontrados

Inicialmente se optó por utilizar un umbral constante para la segmentación por binarización. Sin embargo, al realizar las pruebas del sistema, se validó que el umbral debe ser calculado de manera independiente para cada imagen adquirida. Es por ello, que se optó por la solución de contar con un umbral variable cuyo valor dependerá de las características de cada imagen adquirida.

4.2.4 Segmentación por Binarización

El objetivo del presente paso es realizar la segmentación por binarización de la imagen representada por la matriz $I_I(x, y)$ con la finalidad de segmentar los objetos de interés (alevines).

Al finalizar con el proceso de segmentación, se contará con una imagen resultante donde únicamente los píxeles que formen parte de los alevines tendrán el valor de “1” (blanco) y el resto de los píxeles de la imagen el valor de “0” (negro). Para ello, se utilizó el umbral obtenido en el paso anterior el cual asegura la correcta binarización de la imagen.

Para el presente paso, se utilizó los conceptos del Sub-Capítulo 2.2.5.2 (Segmentación por Binarización). Por lo que se usó como referencia la Ecuación 14 para calcular la imagen binarizada resultante. Donde para este ejemplo, el umbral tiene el valor de $\mu_0 = 0.102$.

Asimismo, la matriz que representa la imagen resultante de la binarización realizada es $I_{bi}(x, y)$.

$$I_{bi}(x,y) = \begin{cases} 1, & I_I(x,y) \leq \mu_0 \\ 0, & I_I(x,y) > \mu_0 \end{cases}$$

En la Figura 80, se observa la imagen $I_I(x, y)$ la cual representa la componente de color de intensidad de la imagen originalmente adquirida. Mientras que en la Figura 81 se observa la imagen $I_{bi}(x, y)$ la cual es la resultante del proceso de segmentación por binarización en donde se resalta como objetos a los alevines y también falsos positivos originados por desechos, sombras o reflejos.

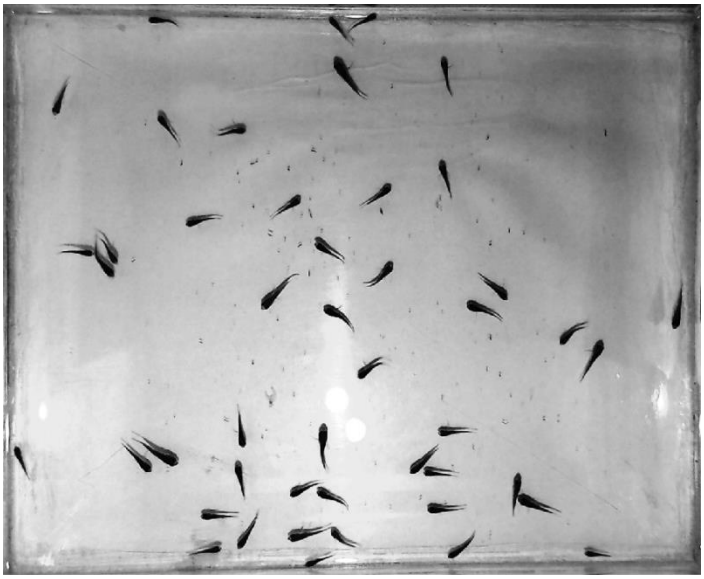


Figura 80. Imagen de componente de color de Intensidad representada por la matriz $I_I(x, y)$

Para realizar el presente proceso de binarización se utilizó como herramienta la librería de procesamiento de imágenes que posee el software GNU Octave. Si bien se puede desarrollar también el algoritmo de binarización basándose de las ecuaciones matemáticas planteadas, no se optó por esa solución ya que, al utilizar las librerías que ya posee el software, se agiliza el tiempo de ejecución del algoritmo. Esto, debido a que estas librerías al ser propias del software son más eficientes y tienen un menor tiempo de ejecución.

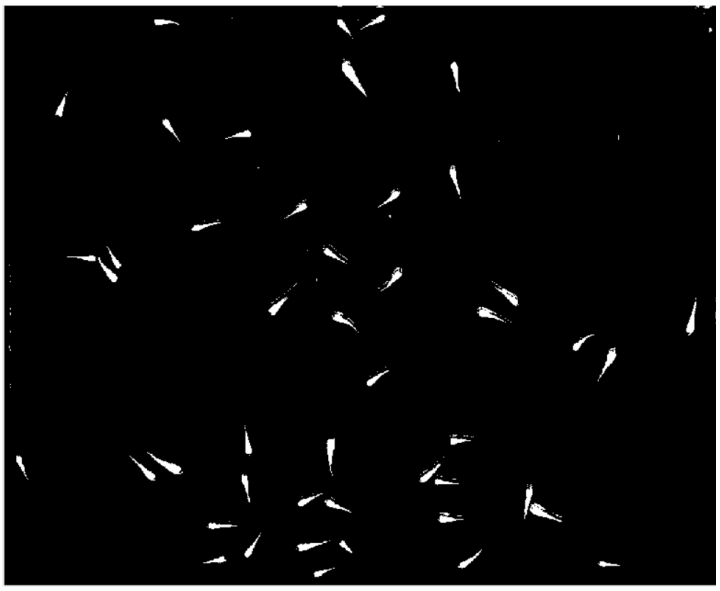


Figura 81. Imagen resultante de la binarización representada por la matriz $I_{bi}(x, y)$

El flujo del presente proceso de binarización aplicado a cada píxel de la imagen $I_I(x, y)$ se observa en la Figura 82. En donde, si el valor del píxel es menor o igual al umbral μ_0, significa que forma parte del alevín y por lo tanto se remplaza este valor por "1" (color blanco). Caso contrario, si el valor del píxel es mayor al umbral μ_0 significa que no forma parte del alevín y por lo tanto se remplaza este valor por "0" (color negro).

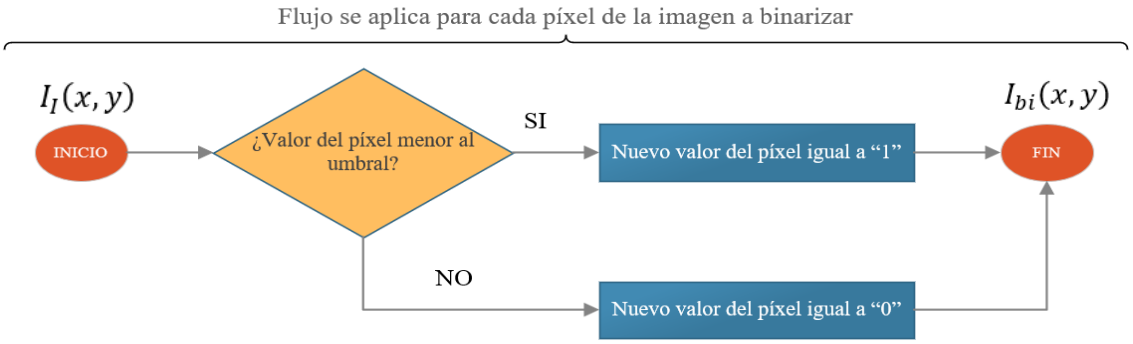


Figura 82. Flujo del proceso de binarización aplicado a cada píxel de la imagen $I_I(x, y)$

Problemas encontrados

Existe un grado de error en el proceso de binarización de la imagen. Este error puede ser originado por dos situaciones las cuales serán explicadas a continuación:

- El primer error consiste en que hubo partes del alevín que no llegaron a ser detectadas. Estas zonas no detectadas están conformadas mayormente por los bordes

del alevín debido a su color más claro. La solución para este problema se explicará en los pasos siguientes. Ya que se corrige al momento de calcular las dimensiones de cada alevín.

- El segundo error consiste en que existan falsos positivos originados por sombras, desechos o reflejos existentes en la imagen como se observa en la Figura 83. Esto, debido a que estos píxeles tienen un color parecido a los colores del alevín. Para la solución de este problema se realizó un algoritmo de corrección de errores el cual será descrito en los siguientes pasos.

4.2.5 Etiquetado

El objetivo del presente paso es la ejecución del algoritmo de etiquetado de objetos de interés (alevines) existentes sobre la imagen binarizada obtenida en el paso anterior y representada por la matriz $I_{bi}(x, y)$. Para ello, se utilizó los conceptos del Sub-Capítulo 2.2.6 (Etiquetado) donde para este cálculo se usó una máscara la cual utilizará como tipo de conectividad la "8-conectividad" para identificar los objetos existentes. Esto, con la finalidad de obtener una imagen con la matriz de etiquetas resultante representada por $I_E(x, y)$ y también, la cantidad de objetos etiquetados que detectó el algoritmo, definidos como Ob. Así mismo, cada objeto de interés etiquetado estará asociado a un valor k cuyo rango de valores posibles va desde 1 hasta Ob. Puesto que, cada píxel de cada objeto de interés etiquetado tendrá como valor dentro de la matriz $I_E(x, y)$ el valor de k asociado al objeto al que pertenece.

Siguiendo el ejemplo de la muestra de 47 alevines, la cantidad de objetos detectados por el algoritmo de etiquetado fue de 215 objetos conformados por alevines y "objetos no deseados" correspondientes a desechos, sombras o reflejos existentes en la imagen original. En la Figura 83 se observa la imagen con la matriz de etiquetas resultante $I_E(x, y)$ con los 215 objetos detectados. En donde, en los recuadros rojos se resalta algunos de los "objetos no deseados" detectados en el proceso.

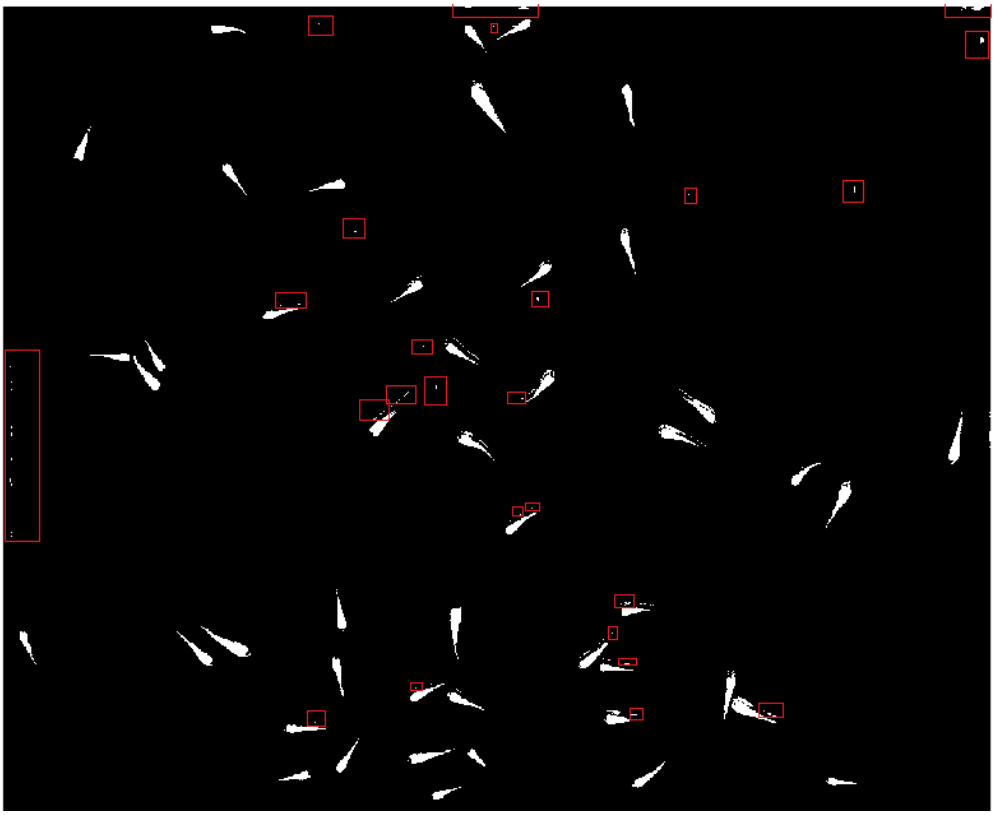


Figura 83. Imagen con la matriz de etiquetas resultante $I_E(x, y)$ en donde se resalta algunos de los "objetos no deseados" detectados

Se utilizó la herramienta del etiquetado de objetos para determinar la cantidad de objetos detectados en la binarización frente a otras posibles soluciones debido a que este algoritmo realiza el filtrado de la imagen mediante máscaras utilizando tipos de conectividad ya establecidos. Asimismo, existen librerías dentro del software GNU Octave que realizan el etiquetado de objetos lo cual, aligera el procesamiento de imágenes realizado y el tiempo de demora de su ejecución. En la Figura 84 se observa el flujo realizado en el presente proceso de etiquetado. En donde, primero se determina el tipo de conectividad que tendrá la máscara que se aplicará en el algoritmo de etiquetado. Después, se ejecuta el algoritmo utilizando las librerías existentes y para finalizar, se obtiene una imagen con la matriz de etiquetas resultante junto con la cantidad de objetos detectados.

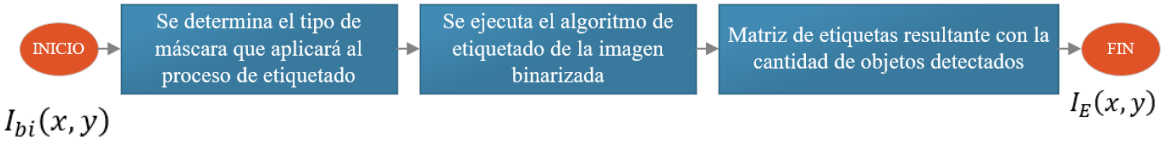


Figura 84. Flujo del proceso de etiquetado de objetos

Problemas encontrados

Los denominados "objetos no deseados" obtenidos como resultado de la binarización, también afectan el presente paso, ya que son considerados como objetos dentro del proceso de etiquetado realizado. Por consiguiente, la cantidad de objetos detectados hasta este momento puede ser mayor a la cantidad de alevines existentes en la muestra analizada. La solución al presente problema se aplicará en el paso siguiente.

4.2.6 Eliminación de objetos no deseados

El presente paso tiene como objetivo eliminar los "objetos no deseados" existentes en la imagen con la matriz de etiquetas representada por $I_E(x, y)$ con la finalidad de tener una imagen resultante representada por la matriz $I_F(x, y)$ donde los únicos objetos de interés sean los alevines de la muestra. En la Figura 85 se visualiza el flujo del presente proceso de eliminación de "objetos no deseados". En donde, los pasos que lo conforman se explican a detalle a continuación.

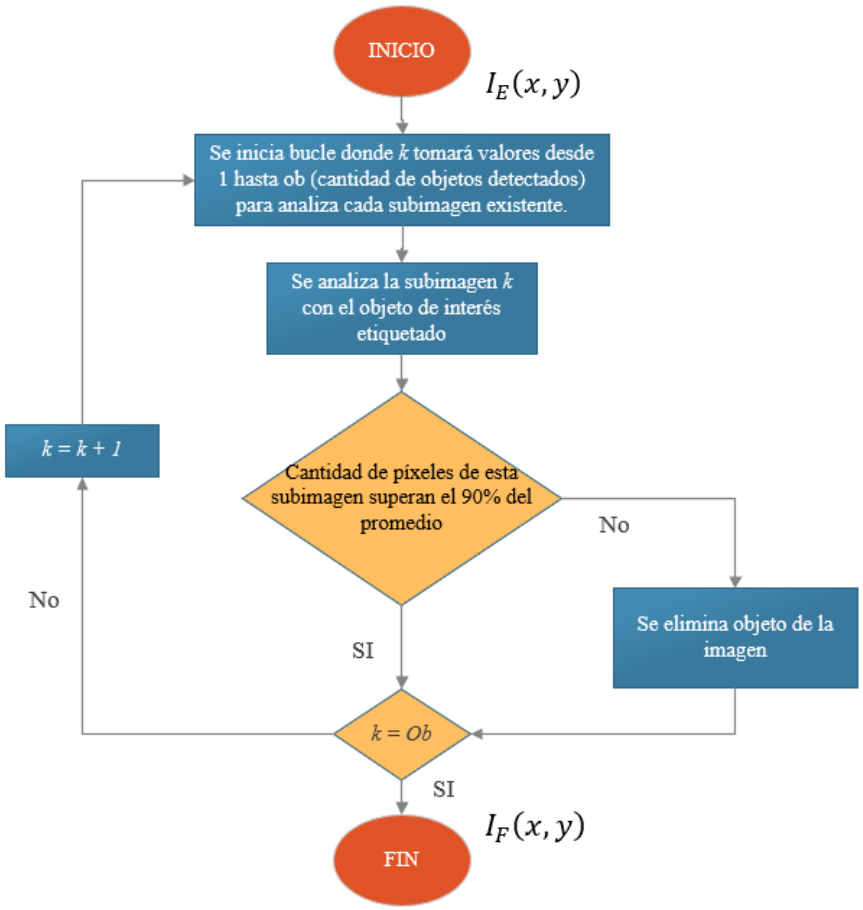


Figura 85. Flujo del proceso de eliminación de "objetos no deseados"

En primer lugar, de la matriz de etiquetas se procedió a segmentar cada objeto detectado en una subimagen $F_k(x, y)$ donde, como se menciona en el paso anterior, k toma valores en el rango de 1 hasta Ob.

Para definir si el objeto contenido en cada subimagen $F_k(x, y)$ constituye un alevin se determinó el número de píxeles T_k que conforma cada objeto etiquetado. En la Ecuación 39, se observa la operación matemática utilizada para el cálculo de T_k. Donde, M_k y N_k constituyen el número de filas y columnas que conforman la subimagen $F_k(x, y)$.

$$T_k = \sum_{x=0}^{M_k-1} \sum_{y=0}^{N_k-1} F_k(x, y)$$

Ecuación 39. Ecuación matemática utilizada para el cálculo de T_k

Posterior a ello, se determinó el tamaño promedio de píxeles $\bar{T}$ que posee un alevín en la imagen de etiquetas $I_E(x, y)$. Para ello, según las pruebas realizadas, la cantidad de píxeles que posee un objeto que representa un alevín es mucho mayor a la cantidad de píxeles que poseen los "objetos no deseados" detectados. Por lo tanto, en la Ecuación 40 se observa la operación matemática utilizada para el cálculo del tamaño promedio de píxeles $\bar{T}$.

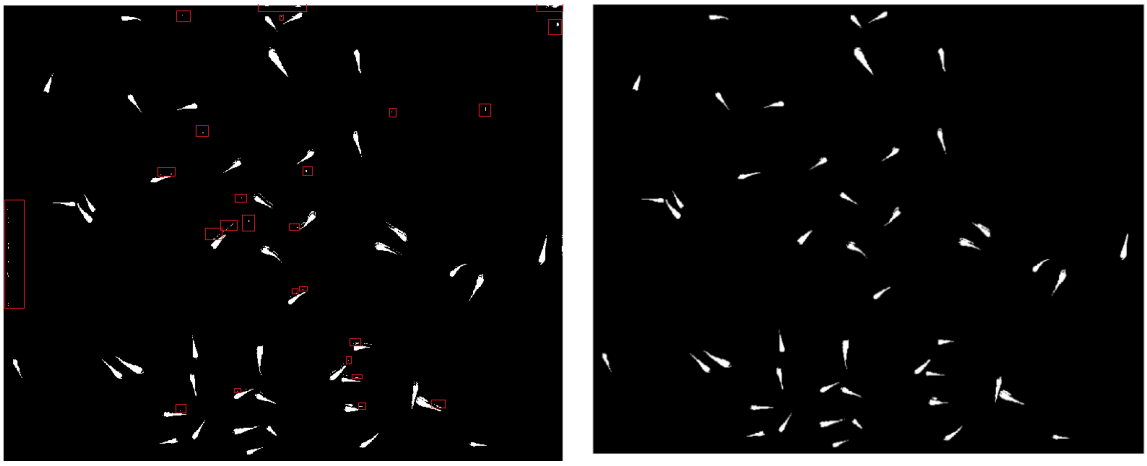
$$\bar{T} = \frac{1}{Ob} \sum_{k=1}^{Ob} T_k$$

Ecuación 40. Ecuación matemática utilizada para el cálculo del tamaño promedio de píxeles $\bar{T}$ que posee un alevín

Seguido a ello, el algoritmo para determinar si un objeto de interés es considerado alevín, el número de píxeles T_k del objeto debe ser mayor que $0.9 \times \bar{T}$. Esto, considerando que existen alevines más pequeños y, por lo tanto, con un número de píxeles T_k menor que el obtenido para el alevín promedio. Por esa razón, un objeto de interés es considerado alevín, si supera el 90% del tamaño promedio de píxeles $\bar{T}$.

Finalmente, los objetos de interés que no hayan sido considerados alevines fueron removidos de la imagen. Dando como resultante la imagen representada por la matriz $I_F(x, y)$ que se observa en la Figura 86 (b). En donde, los únicos objetos de interés existentes son los alevines de la muestra analizada. Así mismo, la Figura 86 (a) se observa la imagen representada por la matriz de etiquetas $I_E(x, y)$ (incluye los "objetos no deseados"

detectados) para poder contrastar la imagen antes y después de la aplicación del presente algoritmo.



(a) (b)

Figura 86. a) Imagen con la matriz de etiquetas $I_E(x, y)$. b) Imagen resultante $I_F(x, y)$ después de la eliminación de "objetos no deseados"

Problemas encontrados

Se tuvo problemas para poder determinar el valor adecuado del número de píxeles promedio que debe contar un alevín. Ya que existen muestras en las que un "objetos no deseados" tiene casi la misma cantidad de píxeles que los alevines más pequeños de la muestra. Por lo que, para solucionar este problema, se realizó varias pruebas con diferentes muestras de alevines. Gracias a ello, se determinó la cantidad de píxeles mínima que debe tener un objeto que representa un alevín el cual es como mínimo el 90% de los píxeles que tiene un alevín promedio en la muestra ($\bar{T}$).

4.2.7 Cálculo de la cantidad de alevines

El objetivo del presente paso es determinar nuevamente mediante el algoritmo de etiquetado la cantidad de objetos de interés (alevines) que realmente existen en la muestra analizada. Para ello, se volvió a utilizar los conceptos del Sub-Capítulo 2.2.6 (Etiquetado) para este cálculo, utilizando una máscara con "8-conectividad" la cual fue aplicada a la imagen libre de "objetos no deseados" y representada por la matriz $I_F(x, y)$. Por lo tanto, la cantidad de objetos obtenidos en este paso es la que se muestra como resultado final del proceso de conteo de alevines y por tanto, en la Interfaz gráfica.

En la Figura 87 (a) se observa la imagen $I_F(x, y)$ libre de "objetos no deseados". Asimismo, en la Figura 87 (b) se muestra la interfaz gráfica del sistema indicando dos resultados obtenidos por el algoritmo de conteo; el primero, indica el conteo de la muestra actual, mientras que el segundo, la cantidad acumulada de alevines contados. En adición, la interfaz muestra 2 imágenes. En donde, la ubicada en la parte superior derecha, pertenece a la imagen originalmente adquirida $I_{RGB}(x, y)$ y, la ubicada en parte inferior derecha, pertenece a la imagen $I_F(x, y)$ compuesta únicamente por los alevines.



(a) (b)

Figura 87. (a) Imagen resultante $I_F(x, y)$ después de la eliminación de "objetos no deseados". (b) Interfaz gráfica del sistema con los resultados del proceso de conteo de alevines.

Al finalizar el algoritmo de etiquetado de objetos aplicado a la imagen $I_F(x, y)$, se observa que la cantidad final de objetos detectados fueron 47 lo cual coincide con la cantidad de alevines existentes en la muestra analizada. Por lo que, el algoritmo de conteo del presente ejemplo tuvo una eficiencia del 100% en el resultado obtenido.

El flujo del presente paso se puede observar en la Figura 88. Este se asemeja al aplicado en el Sub-Capítulo 4.2.5 denominado "Etiquetado". Esto, debido a que se volvió a utilizar el algoritmo de etiquetado de objetos con la diferencia que ahora se muestra en la interfaz gráfica el nuevo resultado del número de objetos de la imagen. Ya que, en este paso, se tiene la certeza que los objetos detectados corresponderán únicamente a los alevines existentes en la muestra.

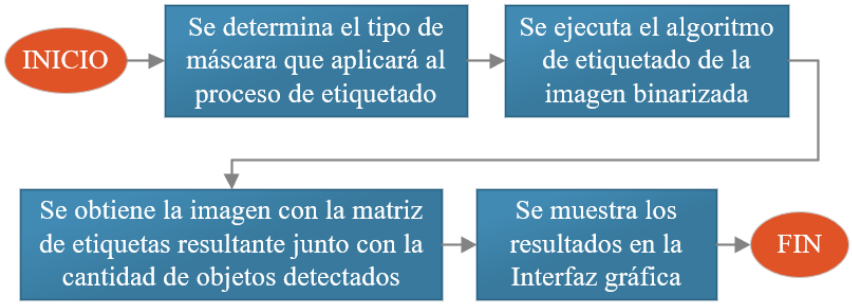


Figura 88. Flujo del conteo de alevines

Problemas encontrados

El mayor problema que se presentó en este paso es que exista un traslape de alevines en la imagen adquirida. Esto quiere decir, que dos o más alevines rozan entre sí o que se encuentran uno encima de otro al momento de adquirir la imagen. Esto, da como consecuencia que el algoritmo de etiquetado detecta a estos dos o más alevines como un solo objeto. La solución por la que se optó es mantener la cantidad de alevines por muestra en como máximo 60 de estos. Ya que así, el nivel del agua del recipiente es bajo y el traslape sucede en pocas ocasiones las cuales están consideradas en el grado de error existente al realizar el conteo de los alevines.

4.2.8 Medición de Alevines

El objetivo del presente paso es obtener las dimensiones geométricas de largo y ancho de cada alevín de tilapia detectado en el proceso de conteo y mostrar los resultados obtenidos en la interfaz gráfica elaborada. En la Figura 89 se muestra el flujo general del presente proceso de medición de los alevines detectados.

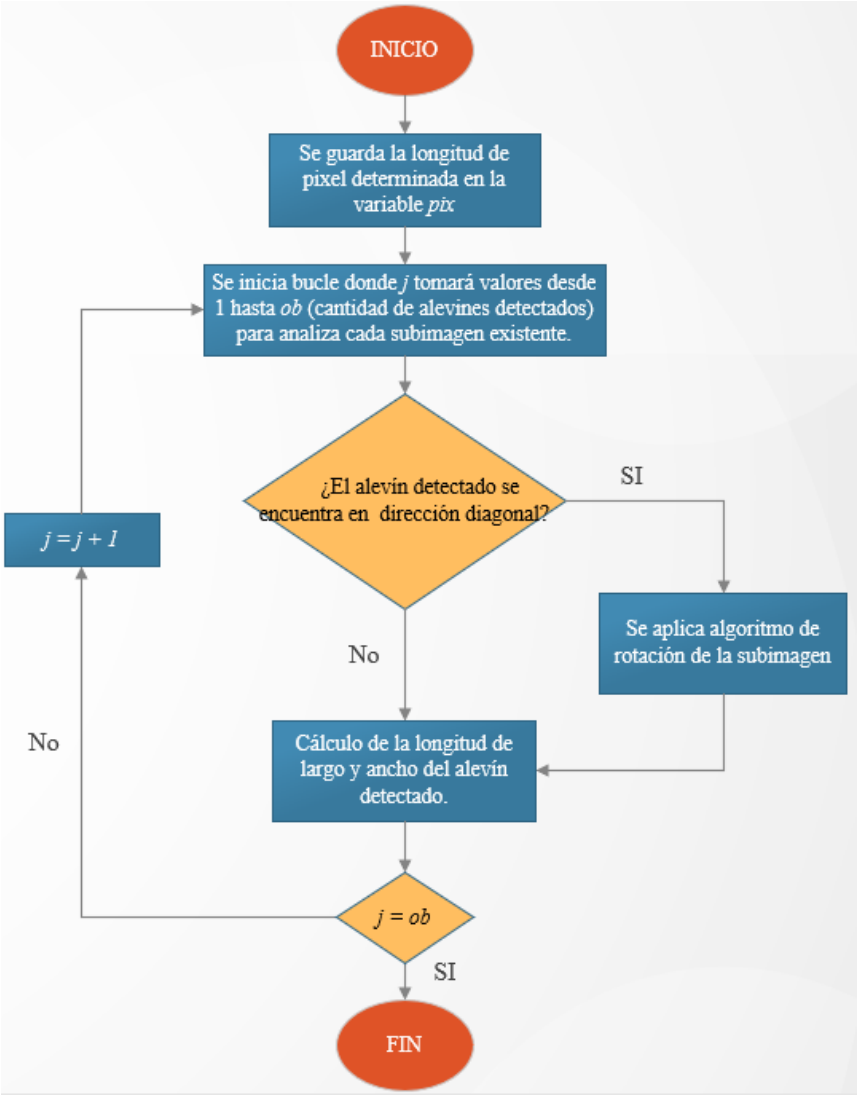


Figura 89. Flujo del proceso de medición de longitudes de largo y ancho de los alevines detectados

4.2.8.1 Cálculo de la longitud de un píxel de la imagen adquirida

Primero, fue necesario determinar la longitud en centímetros que tiene un píxel de cada imagen adquirida, con la finalidad de utilizar este valor para realizar el cálculo de las dimensiones de los alevines de la muestra. Para ello, se realizó la adquisición de una imagen de ejemplo con la cámara web ubicada en el interior del recinto. Con la diferencia, que esta vez tendrá papel milimétrico (con grado de error de 1 milímetro) en la base del recito. Este papel se usó como referencia para el cálculo aproximado en centímetros que tiene cada píxel de la imagen adquirida. En la Figura 90 se observa el ejemplo de una imagen adquirida con el papel milimétrico en la base.

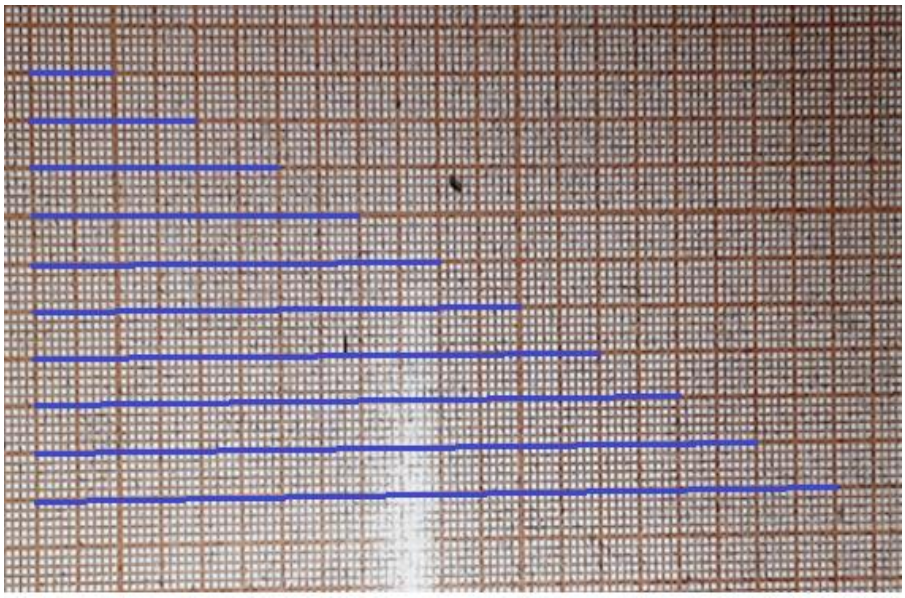


Figura 90. Imagen adquirida utilizando papel milimétrico en la base del recinto

Posterior a la adquisición de imagen, se realizó el cálculo de la cantidad de píxeles que existe en 1, 2, 3, … y 10 cm. del papel milimétrico y con ello, obtener la longitud de un solo píxel para cada una de estas medidas. Para ello, se utilizó la parte central de la imagen adquirida, ya que es donde no existe la distorsión que se produce en los bordes debido al campo visual de la cámara. Los resultados de estas mediciones se observan en la Tabla 13. En donde, para cada centímetro entre el 1 y el 10 mostrará su respectiva longitud de píxel en centímetros.

Longitud (cm)	Longitud del píxel (cm)
1	0.01645
2	0.01676
3	0.01652
4	0.01658
5	0.01663
6	0.01649
7	0.01662
8	0.01672
9	0.01641
10	0.0175
Promedio	0.016668

Tabla 13. Cálculo de la longitud promedio del píxel

Finalmente, se promedió los resultados obtenidos en cada centímetro y se obtuvo el valor final de la longitud aproximada del píxel que se usó en el algoritmo para hallar las dimensiones geométricas del alevín. Este valor es igual a 0.016668 cm el cual se representa como pix. Cabe resaltar, que este valor es constante para todas las muestras que se realiza en el proceso debido a que la cámara web siempre estará en la misma ubicación.

4.2.8.2 Rotación de imagen

Como parte del proceso de medición de las dimensiones geométricas de los alevines, se elaboró un algoritmo el cual recibe como entrada la imagen $I_F(x, y)$ obtenida en el proceso anterior. Donde, la cantidad de alevines detectados (Ob) en la muestra es de 47.

Seguido a ello, el algoritmo define a cada objeto de interés (alevín) de la imagen como nueva subimágen representada por la matriz $F_j(x, y)$ donde j toma valores entre 1 hasta Ob. Así mismo, a las dimensiones correspondientes a la subimagen $F_j(x, y)$ se les denomina M_j y N_j. Todo esto, con la finalidad de analizar cada subimagen por separado debido a que dependiendo de la dirección que se encuentre el alevín, el algoritmo toma la decisión de aplicar o no la rotación de la subimagen que lo contiene.

Para lograr esto, al momento de analizar cada subimagen $F_j(x, y)$, el algoritmo examina en cada vértice de la subimagen una región de 5x5 píxeles para evaluar si contiene píxeles con valor igual a “1” los cuales representan parte del cuerpo del alevín. Si existe al menos un píxel con el valor indicado, quiere decir que el alevín ubicado en la subimagen se encuentra en dirección diagonal. Por lo tanto, se procede a aplicar el algoritmo de rotación de la subimagen hasta que el objeto que representa al alevín se encuentre en dirección horizontal o vertical y no exista píxel con valor a “1” en la región de 5x5 píxeles examinada en cada vértice. En la Figura 91 se observa una subimagen $F_j(x, y)$ en la que el alevín se encuentra en dirección diagonal.



Figura 91. Subimagen $F_j(x, y)$ que contiene un alevín en dirección diagonal

Para realizar la rotación del alevín, se determinó el ángulo de inclinación de este dentro de la subimagen $F_j(x, y)$. Esto, es obtenido mediante las expresiones matemáticas descritas en la Ecuación 41 y Ecuación 42 cuyo uso depende de las dimensiones de la subimagen.

$$\alpha_j = \arctan\left(\frac{N_j}{M_j}\right) \quad para\ N_j > M_j$$

Ecuación 41. Ecuación del ángulo de inclinación cuando N_j es mayor que M_j

$$\alpha_j = \arctan\left(\frac{M_j}{N_j}\right) \quad para\ M_j > N_j$$

Ecuación 42. Ecuación del ángulo de inclinación cuando M_j es mayor que N_j

Posterior al cálculo del ángulo de inclinación del alevín, se rotó la subimagen $F_j(x, y)$ el número de grados indicado por α_j. Para ello, se utilizó los conceptos del Sub-Capítulo 2.2.7 (Rotación de Imagen) remplazando los valores de la Ecuación 28 cuando se realizó la rotación con respecto al eje de las abscisas ($N_j > M_j$) y la Ecuación 29 cuando se realizó el giro con respecto al eje de las ordenadas ($M_j > N_j$).

A continuación, se muestra el proceso aplicado a cada píxel de la subimagen $F_j(x, y)$ cuando se realizó la rotación con respecto al eje de las abscisas, situación que se presenta cuando $N_j > M_j$. Asimismo, x_f y y_f representan las coordenadas finales de cada píxel de la nueva subimagen $F_j(x_f, y_f)$.

$$\begin{bmatrix} x_f \\ y_f \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

De igual forma, se muestra el proceso aplicado a cada píxel de la subimagen $F_j(x, y)$ cuando se realizó la rotación con respecto al eje de las ordenadas, situación que se presenta cuando $M_j > N_j$. Asimismo, x_f y y_f representan las coordenadas finales de cada píxel de la nueva subimagen $F_j(x_f, y_f)$.

$$\begin{bmatrix} x_f \\ y_f \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Finalmente, se recalculó los valores de M_j y N_j, siendo estos reemplazados por los nuevos valores de M_j y N_j obtenidos después de la rotación. En la Figura 92 se muestra el resultado de la rotación de la subimagen $F_j(x, y)$ mostrada en la Figura 91.

Posterior a la rotación del alevín, este puede quedar en dirección horizontal o vertical. Ya que ambas permiten la correcta medición de este.



Figura 92. Subimagen $F_j(x, y)$ rotada α_j grados hasta quedar en dirección horizontal

4.2.8.3 Cálculo de las dimensiones del alevín

El cálculo de las dimensiones de los alevines de la muestra analizada se realizó posterior a al proceso de rotación de la subimagen $F_j(x, y)$ o también, de manera directa en caso el alevín se haya encontrado inicialmente en dirección horizontal o vertical.

Entonces, para el cálculo de los valores de las dimensiones física de largo (l_j) y ancho (w_j) de cada alevín, se utilizó las siguientes expresiones matemáticas:

Cuando N_j es mayor que M_j se utilizó la Ecuación 43 para calcular el largo l_j y la Ecuación 44 para calcular el ancho w_j.

$$l_j = N_j \times pix \quad (cm)$$

Ecuación 43. Expresión para determinar el largo l_j del alevín

$$w_j = M_j \times pix \quad (cm)$$

Ecuación 44. Expresión para determinar el ancho w_j del alevín

Cuando M_j es mayor que N_j se utilizó la Ecuación 45 para calcular el largo l_j y la Ecuación 46 para calcular el ancho w_j.

$$l_j = M_j \times pix \quad (cm)$$

Ecuación 45. Expresión para determinar el largo l_j del alevín

$$w_j = N_j \times pix \quad (cm)$$

Ecuación 46. Expresión para determinar el ancho w_j del alevín

Finalmente, para concluir el algoritmo del cálculo de las dimensiones de largo y ancho de los alevines existentes en cada subimagen $F_j(x, y)$ analizada, el algoritmo mostró los resultados obtenidos de cada alevín en la interfaz gráfica desarrollada. Así mismo, la interfaz gráfica mostró el cálculo de la longitud promedio del largo de todos los alevines medidos hasta el momento. Un ejemplo de ello se aprecia en la Figura 93, en donde, los resultados mostrados corresponden a la imagen analizada con la muestra de 47 alevines.

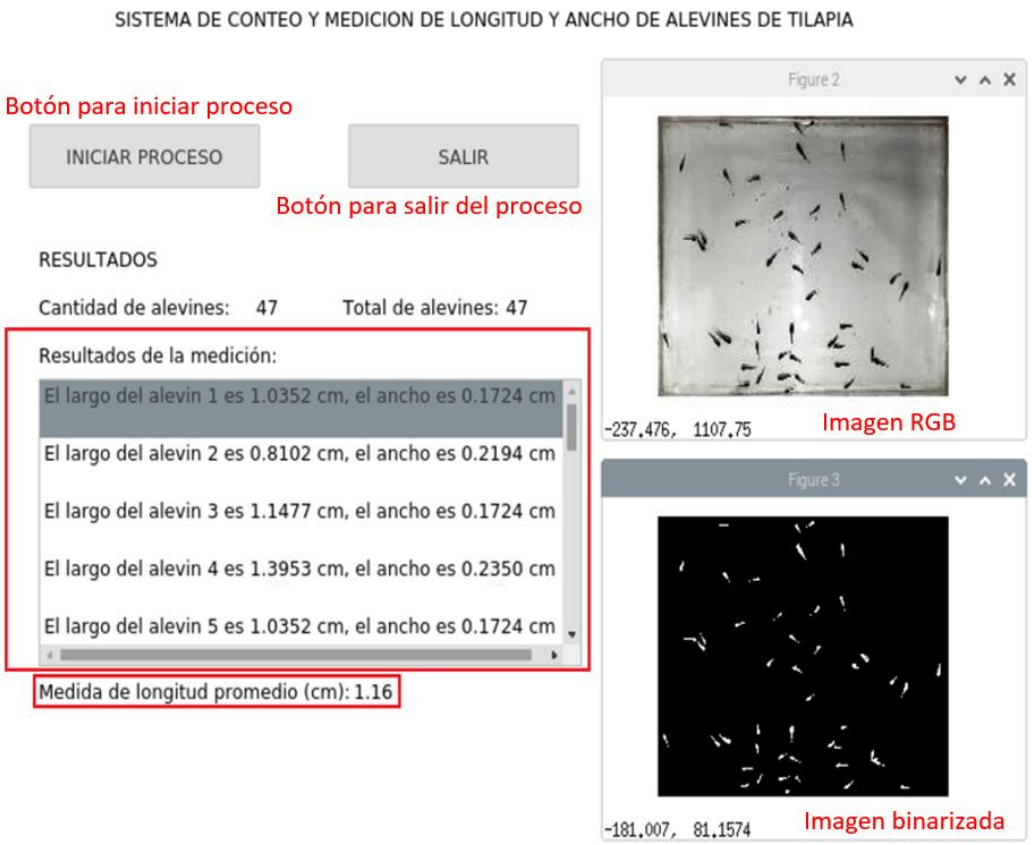


Figura 93. Interfaz gráfica con los resultados obtenidos del proceso de medición de las dimensiones geométricas de largo y ancho de los alevines

Problemas encontrados

El mayor problema encontrado en el presente paso fue cuando se analizó cada subimágen con los alevines de la muestra. Ya que cuando el alevín se encuentra en dirección diagonal, se podía calcular el largo de este ya que su equivalencia era la hipotenusa existente en la imagen. Sin embargo, el ancho del alevín al no tener contacto con los bordes de la subimágen no podía ser calculado con la presente técnica. Por consiguiente, la solución aplicada fue la ejecución de un algoritmo de rotación de la subimágen para lo cual se utilizó librerías del mismo GNU Octave.

4.3 Interfaz gráfica

El contar con una interfaz gráfica para manipular las funcionalidades del sistema, así como la visualización de los resultados obtenidos, es de suma importancia para una relación amigable entre el usuario y el sistema propuesto. A esto se suma, la gran cantidad de resultados numéricos obtenidos en todo el proceso, los cuales deben ser mostrados de manera

ordenada y amigable para su entendimiento. Por todo lo mencionado, se diseñó una interfaz gráfica para cumplir los requisitos del sistema propuesto mediante la cual se podrá:

- Iniciar el proceso.
- Salir del proceso.
- Visualización de resultados.

Para ello, se utilizó el software GNU Octave debido a que es libre de licencia para su ejecución en un sistema operativo Linux el cual es soportado por el Raspberry pi 3. Así mismo, el software Octave cuenta con librerías para el desarrollo de una interfaz gráfica, así como para el procesamiento de imágenes. Adicional a ello, gracias a la carrera de ingeniería electrónica en UPC, se tiene conocimiento del lenguaje aplicado en el software Octave ya que fue aprendido el curso de Programación de software. Por todo lo mencionado, se utilizó esta herramienta para el desarrollo del software del sistema propuesto siendo este iniciado mediante un Ejecutable en el escritorio del sistema operativo.

En la Figura 94 se observa el flujo desarrollado para la ejecución de los comandos que inician la correcta visualización de la interfaz gráfica del sistema. Donde, el orden de ejecución es el siguiente:

- **Ejecución del software GNU Octave.** Se desarrolló un ejecutable ubicado en el escritorio del sistema operativo, mediante el cual se inicia el software GNU Octave en segundo plano con el objetivo de ejecutar únicamente el archivo que contiene el algoritmo del sistema.
- **Ejecución de comandos de creación de la interfaz gráfica.** Posterior al inicio del software GNU Octave, el ejecutable procede a abrir el archivo que contiene el algoritmo del sistema el cual, como primer paso, ejecuta los comandos que inician la interfaz gráfica con todos los controles y componentes programados. Dando como resultado la interfaz gráfica visualizada en la Figura 95, en donde el software estará a la espera que el operador inicie el proceso o se cierre el aplicativo. Mientras que en la Figura 96 se muestra la interfaz con los resultados obtenidos después de la ejecución del proceso.
- **Ejecución de algoritmo para el traspaso de una muestra de alevines y posterior cálculo de cantidad y dimensiones.** Al seleccionar el botón de “INICIAR

PROCESO", el algoritmo ejecutará el algoritmo para el traspaso de alevines y posterior cálculo de la cantidad y las dimensiones de estos.

- **Cerrar Interfaz gráfica.** Al seleccionar el botón "SALIR", se finaliza el algoritmo y se cierra la interfaz gráfica.

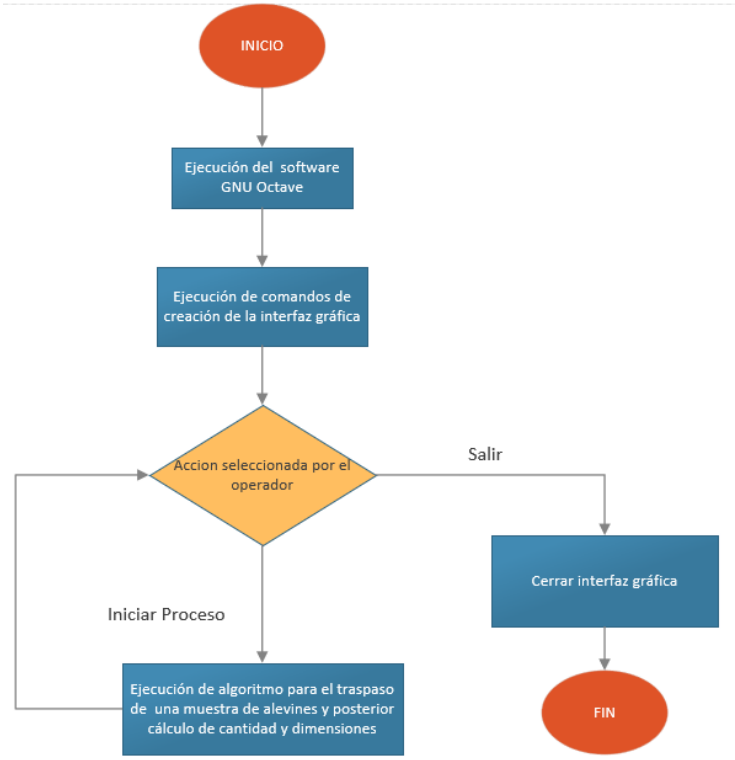


Figura 94. Flujo de ejecución de la interfaz gráfica

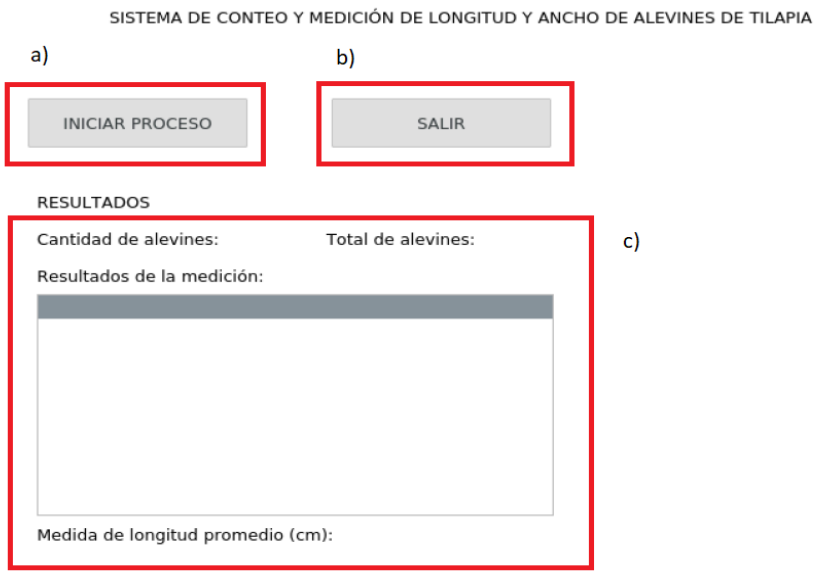


Figura 95. Interfaz gráfica inicial del sistema a la espera de acción del operador. a) Botón “INICIAR PROCESO” cuya función es arrancar el sistema. (b) Botón “SALIR" cuya función es finalizar el algoritmo y posterior cierre de la interfaz. (c) Sección donde se visualizarán los resultados

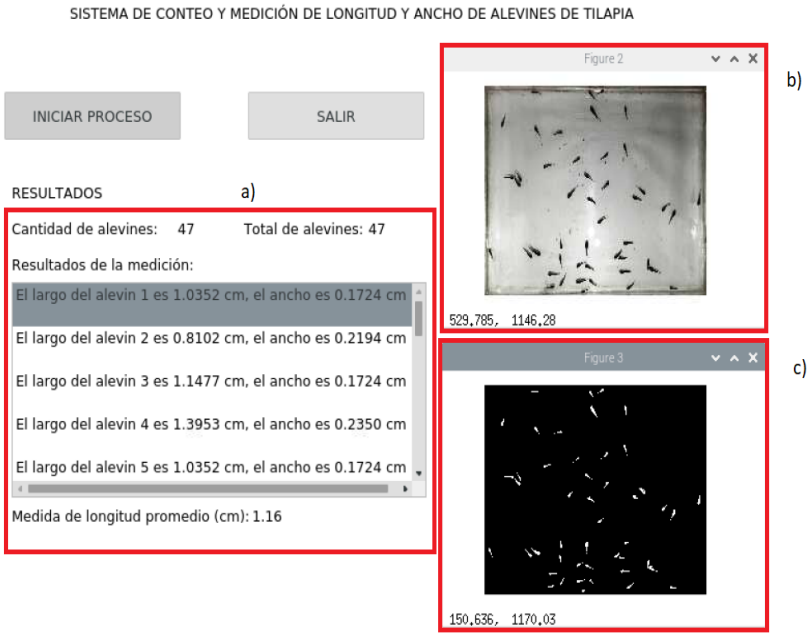


Figura 96. Interfaz gráfica final del sistema (con resultados). (a) Sección con los resultados obtenidos. (b) Imagen RGB. (c) Imagen binarizada

4.4 Software GNU Octave

Para el presente proyecto, se utilizó el software GNU Octave para el desarrollo de los algoritmos de conteo, medición e interfaz gráfica. Es por ello que a continuación se explicará un poco del software mencionado. GNU Octave es un lenguaje de alto nivel diseñado para ser utilizado en la mayoría de los sistemas operativos debido a sus bajos requisitos a nivel de hardware para su instalación. Así mismo, es un lenguaje libre por lo cual, no es necesario contar con licencias su uso.

Este software, está diseñado para realizar principalmente cálculos numéricos. Cuenta también con herramientas y funciones para proporcionar capacidades gráficas para la visualización y manipulación de datos. En la Figura 97 se observa la imagen mostrada en la página oficial de GNU en la que se muestra la ejecución de códigos mediante el software GNU Octave, así como la manipulación de gráficas mediante los mismos.

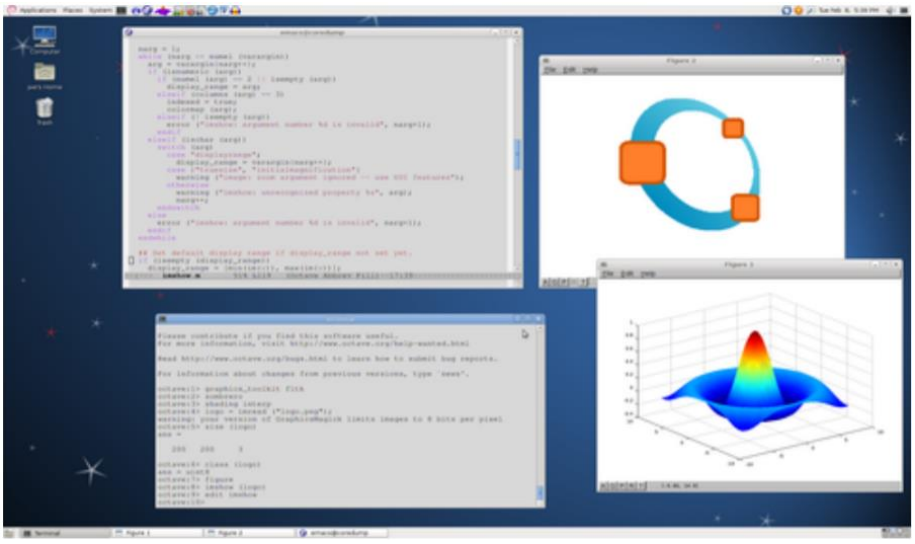


Figura 97. Imagen de ejecución de códigos y gráficas mediante el software GNU Octave[93]

Octave se utiliza mediante una interfaz de línea de comandos interactiva pero también se puede utilizar para escribir programas no interactivos. Así mismo, este lenguaje es muy parecido al lenguaje utilizado por el software Matlab. Por consiguiente, muchas funciones de procesamiento de imágenes son similares en ambos aplicativos.[94]

[93] GNU Octave (2012). 1-2. de https://www.gnu.org/software/octave/index.html.
[94] GNU Octave (2012). 1-2, de https://www.gnu.org/software/octave/index.html

Comentarios finales del capítulo

De lo expuesto en el presenta capitulo, se resalta los siguientes comentarios:

- La interfaz gráfica desarrollada facilita la intervención del operador para el inicio y término del proceso. Así mismo, los resultados obtenidos son mostrados de manera ordenada y coherente en la sección de resultados.
- El poder ejecutar un archivo Python mediante el software GNU Octave fue de gran ayuda ya que permite ejecutar el algoritmo de control del sistema desarrollado en un archivo con formato .py (Python) y también, el procesamiento de imágenes desarrollado con el lenguaje que utiliza el software GNU Octave. Todo esto, por medio del Raspberry pi 3.
- El contar con una imagen adquirida con los parámetros más adecuados para la correcta ejecución del algoritmo de procesamiento de imágenes, es crucial para obtener los resultados deseados.
- La conversión al modelo de color HSI ayuda a trabajar únicamente con una sola matriz de imagen la cual es la componente de Intensidad $I_I(x, y)$. Así mismo, la conversión ayuda a tener una imagen resultante en la cual se resalta el contraste existente entre el color del alevín y el color del fondo de la imagen.
- Utilizar el histograma como herramienta para el cálculo del umbral de cada imagen adquirida, ayudó a disminuir el grado de error que existía en cada muestra. Esto, debido a que el umbral calculado es el más adecuado para el procesamiento ya que se obtiene en base a las características de cada imagen adquirida.
- El contar con una imagen binarizada ayuda al algoritmo a enfocarse únicamente en el procesamiento de los objetos detectados. Eliminando así, el resto de información de la imagen la cual no es útil para el algoritmo.

5 CAPÍTULO 5 PRUEBAS, RESULTADOS DE VALIDACIÓN E INFORME ECONÓMICO FINAL

Para validar el funcionamiento del presente sistema, es necesario realizar la validación a 3 subprocesos importantes como se observa en la Figura 98.

Estos subprocesos tienen una cadena de dependencia donde, el primer subproceso "Traslado de una muestra de alevines" debe posicionar una muestra de cómo máximo de 60 alevines en el recipiente del segundo nivel. Para que, el segundo subproceso "Conteo de alevines" obtenga una eficiencia de ≥ 98 %, con el propósito que esta eficiencia permita que el tercer subproceso "Medición de largo y ancho de alevines" alcance una eficiencia de ≥ 90 %, cumpliendo así con el objetivo general.

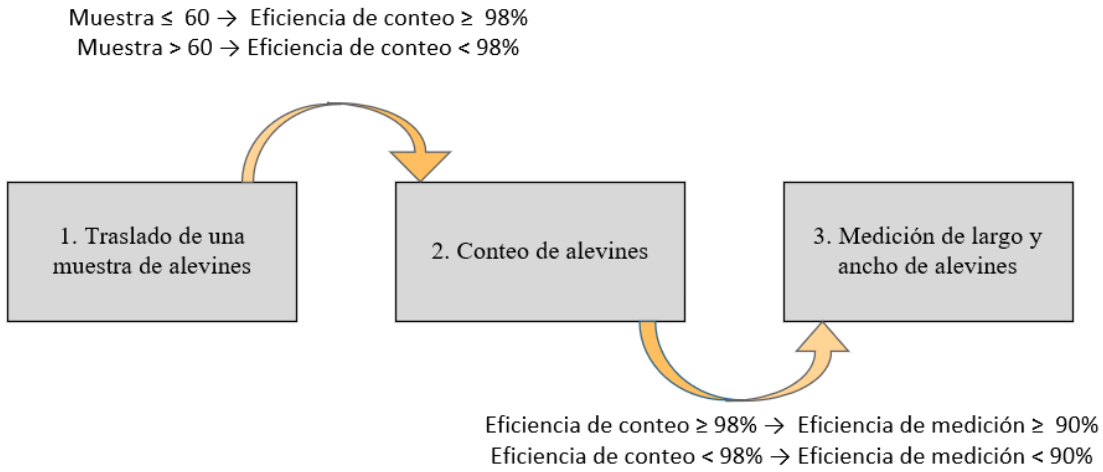


Figura 98. Orden de los subprocesos del sistema propuesto.

5.1 Validación del traslado y posicionamiento de las muestras de alevines de tilapia.

Como se explicó en los capítulos anteriores, el sistema cuenta con un mecanismo de traslado y posicionamiento de las muestras de alevines de tilapia desde la pecera superior en la que se encuentra la población total que será analizada, hacia la pecera inferior ubicada en el interior del recinto de adquisición de imágenes.

Este mecanismo es dirigido por el circuito de control explicado en el capítulo 3. Este circuito, funciona en base a las órdenes descritas por el algoritmo desarrollado en lenguaje Python y ejecutado por el Raspberry pi. En la Figura 99 se observa la pecera superior del sistema, mientras que en la Figura 100, se observa la pecera inferior ubicada dentro del recinto. Ambas figuras muestran una simulación 3D del sistema propuesto.

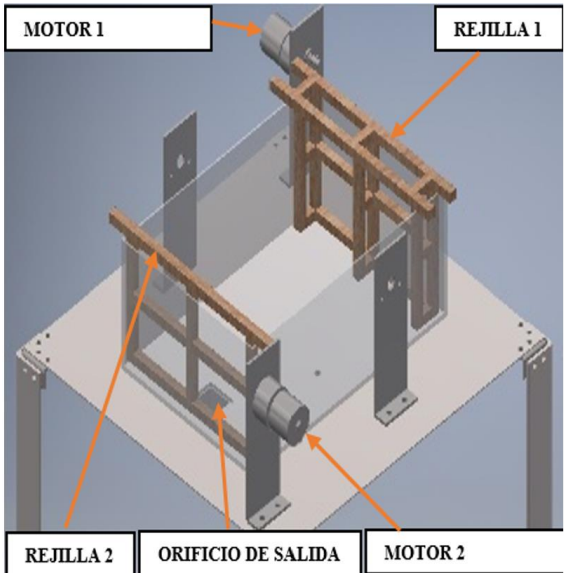


Figura 99. Pecera superior del sistema donde se ingresa la población total de alevines a ser analizados

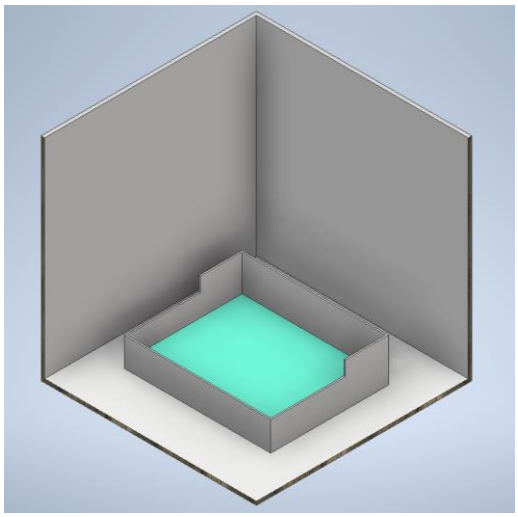


Figura 100. Pecera inferior del sistema donde se traslada la muestra de alevines para la adquisición de imágenes

Referencia de validación

Para la validación del correcto traslado y posicionamiento de los alevines de tilapia se conoce que la cantidad máxima que podría existir en la pecera inferior está condicionada por dos factores importantes: el volumen de agua traspasado y las dimensiones del recipiente inferior. Estos dos factores son los que determinan la cantidad de alevines que pueden ocupar el recipiente minimizando el traslape entre ellos, ni exponerlos a un estrés por ausencia de agua. Por lo tanto, aplicando los conocimientos compartidos por los ingenieros del CINPIS

y su posterior aprobación, el recipiente del segundo nivel debería alojar un máximo de 60 alevines por muestra.

Proceso de validación

Para esta validación, se realizó el traspaso de 2000 alevines en muestras de cuya cantidad debe encontrarse como máximo en 60 alevines. En la Figura 101 se muestra la pecera superior la cual alberga la población de 2000 alevines de tilapia. Mientras que en la Figura 102, se observa la imagen adquirida en la pecera inferior con la muestra de alevines posterior al proceso de traslado y posicionamiento de esta.



Figura 101. Pecera superior con 2000 alevines de tilapia



Figura 102. Imagen adquirida de una muestra de alevines en la pecera inferior

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos en la presente validación del traslado y posicionamiento de los alevines. Para ello, en la Tabla 14 se detallará estos resultados de cantidad de alevines por muestra que fueron trasladados desde la pecera superior hacia la pecera inferior del sistema.

La eficiencia del presente paso se mide mediante la cantidad de alevines en cada muestra trasladada. Donde, cada una de las muestras debe encontrarse como máximo 60 alevines para lograr una eficiencia del 100% en el traslado de esta, así como se observa en la Ecuación 47, donde AT_{mu} es la cantidad de alevines trasladados al recipiente inferior para cada muestra mu y ET_{mu} se define como la eficiencia de cada muestra.

$$ET_{mu} = \begin{cases} 100\ \%, & 0 \leq AT_{mu} \leq 60 \\ 0\ \%, & AT_{mu} > 60 \end{cases}$$

Ecuación 47. Eficiencia de cada muestra trasladada de alevines.

Para el correcto cálculo de la cantidad de alevines y sus dimensiones, es de suma importancia que los alevines trasladados se encuentren en el rango mencionado. Por consiguiente, el traslado debe contar con una eficiencia del 100% para cumplir con los objetivos planteados en la presente tesis.

Este mismo proceso de traslado de una población de 2000 alevines de tilapia, se realizó con otras 20 poblaciones de la misma especie cuyas cantidades se encontraron en el rango de entre 800 y 3000 alevines. Los resultados de estas pruebas se visualizan en la Tabla 15 donde en la columna izquierda se observa la cantidad de alevines de la población analizada, mientras en la columna derecha se observa la eficiencia promedio de todas las muestras trasladadas. Donde, para el cálculo de esta eficiencia, se utilizó la Ecuación 48 que representa la eficiencia promedio de traslado de toda la población GT, para ello se aplica una sumatoria de la eficiencia de cada muestra de traslado ET_{mu}, para luego ser divido por la cantidad de muestras trasladadas mu.

$$GT = \sum \frac{ET_{mu}}{mu}$$

Ecuación 48. Eficiencia promedio de toda la población

CANTIDAD DE ALEVINES TRASLADADOS	EFICIENCIA DEL TRASLADO	CANTIDAD DE ALEVINES TRASLADADOS	EFICIENCIA DEL TRASLADO
50	100.00%	42	100.00%
60	100.00%	43	100.00%
55	100.00%	44	100.00%
59	100.00%	45	100.00%
54	100.00%	43	100.00%
57	100.00%	45	100.00%
55	100.00%	38	100.00%
56	100.00%	43	100.00%
55	100.00%	29	100.00%
57	100.00%	36	100.00%
54	100.00%	40	100.00%
58	100.00%	20	100.00%
56	100.00%	29	100.00%
57	100.00%	23	100.00%
56	100.00%	27	100.00%
55	100.00%	26	100.00%
59	100.00%	35	100.00%
41	100.00%	33	100.00%
49	100.00%	27	100.00%
46	100.00%	21	100.00%
43	100.00%	15	100.00%
44	100.00%	10	100.00%
50	100.00%	6	100.00%
50	100.00%	4	100.00%
Total		2000	

Tabla 14. Resultados de las muestras trasladadas correspondientes a la población de 2000 alevines

CANTIDAD DE ALEVINES POR POBLACIÓN	EFICIENCIA PROMEDIO DE TRASLADO DE LA POBLACIÓN	CANTIDAD DE ALEVINES POR POBLACIÓN	EFICIENCIA PROMEDIO DE TRASLADO DE LA POBLACIÓN
1100	100%	1400	100%
1200	100%	800	100%
1100	100%	3000	100%
1200	100%	1600	100%
1000	100%	1800	100%
1300	100%	1200	100%
900	100%	1900	100%
1400	100%	1700	100%
900	100%	2000	100%
1000	100%	1500	100%

Tabla 15. Resultados del traslado de 20 poblaciones de alevines

5.2 Validación del cálculo de la cantidad de alevines de tilapia.

La presente validación determinará la eficiencia que tiene el algoritmo del sistema propuesto al realizar el cálculo de la cantidad de alevines de tilapia existentes en cada muestra trasladada mu como se observa en la Figura 103. Para ello, se captura una imagen que se envía al Raspberry Pi para que, aplicando un procesamiento de imágenes y fórmulas matemáticas, determine el número de alevines en este recipiente.



Figura 103. Ejemplo de muestra de alevines trasladada a la pecera inferior.

Referencia de validación

Se solicitó la colaboración de los operarios e ingenieros del CINPIS para realizar un conteo manual de manera exhaustiva sin presiones comerciales ni límite de tiempo con la intención de determinar la cantidad real de las poblaciones de alevines. Además, apoyaron para contabilizar el número real de alevines que se trasladaron al segundo recipiente. Por ello, estas cantidades reales calculadas por los expertos serán comparadas con los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo de conteo propuesto a estas poblaciones, para así validar la eficiencia de este algoritmo la cual, según los objetivos propuestos, debe de estar en no menor a 98 %.

La variable que será utilizada para validar la solución propuesta será la eficiencia $\%CE$. Esto a causa de que el CINPIS ha estado empleando esta fórmula para calcular la eficiencia de su procedimiento de conteo manual, así se podrá brindar una mejor comparación entre ambos y evidenciar que definitivamente se ha conseguido aumentar la eficiencia.

Proceso de validación

Para determinar la eficiencia se utilizó una cantidad total de 1000 alevines de tilapia, dividido en 26 muestras las cuales contuvieron como máximo 60 alevines de tilapia. En donde, los resultados obtenidos por el algoritmo de conteo de cada muestra serán utilizados en la Ecuación 49. Con ello, se determina el porcentaje de eficiencia $\%CE$ del proceso de conteo de cada muestra. Siendo los significados a las nomenclaturas: Nc, Número de alevines calculados en la muestra y Ne, Número real de alevines en la muestra (este cálculo es realizado de forma manual por los expertos).

$$\%CE = \left(1 - \left|\frac{Ne - Nc}{Ne}\right|\right) \times 100\%$$

Ecuación 49. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de conteo de alevines de tilapia.

Con todo lo explicado líneas arriba, a continuación, se detallará los resultados obtenidos después de aplicar el algoritmo de conteo a 5 de las 26 muestras que fueron analizadas. Posterior a ello, se detallará en la Tabla 16 la eficiencia y el grado de error obtenido por el algoritmo al ser aplicado a las 26 muestras de alevines.

Muestra 1

La presente muestra por analizar contiene una cantidad de 30 alevines como se observa en la Figura 104, la cual es la imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes y a la que se le aplicará el algoritmo de conteo a validar.



Figura 104. Imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes de una muestra de 30 alevines de tilapia

Los resultados obtenidos se observan en la interfaz gráfica del sistema la cual se encuentra en la Figura 105, donde, en la parte superior derecha muestra la imagen de la Figura 104, mientras que en la parte inferior derecha se muestra la imagen binarizada con los alevines detectados. El resultado del algoritmo de conteo se visualiza en el campo “Cantidad de alevines”, el cual muestra la cantidad de 30 alevines.



Figura 105. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos del procesamiento de la muestra de 30 alevines

En la Ecuación 50 se procederá a calcular la eficiencia comparando la cantidad real de alevines y la cantidad que otorga como respuesta el algoritmo. Para ello, se reemplaza los valores de la Ecuación 49. Para este ejemplo, el resultado de la eficiencia obtenida en el cálculo de la presente muestra de 30 alevines fue de 100%. Por consiguiente, el grado de error del algoritmo en la presente muestra es de 0%.

$$\%CE_1 = \left(1 - \left|\frac{Ne_1 - Nc_1}{Ne_1}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{30 - 30}{30}\right|\right) \times 100\% = 100\%$$

Ecuación 50. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de conteo de la muestra de 30 alevines de tilapia

Muestra 2

La presente muestra por analizar contiene una cantidad de 36 alevines como se observa en la Figura 106, la cual es la imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes y a la que se le aplicará el algoritmo de conteo a validar.



Figura 106. Imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes de una muestra de 36 alevines de tilapia

Los resultados obtenidos se observan en la interfaz gráfica del sistema la cual se encuentra en la Figura 107. En donde, en la parte superior derecha muestra la imagen de la Figura 106, mientras que en la parte inferior derecha se muestra la imagen binarizada con los alevines detectados. El resultado del algoritmo de conteo se visualiza en el campo “Cantidad de alevines”, el cual muestra la cantidad de 36 alevines.



Figura 107. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos del procesamiento de la muestra de 36 alevines

En la Ecuación 51 se procederá a calcular la eficiencia comparando la cantidad real de alevines y la cantidad que otorga como respuesta el algoritmo. Para ello, se reemplaza los valores de la Ecuación 49. Para este ejemplo, el resultado de la eficiencia obtenido en el cálculo de la presente muestra de 36 alevines fue de 100%. Por consiguiente, el grado de error del algoritmo en la presente muestra es del 0%.

$$\%CE_2 = \left(1 - \left|\frac{Ne_2 - Nc_2}{Ne_2}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{36 - 36}{36}\right|\right) \times 100\% = 100\%$$

Ecuación 51. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de conteo de la muestra de 36 alevines de tilapia

Muestra 3

La presente muestra por analizar contiene una cantidad de 42 alevines como se observa en la Figura 108 ,la cual es la imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes y a la que se le aplicará el algoritmo de conteo a validar.

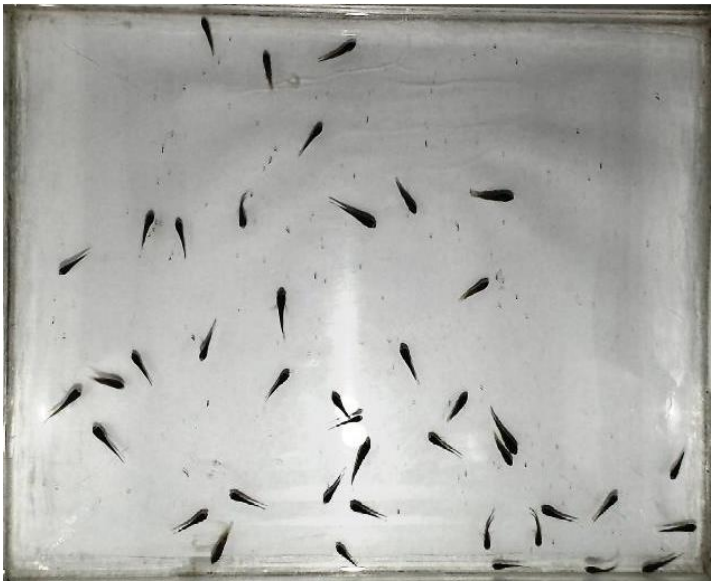


Figura 108. Imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes de una muestra de 42 alevines de tilapia

Los resultados obtenidos se observan en la interfaz gráfica del sistema la cual se encuentra en la Figura 109, donde, en la parte superior derecha muestra la imagen de la Figura 108, mientras que en la parte inferior derecha se muestra la imagen binarizada con los alevines detectados. El resultado del algoritmo de conteo se visualiza en el campo “Cantidad de alevines”, el cual muestra la cantidad de 42 alevines.



Figura 109. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos del procesamiento de la muestra de 42 alevines

En la Ecuación 52 se procederá a calcular la eficiencia comparando la cantidad real de alevines y la cantidad que otorga como respuesta el algoritmo. Para ello, se reemplaza los valores de la Ecuación 49. Para este ejemplo, el resultado de la eficiencia obtenida en el cálculo de la presente muestra de 42 alevines fue de 100%. Por consiguiente, el grado de error del algoritmo en la presente muestra es del 0%.

$$\%CE_3 = \left(1 - \left|\frac{Ne_3 - Nc_3}{Ne_3}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{42 - 42}{42}\right|\right) \times 100\% = 100\%$$

Ecuación 52. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de conteo de la muestra de 42 alevines de tilapia

Muestra 4

La presente muestra por analizar contiene una cantidad de 47 alevines como se observa en la Figura 110, la cual es la imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes y a la que se le aplicará el algoritmo de conteo a validar.



Figura 110. Imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes de una muestra de 47 alevines de tilapia

Los resultados obtenidos se observan en la interfaz gráfica del sistema la cual se encuentra en la Figura 111, donde, en la parte superior derecha muestra la imagen de la Figura 110, mientras que en la parte inferior derecha se muestra la imagen binarizada con los alevines detectados. El resultado del algoritmo de conteo se visualiza en el campo “Cantidad de alevines”, el cual muestra la cantidad de 47 alevines.



Figura 111. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos del procesamiento de la muestra de 47 alevines

En la Ecuación 53 se procederá a calcular la eficiencia comparando la cantidad real de alevines y la cantidad que otorga como respuesta el algoritmo. Para ello, se reemplaza los valores de la Ecuación 49. Para este ejemplo, el resultado de eficiencia obtenida en el cálculo de la presente muestra de 47 alevines fue de 100%. Por consiguiente, el grado de error del algoritmo en la presente muestra es del 0%.

$$\%CE_4 = \left(1 - \left|\frac{Ne_4 - Nc_4}{Ne_4}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{47 - 47}{47}\right|\right) \times 100\% = 100\%$$

Ecuación 53. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de conteo de la muestra de 47 alevines de tilapia

Muestra 5

La presente muestra por analizar contiene una cantidad de 52 alevines como se observa en la Figura 112, la cual es la imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes y a la que se le aplicará el algoritmo de conteo a validar.

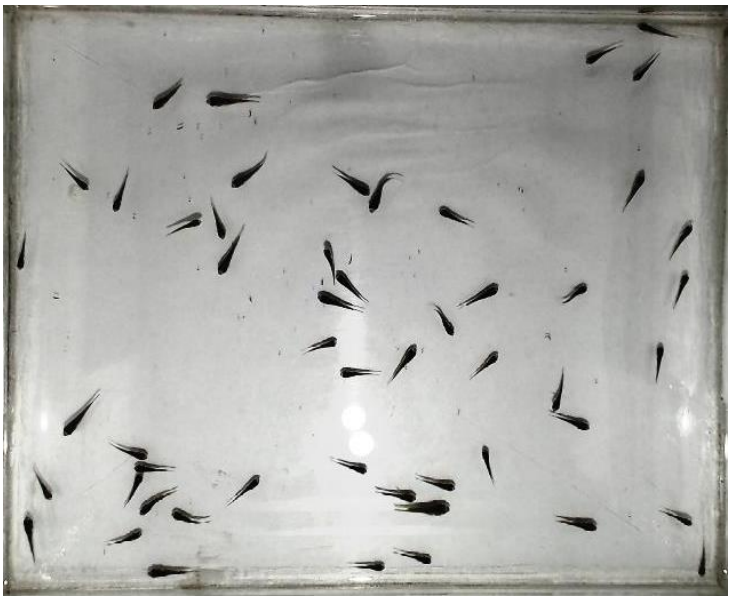


Figura 112. Imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes de una muestra de 52 alevines de tilapia

Los resultados obtenidos se observan en la interfaz gráfica del sistema la cual se encuentra en la Figura 113, donde, en la parte superior derecha muestra la imagen de la Figura 112, mientras que en la parte inferior derecha se muestra la imagen binarizada con los alevines detectados. El resultado del algoritmo de conteo se visualiza en el campo “Cantidad de alevines”, el cual muestra la cantidad de 52 alevines.



Figura 113. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos del procesamiento de la muestra de 52 alevines

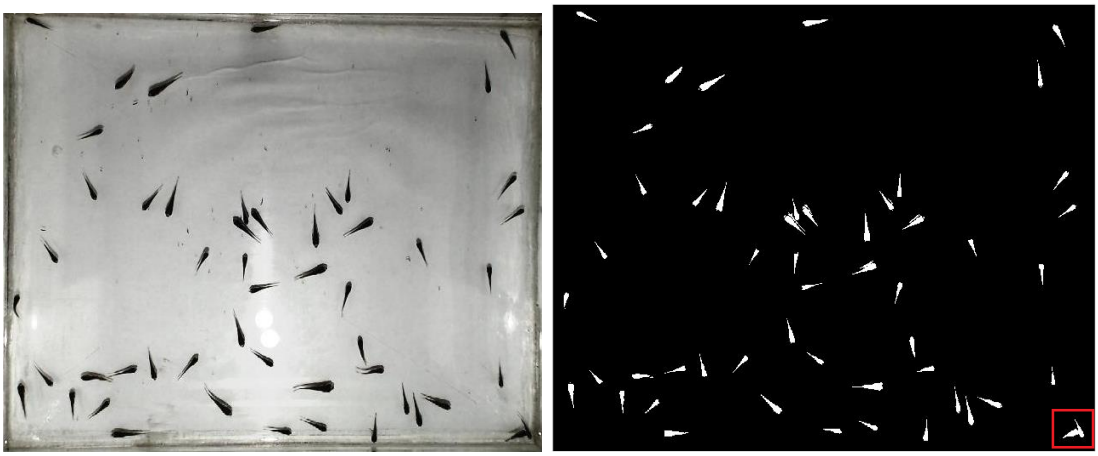
En la Ecuación 54 se procederá a calcular la eficiencia comparando la cantidad real de alevines y la cantidad que otorga como respuesta el algoritmo. Para ello, se reemplaza los valores de la Ecuación 49. Para este ejemplo, el resultado de la eficiencia obtenida en el cálculo de la presente muestra de 52 alevines fue de 100%. Por consiguiente, el grado de error del algoritmo en la presente muestra es del 0%

$$\%CE_5 = \left(1 - \left|\frac{Ne_5 - Nc_5}{Ne_5}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{52 - 52}{52}\right|\right) \times 100\% = 100\%$$

Ecuación 54. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de conteo de la muestra de 52 alevines de tilapia

Ejemplo de grado de error del algoritmo.

Para el presente caso se utilizó la misma muestra utilizada en el ejemplo anterior la cual contiene una cantidad de 52 alevines. Sin embargo, se realizó una nueva adquisición de imagen de esta muestra la cual se observa en la imagen (a) de la Figura 114. Así mismo, la imagen (b) de la Figura 114 muestra la imagen después del proceso de binarización y únicamente con los alevines detectados, así como el error existente en la esquina inferior derecha el cual se encerró en un rectángulo de color rojo.



(a) (b)

Figura 114. (a) Nueva imagen adquirida de la muestra de 52 alevines de tilapia. (b) Imagen binarizada de la nueva imagen adquirida de la muestra de 52 alevines

El error existente se genera a raíz de que, al momento de realizar la adquisición de la imagen, dos alevines rozan entre sí llegando a estar traslapados uno de otro. En consecuencia, posterior a realizar el proceso de binarización y etiquetado de la muestra, el algoritmo de

conteo detecta a los alevines que se rozan entre sí como un solo objeto. Véase en la Figura 115. Por consiguiente, al momento de realizar el cálculo de la cantidad de alevines detectará un solo alevín en reemplazo de los dos realmente existentes. Este error no es muy común, pero sucede en ciertas muestras cuando la cantidad de alevines está por llegar al límite posible por muestra. De igual forma, el grado de error existente está considerado dentro del grado de error del algoritmo de conteo estimado el cual no debe ser mayor al 2% para conseguir una eficiencia no menor al 98%.

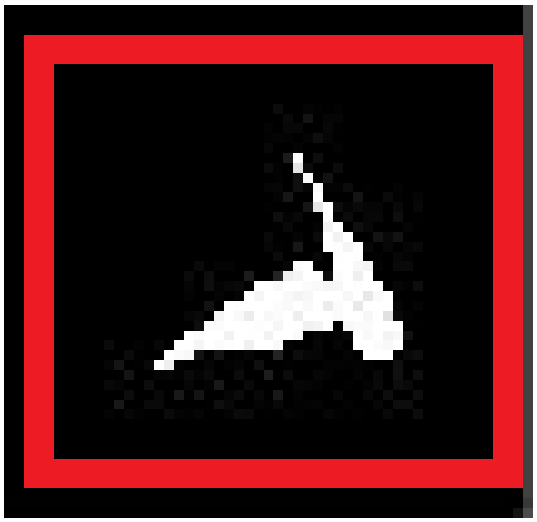


Figura 115. Alevines traslapados en muestra de 52 alevines de tilapia

Los resultados obtenidos se observan en la interfaz gráfica del sistema la cual se encuentra en la Figura 116. En donde, en la parte superior derecha muestra la imagen a) de la Figura 119 mientras que en la parte inferior derecha se muestra la imagen b) binarizada con los alevines detectados incluyendo el traslape de los 2 alevines. El resultado del algoritmo de conteo se visualiza en el campo “Cantidad de alevines”, el cual muestra la cantidad de 51 alevines detectados debido al error generado por el traslape de los dos alevines.



Figura 116. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos del procesamiento de la nueva imagen adquirida de la muestra de 52 alevines con error de traslape de 2 alevines

Por lo tanto, utilizando la fórmula expuesta en la Ecuación 55, se procederá a calcular la eficiencia comparando la cantidad real de alevines y la cantidad que otorga como respuesta el algoritmo como se observa en la Ecuación 49. Donde, este resultado de eficiencia de la muestra de 52 alevines fue de 98.0769%. Por consiguiente, el grado de error del algoritmo de la presente muestra es del 1.9231%.

$$\%CE_6 = \left(1 - \left|\frac{Ne_6 - Nc_6}{Ne_6}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{52 - 51}{52}\right|\right) \times 100\% = 98.0769\%$$

Ecuación 55. Cálculo del porcentaje de eficiencia del procesamiento de la nueva imagen adquirida de la muestra de 52 alevines con el error de traslape de 2 alevines

En base a todo lo mostrado, en la Tabla 16 se muestra los resultados del porcentaje de eficiencia y grado de error obtenidos al aplicar el algoritmo de conteo a la población de 1000 alevines. Para ello, se detalla estos porcentajes obtenidos para cada muestra de alevines analizada utilizando la fórmula matemática expresada en la Ecuación 49. Así mismo, la Figura 117 muestra la gráfica del comportamiento del grado de error de cada muestra analizada.

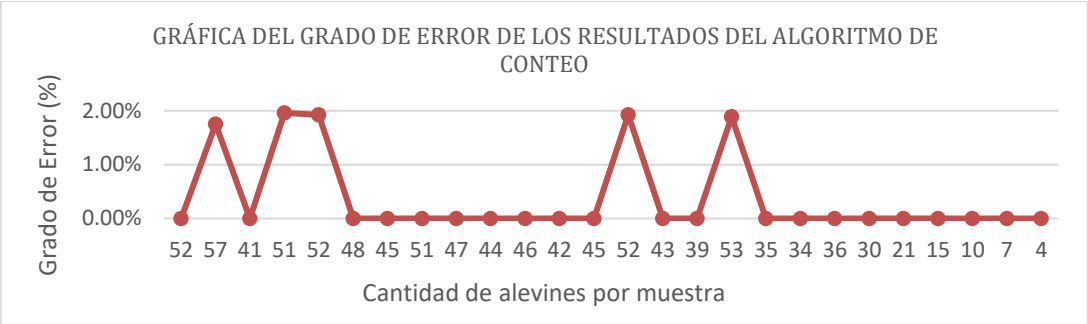


Figura 117. Gráfica del grado de error de los resultados del algoritmo de conteo

CANTIDAD REAL DE ALEVINES	CANTIDAD DE ALEVINES DETECTADOS POR EL ALGORITMO	GRADO DE ERROR DEL ALGORITMO DE CONTEO	EFICIENCIA DEL ALGORITMO DE CONTEO
52	52	0.00%	100.00%
57	56	1.75%	98.25%
41	41	0.00%	100.00%
51	50	1.96%	98.04%
52	51	1.92%	98.08%
48	48	0.00%	100.00%
45	45	0.00%	100.00%
51	51	0.00%	100.00%
47	47	0.00%	100.00%
44	44	0.00%	100.00%
46	46	0.00%	100.00%
42	42	0.00%	100.00%
45	45	0.00%	100.00%
52	51	1.92%	98.08%
43	43	0.00%	100.00%
39	39	0.00%	100.00%
53	52	1.89%	98.11%
35	35	0.00%	100.00%
34	34	0.00%	100.00%
36	36	0.00%	100.00%
30	30	0.00%	100.00%
21	21	0.00%	100.00%
15	15	0.00%	100.00%
10	10	0.00%	100.00%
7	7	0.00%	100.00%
4	4	0.00%	100.00%
Total del algoritmo	**995**	**Total real**	**1000**

Tabla 16. Resultados obtenidos del algoritmo de conteo de una población de 1000 alevines

Finalmente, mediante la Ecuación 56 se calcula la eficiencia existente $\%CE_{po}$ en los resultados obtenidos por el algoritmo de conteo de la población total analizada po utilizando nuevamente la fórmula matemática detallada en la Ecuación 49.

$$\%CE_{po} = \left(1 - \left|\frac{Ne_{po} - Nc_{po}}{Ne_{po}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{1000 - 995}{1000}\right|\right) \times 100\% = 99.5\%$$

Ecuación 56. Cálculo del porcentaje de eficiencia del procesamiento de la población de 1000 alevines

Como se observa, el porcentaje de eficiencia obtenido de los resultados del algoritmo de conteo del sistema es de 99.5%. Por lo que, el grado de error del sistema es del 0.5% y por lo tanto cumple con el objetivo planteado de una eficiencia no menor al 98% para el algoritmo de conteo.

Al igual que la validación del traslado de los alevines, el actual proceso de validación del conteo de una población de alevines se realiza nuevamente para las otras poblaciones indicadas en la Tabla 15 y los resultados se observan en la Tabla 17. En donde, la columna de la izquierda indica la población total analizada por los expertos, la columna del medio indica la cantidad total de alevines de la población analizada que fueron detectados por el algoritmo y, finalmente, la columna de la derecha indica la eficiencia del algoritmo al realizar este proceso cuyo valor se determina a partir de la Ecuación 49.

Con las 20 poblaciones otorgadas por los expertos entre 800 y 3000 alevines, se puso en funcionamiento el algoritmo para obtener los resultados de conteo, que, al compararlos con el número real de estas poblaciones, se evidencia que se obtiene una eficiencia mayor al 98%. Por ende, se logró cumplir con el objetivo planteado y, además, la presente validación es correcta.

CANTIDAD DE ALEVINES POR POBLACIÓN	CANTIDAD DE ALEVINES DETECTADOS POR EL ALGORITMO	EFICIENCIA DEL ALGORITMO DE CONTEO
1100	1095	99.55%
1200	1205	99.58%
1100	1100	100.00%
1200	1183	98.58%
1000	995	99.50%
1300	1303	99.77%
900	896	99.56%
1400	1391	99.36%
900	900	100.00%
1000	1000	100.00%
1400	1387	99.07%
800	800	100.00%
3000	2964	98.80%
1600	1577	98.56%
1800	1779	98.83%
1200	1204	99.67%
1900	1872	98.53%
1700	1708	99.53%
2000	1972	98.60%
1500	1486	99.07%

Tabla 17. Resultados del algoritmo de conteo al analizar 20 poblaciones de alevines

5.3 Validación del cálculo de las dimensiones geométricas de largo y ancho de los alevines de tilapia.

La presente validación determinará la eficiencia que tiene el algoritmo del sistema propuesto al realizar el cálculo de las dimensiones geométricas de largo y ancho de los alevines de tilapia existentes en muestras analizadas y posterior a ello, replicar el proceso para el análisis de un grupo de poblaciones. De esta forma, se utiliza la imagen binarizada del conteo para luego aplicar el procesamiento de imágenes y fórmulas matemáticas, con lo cual se obtiene las medidas de largo y ancho de estos alevines.

Referencia de validación

El primer paso en este proceso de validación es el cálculo del tamaño real del pez. Para ello, se basó en la herramienta que utilizan los expertos en este proceso de medición que posee el CINPIS de la universidad UNALM. Esta herramienta es el utilizar papel milimétrico para

determinar la medida del alevín. Sin embargo, no se optó por aplicar exactamente su método de medición, ya que requería que los alevines estén fuera del agua. Por ende, se escogió otro método con la aprobación de los ingenieros del CINPIS, el cual consiste en capturar 3 imágenes distintas de alevines en el segundo recipiente, teniendo sobre la base interior del recinto el papel milimétrico. Se observa un ejemplo en la Figura 118, en la que se seleccionó 3 alevines, los cuales serán medidos con el apoyo de un software.

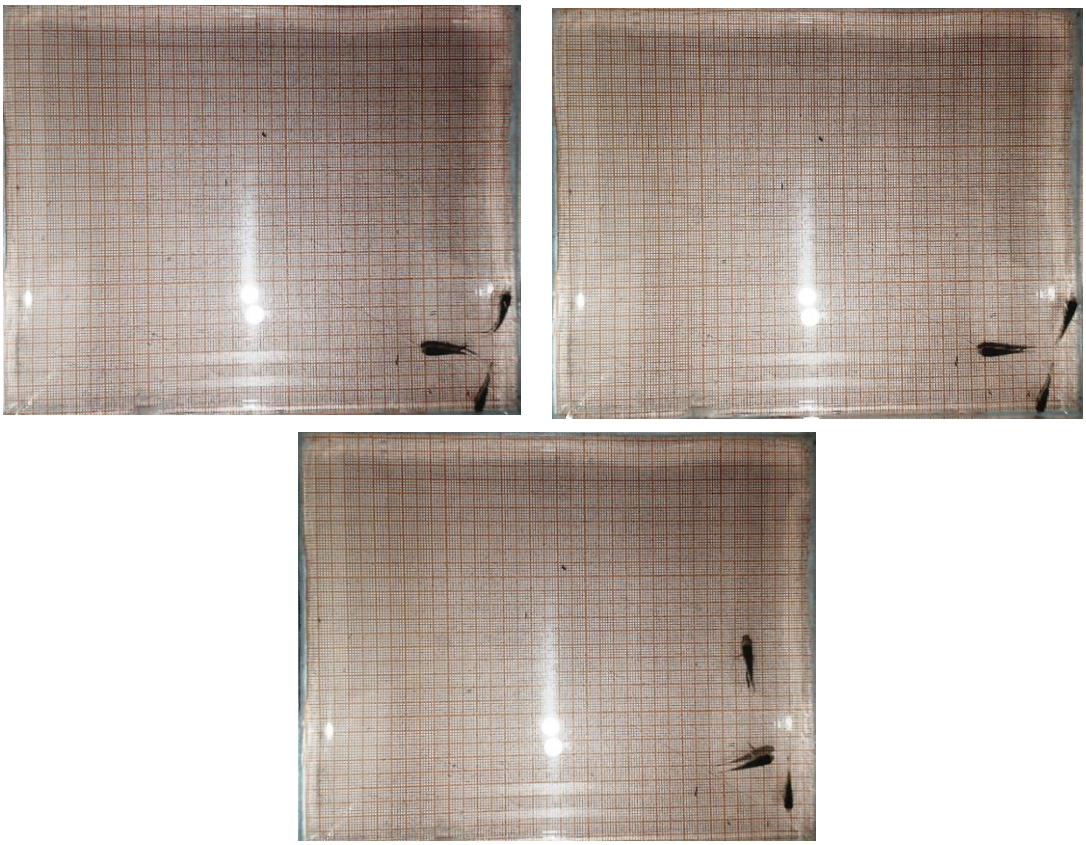


Figura 118. Imágenes adquiridas con 3 alevines de distintos tamaños con el fondo del papel milimétrico

Para determinar una medida dentro de las imágenes, se utilizó como herramienta el software Autodesk Inventor y sus opciones para calcular distancias dentro de una imagen.

Primero se tuvo que determinar el factor numérico de relación entre la medida brindada por el software y la medida real. Para ello, se capturó una imagen solo con el fondo de papel milimétrico, en el cual se trazó líneas de 1, 2, 3 y 4 cm como se observa en la Figura 119, así que se procedió a calcular cuánto equivalía esa medida real en términos del software. Cabe resaltar, que el trazado preciso de las líneas es posible gracias al principio que cada uno de los cuadrados más pequeños del papel milimétrico representa 1 milímetro.

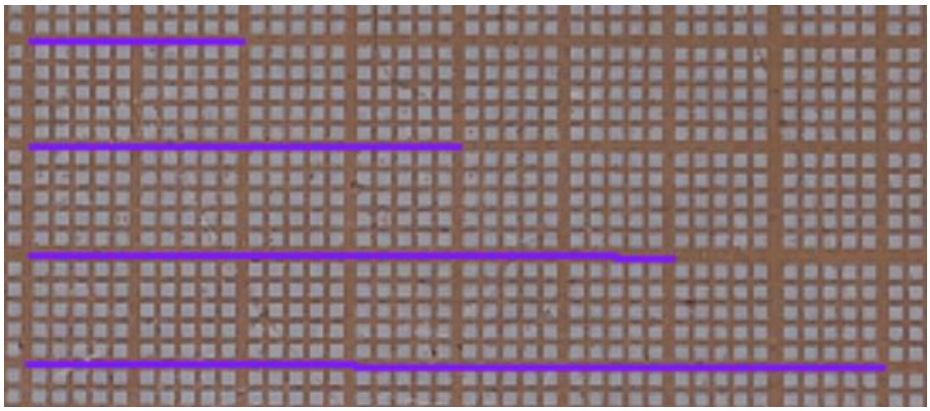


Figura 119. Líneas de 1, 2, 3 y 4 cm superpuestas en una de las imágenes adquiridas dentro del recinto utilizando papel milimétrico como fondo de la imagen

A continuación, los resultados de equivalencia se observan en la Tabla 18. Donde, la primera columna representa la medida en centímetros, la segunda columna representa el valor de longitud proporcionado por el software al utilizar la herramienta de medición a cada línea graficada. Finalmente, la tercera columna representa el factor numérico de relación que transforma el valor medido por el software a la medida real en centímetros. Por consiguiente, el promedio de los valores obtenidos en la tercera columna será el factor final, cuyo valor es de 0.1926211, el cual se utilizará para la conversión entre las medidas calculadas de los alevines en Inventor, a sus medidas reales en centímetros.

Medida real (cm)	Medida Inventor	Factor de conversión
1	5.19	0.1926782
2	10.419	0.1919570
3	15.561	0.1927897
4	20.719	0.1930595
PROMEDIO		0.1926211

Tabla 18. Factor de relación y valores obtenidos mediante el software Inventor al medir líneas de 1,2,3 y 4 cm

Seguido a ello, se procede a realizar el cálculo de las medidas de largo y ancho de los 3 alevines para cada imagen de la Figura 118. Para la medida del largo, se traza una guía que recorre la parte central del alevín desde el inicio de la cabeza hasta el final de la cola. Para la medida del ancho, se traza una guía que va desde la parte intermedia izquierda entre su ojo y aleta hacia la otra parte derecha, ya que esta es la zona más ancha del alevín. Un ejemplo es el observado en la Figura 120.



Figura 120. Ejemplo de los trazos dibujados en el alevín

Por lo tanto, los resultados de la medición de los 3 alevines para las 3 imágenes de la Figura 118 se muestran en la Tabla 19, donde las dos últimas columnas conforman el promedio de las medidas para cada pez (grande, mediano y pequeño) obtenidas en cada imagen. Este promedio representará la medida real de los 3 alevines a los que se aplicará el algoritmo de medición del largo y ancho.

	IMAGEN 1				IMAGEN 2				IMAGEN 3				PROMEDIO	
	Largo Inventor	Largo Real (cm.)	Ancho Inventor	Ancho Real (cm.)	Largo Inventor	Largo Real (cm.)	Ancho Inventor	Ancho Real (cm.)	Largo Inventor	Largo Real (cm.)	Ancho Inventor	Ancho Real (cm.)	Largo Real (cm.)	Ancho Real (cm.)
Pez pequeño	6.814	1.3125	1.199	0.2310	6.810	1.3118	1.204	0.2319	6.818	1.3132	1.195	0.2301	1.3125	0.2310
Pez mediano	8.598	1.6562	1.553	0.2991	8.594	1.6553	1.550	0.2985	8.603	1.6571	1.556	0.2997	1.6562	0.2991
Pez grande	11.23	2.1631	2.104	0.4053	11.233	2.1638	2.109	0.4063	11.226	2.1624	2.099	0.4043	2.1631	0.4053

Tabla 19. Resultados de la medición mediante Inventor y su respectiva conversión a centímetros de los 3 alevines existentes en las 3 imágenes de la Figura 118

Proceso de validación

Para determinar la eficiencia se utilizó una cantidad total de 150 alevines. En donde, los resultados obtenidos por el algoritmo serán reemplazados en la Ecuación 57 y en la Ecuación 58, las cuales determinan el porcentaje de eficiencia en el cálculo de las dimensiones geométricas de largo y ancho de cada alevín.

Siendo el significado de las nomenclaturas:

Lc, longitud del largo del alevín calculado por el algoritmo y Lr, longitud real del largo del alevín (este cálculo es realizado y explicado en el subcapítulo "5.3.1.- Cálculo de la longitud real de los alevines") y finalmente, $\%LE$, que representa el porcentaje de eficiencia existente en el cálculo de la medida del largo del alevín.

$$\%LE = \left(1 - \left|\frac{Lr - Lc}{Lr}\right|\right) \times 100\%$$

Ecuación 57. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del largo del alevín

Ac, longitud del ancho del alevín calculado por el algoritmo y Ar, longitud real del ancho del alevín (este cálculo es realizado y explicado en el subcapítulo "5.3.1.- Cálculo de la longitud real de los alevines") y finalmente, $\%AE$, que representa el porcentaje de eficiencia existente en el cálculo de la medida del ancho del alevín.

$$\%AE = \left(1 - \left|\frac{Ar - Ac}{Ar}\right|\right) \times 100\%$$

Ecuación 58. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín

Con todo lo explicado líneas arriba, a continuación, se detallará los resultados obtenidos después de aplicar el algoritmo de cálculo de la longitud de largo y ancho a 5 muestras distintas de 3 alevines de tamaños pequeño, mediano y grande aproximadamente. Estos alevines forman parte de los 150 que fueron analizados en este proceso de validación. Posterior a ello, se detallará en la Tabla 29 la eficiencia obtenida por el algoritmo al ser ejecutado para los 150 alevines de tilapia.

Muestra 1

En la Figura 121 se muestra la primera imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con la muestra de los 3 alevines de tamaños distintos. Seguido a ello, se procederá a aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho de los alevines presentes en la imagen con el propósito de validar los resultados obtenidos.

Estos resultados obtenidos se observan en la interfaz gráfica del sistema la cual se encuentra en la Figura 122, en donde, por una parte se muestran los resultados relacionados al algoritmo de conteo. Mientras que los resultados del algoritmo de medición de largo y ancho, se visualizan en el campo "Resultados de la medición", el cual, en la parte inferior muestra un listado de valores correspondientes a los resultados de la medición en centímetros del largo y ancho de cada alevín detectado. Así mismo, en el campo "Medida de longitud promedio (cm)", se visualiza el resultado del promedio de la longitud del largo en centímetros de todos los alevines detectados hasta ese instante.

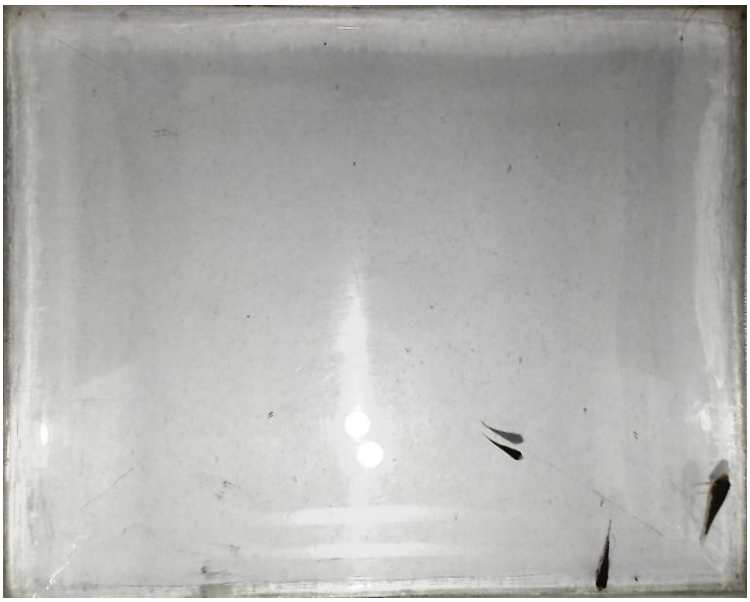


Figura 121. Primera imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con los 3 alevines de tamaños grande, mediano y pequeño

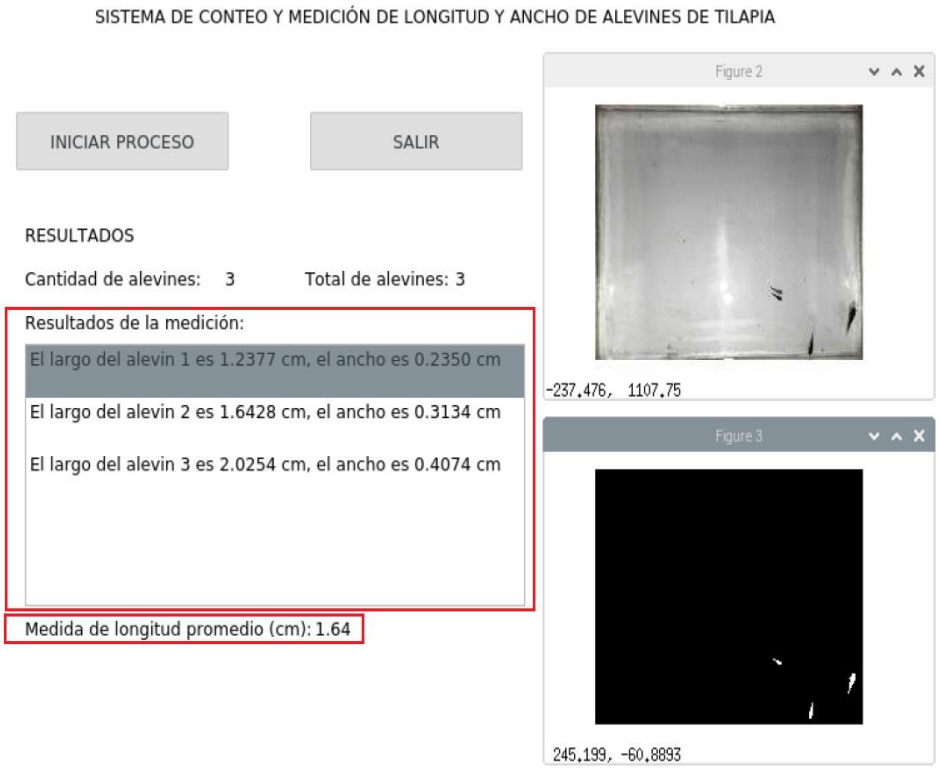


Figura 122. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho

Seguidamente, se remplaza los valores de la Ecuación 57 y Ecuación 58 con los resultados obtenidos. Por consiguiente, en las Ecuaciones 59, 60, 61, 62, 63 y 64 se procederá a calcular la eficiencia obtenida en el proceso de medición de largo y ancho del alevín pequeño, mediano y grande respectivamente comparando la longitud real del largo y ancho de los alevines con los resultados de largo y ancho obtenidos por medio del algoritmo.

$$\%LE_{p1} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{p1} - Lc_{p1}}{Lr_{p1}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{1.3125 - 1.2377}{1.3125}\right|\right) \times 100\% = 94.30\%$$

Ecuación 59. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín pequeño de la Muestra 1

$$\%AE_{p1} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{p1} - Ac_{p1}}{Ar_{p1}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.2310 - 0.2350}{0.2310}\right|\right) \times 100\% = 98.25\%$$

Ecuación 60. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín pequeño de la Muestra 1

$$\%LE_{m1} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{m1} - Lc_{m1}}{Lr_{m1}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{1.6562 - 1.6428}{1.6562}\right|\right) \times 100\% = 99.19\%$$

Ecuación 61. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín mediano de la Muestra 1

$$\%AE_{m1} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{m1} - Ac_{m1}}{Ar_{m1}}\right|\right) \times 100\% = 1 - \left(\left|\frac{0.2991 - 0.3134}{0.2991}\right|\right) \times 100\% = 95.23\%$$

Ecuación 62. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín mediano de la Muestra 1

$$\%LE_{g1} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{g1} - Lc_{g1}}{Lr_{m1}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{2.1631 - 2.0254}{2.1631}\right|\right) \times 100\% = 93.63\%$$

Ecuación 63. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín grande de la Muestra 1

$$\%AE_{g1} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{g1} - Ac_{g1}}{Ar_{g1}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.4053 - 0.4074}{0.4053}\right|\right) \times 100\% = 99.48\%$$

Ecuación 64. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín grande de la Muestra 1

Los resultados de eficiencia obtenidos en el cálculo de la longitud del largo y ancho de los alevines de tamaño pequeño, mediano y grande se observan en la Tabla 20.

	Dimensiones algoritmo (cm.)		Eficiencia (%)	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho
Pez pequeño	1.2377	0.2350	94.30%	98.25%
Pez mediano	1.6428	0.3134	99.19%	95.23%
Pez grande	2.0254	0.4074	93.63%	99.48%

Tabla 20. Porcentaje de eficiencia de los resultados del algoritmo al utilizar la imagen de la Figura 121

Muestra 2

En la Figura 123 se muestra la segunda imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con otra muestra de 3 alevines de tamaños distintos, a los cuáles también se les calculó sus medidas reales, las cuales se observan en la Tabla 21. Seguido a ello, se procederá a aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho de los alevines presentes en la imagen con el propósito de validar los resultados obtenidos.

PROMEDIO	
Largo Real (cm.)	Ancho Real (cm.)
1.3018	0.238
1.6453	0.2995
2.1532	0.4124

Tabla 21. Dimensiones de largo y ancho reales de los alevines de la Muestra 2

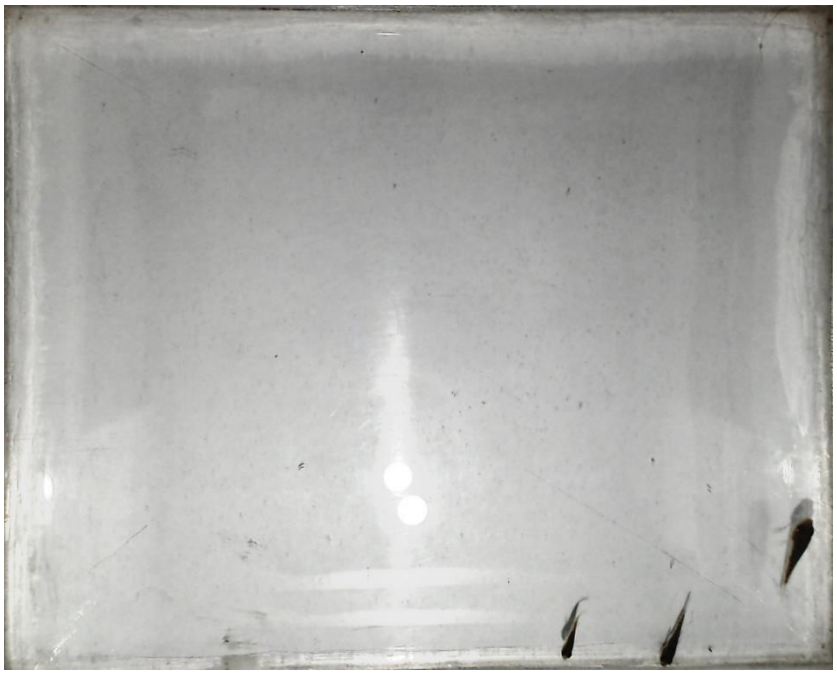


Figura 123. Segunda imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con los 3 alevines de tamaños grande, mediano y pequeño

Los resultados obtenidos se observan en la interfaz gráfica del sistema la cual se encuentra en la Figura 124. En donde, por una parte, se muestran los resultados relacionados al algoritmo de conteo. Mientras que los resultados del algoritmo de medición de largo y ancho, se visualizan en el campo “Resultados de la medición”. El cual, en la parte inferior muestra un listado de valores correspondientes a los resultados de la medición en centímetros del largo y ancho de cada alevín detectado. Así mismo, en el campo “Medida de longitud promedio (cm)”, se visualiza el resultado del promedio de la longitud del largo en centímetros de todos los alevines detectados.

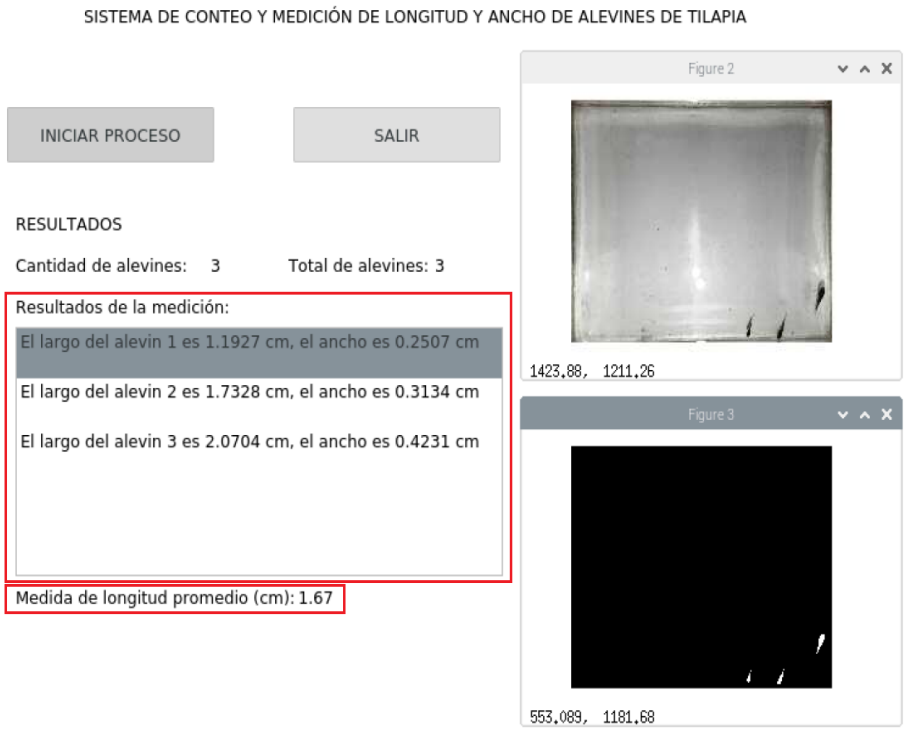


Figura 124. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho a la imagen de la Figura 123

Seguidamente, se remplaza los valores de la Ecuación 57 y Ecuación 58 con los resultados obtenidos. Por consiguiente, en las Ecuaciones 65, 66, 67, 68, 69 y 70 se procederá a calcular la eficiencia obtenida en el proceso de medición de largo y ancho del alevín pequeño, mediano y grande respectivamente comparando la longitud real del largo y ancho de los alevines con los resultados de largo y ancho obtenidos por medio del algoritmo.

$$\%LE_{p2} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{p2} - Lc_{p2}}{Lr_{p2}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{1.3018 - 1.1927}{1.3018}\right|\right) \times 100\% = 91.62\%$$

Ecuación 65. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín pequeño de la Muestra 2

$$\%AE_{p2} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{p2} - Ac_{p2}}{Ar_{p2}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.2380 - 0.2507}{0.2380}\right|\right) \times 100\% = 94.66\%$$

Ecuación 66. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín pequeño de la Muestra 2

$$\%LE_{m2} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{m2} - Lc_{m2}}{Lr_{m2}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{1.6453 - 1.7328}{1.6453}\right|\right) \times 100\% = \ 94.68\%$$

Ecuación 67. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín mediano de la Muestra 2

$$\%AE_{m2} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{m2} - Ac_{m2}}{Ar_{m2}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.2995 - 0.3134}{0.2995}\right|\right) \times 100\% = 95.36\%$$

Ecuación 68. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín mediano de la Muestra 2

$$\%LE_{g2} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{g2} - Lc_{g2}}{Lr_{g2}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{2.1532 - 2.0704}{2.1532}\right|\right) \times 100\% = 95.71\%$$

Ecuación 69. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín grande de la Muestra 2

$$\%AE_{g2} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{g2} - Ac_{g2}}{Ar_{g2}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.4124 - 0.4231}{0.4124}\right|\right) \times 100\% = 95.60\%$$

Ecuación 70. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín grande de la Muestra 2

Los resultados de eficiencia obtenidos en el cálculo de la longitud del largo y ancho de los alevines se observan en la Tabla 22.

	Dimensiones algoritmo (cm.)		Eficiencia (%)	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho
Pez pequeño	1.1927	0.2507	91.62%	94.66%
Pez mediano	1.7328	0.3134	94.68%	95.36%
Pez grande	2.0704	0.4231	95.71%	95.60%

Tabla 22. Porcentaje de eficiencia de los resultados del algoritmo al utilizar la imagen de la Figura 123

Muestra 3

En la Figura 125 se muestra la tercera imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con otra muestra de 3 alevines de tamaños distintos, a los cuáles también se les calculó sus medidas reales, las cuales se observan en la Tabla 23. Seguido a ello, se procederá a aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho de los alevines presentes en la imagen con el propósito de validar los resultados obtenidos.

PROMEDIO	
Largo Real (cm.)	Ancho Real (cm.)
1.3138	0.2390
1.6733	0.2990
2.2481	0.4780

Tabla 23. Dimensiones de largo y ancho reales de los alevines de la Muestra 3

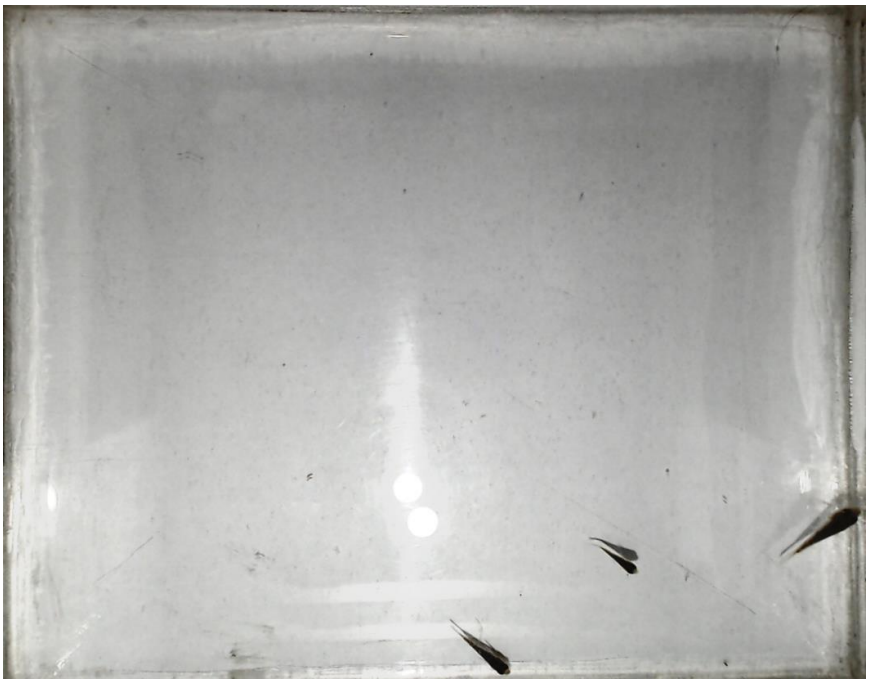


Figura 125. Tercera imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con los 3 alevines de tamaños grande, mediano y pequeño

Los resultados obtenidos se observan en la interfaz gráfica del sistema la cual se encuentra en la Figura 126. En donde, por una parte, se muestran los resultados relacionados al algoritmo de conteo. Mientras que los resultados del algoritmo de medición de largo y ancho, se visualizan en el campo “Resultados de la medición”. El cual, en la parte inferior muestra un listado de valores correspondientes a los resultados de la medición en centímetros del

largo y ancho de cada alevín detectado. Así mismo, en el campo “Medida de longitud promedio (cm)”, se visualiza el resultado del promedio de la longitud del largo en centímetros de todos los alevines detectados.

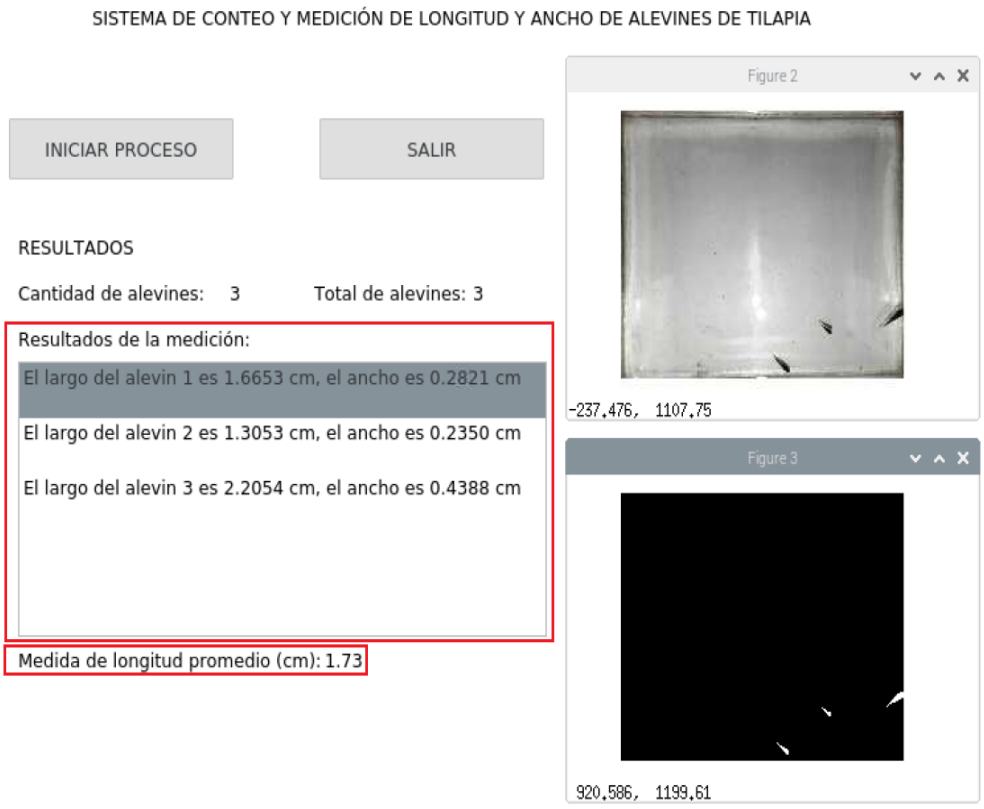


Figura 126. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho a la imagen de la Figura 125

Seguidamente, se remplaza los valores de la Ecuación 58 y Ecuación 59 con los resultados obtenidos. Por consiguiente, en las Ecuaciones 71, 72, 73, 74, 75 y 76 se procederá a calcular la eficiencia obtenida en el proceso de medición de largo y ancho del alevín pequeño, mediano y grande respectivamente comparando la longitud real del largo y ancho de los alevines con los resultados de largo y ancho obtenidos por medio del algoritmo.

$$\%LE_{p3} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{p3} - Lc_{p3}}{Lr_{p3}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{1.3138 - 1.3053}{1.3138}\right|\right) \times 100\% = 99.35\%$$

Ecuación 71. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín pequeño de la Muestra 3

$$\%AE_{p3} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{p3} - Ac_{p3}}{Ar_{p3}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.2390 - 0.235}{0.2390}\right|\right) \times 100\% = 98.32\%$$

Ecuación 72. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín pequeño de la Muestra 3

$$\%LE_{m3} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{m3} - Lc_{m3}}{Lr_{m3}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{1.6733 - 1.6653}{1.6733}\right|\right) \times 100\% = 99.52\%$$

Ecuación 73. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín mediano de la Muestra 3

$$\%AE_{m3} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{m3} - Ac_{m3}}{Ar_{m3}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.2990 - 0.2821}{0.2990}\right|\right) \times 100\% = 94.35\%$$

Ecuación 74. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín mediano de la Muestra 3

$$\%LE_{g3} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{g3} - Lc_{g3}}{Lr_{g3}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{2.2481 - 2.2054}{2.2481}\right|\right) \times 100\% = 98.10\%$$

Ecuación 75. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín grande de la Muestra 3

$$\%AE_{g3} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{g3} - Ac_{g3}}{Ar_{g3}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.4780 - 0.4388}{0.4780}\right|\right) \times 100\% = 91.80\%$$

Ecuación 76. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín grande de la Muestra 3

Los resultados de la eficiencia obtenidos en el cálculo de la longitud del largo y ancho de los alevines se observan en la Tabla 24.

	Dimensiones algoritmo (cm.)		Eficiencia (%)	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho
Pez pequeño	1.3053	0.235	99.35%	98.32%
Pez mediano	1.6653	0.2821	99.52%	94.35%
Pez grande	2.2054	0.4388	98.10%	91.80%

Tabla 24. Porcentaje de eficiencia de los resultados del algoritmo al utilizar la imagen de la Figura 125

Muestra 4

En la Figura 127 se muestra la cuarta imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con otra muestra de 3 alevines de tamaños distintos, a los cuáles también se les calculó sus medidas reales, las cuales se observan en la Tabla 25. Seguido a ello, se procederá a aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho de los alevines presentes en la imagen con el propósito de validar los resultados obtenidos.

PROMEDIO	
Largo Real (cm.)	Ancho Real (cm.)
1.3099	0.2736
1.6554	0.3643
2.1608	0.4749

Tabla 25 . Dimensiones de largo y ancho reales de los alevines de la Muestra 4

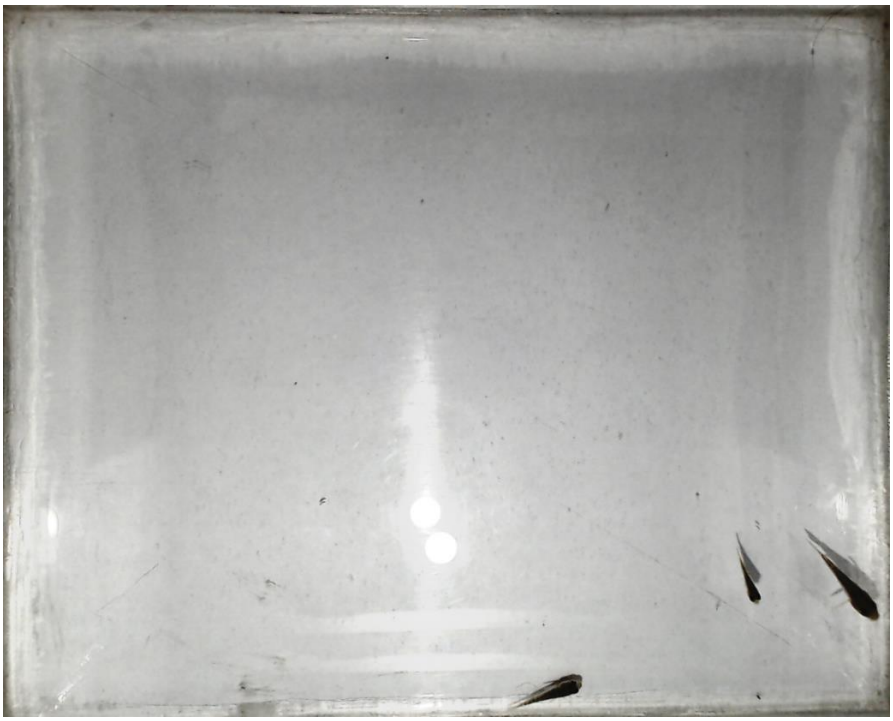


Figura 127. Cuarta imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con los 3 alevines de tamaños grande, mediano y pequeño

Los resultados obtenidos se observan en la interfaz gráfica del sistema la cual se encuentra en la Figura 128. En donde, por una parte, se muestran los resultados relacionados al algoritmo de conteo. Mientras que los resultados del algoritmo de medición de largo y ancho, se visualizan en el campo “Resultados de la medición”. El cual, en la parte inferior muestra un listado de valores correspondientes a los resultados de la medición en centímetros del largo y ancho de cada alevín detectado. Así mismo, en el campo “Medida de longitud promedio (cm)”, se visualiza el resultado del promedio de la longitud del largo en centímetros de todos los alevines detectados.

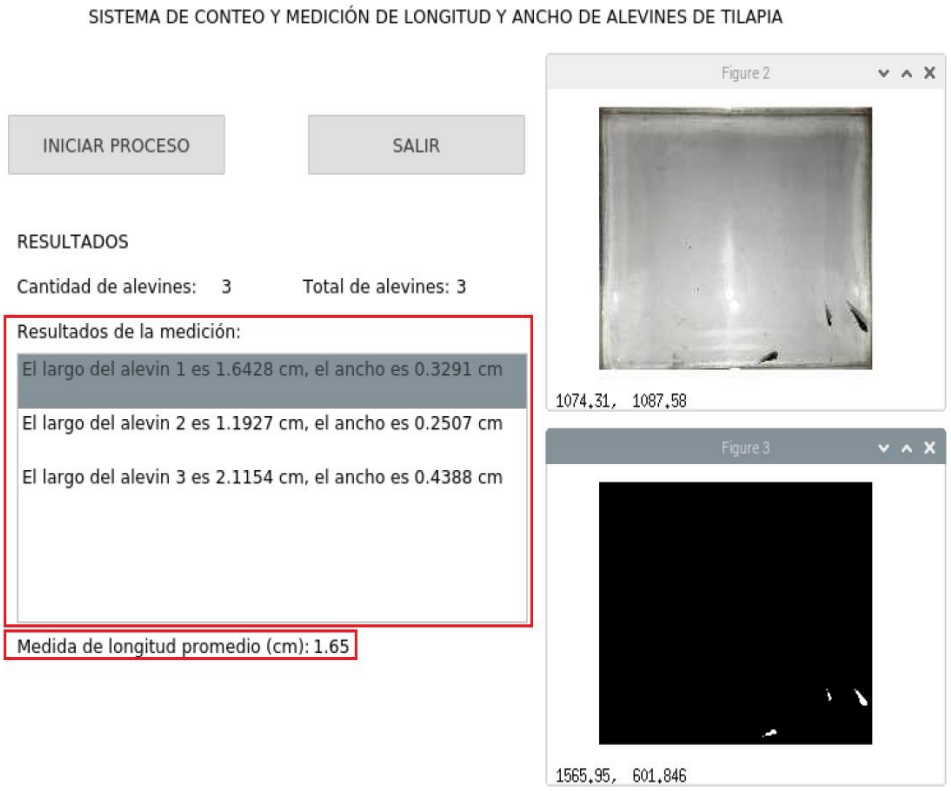


Figura 128. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho a la imagen de la Figura 127

Seguidamente, se remplaza los valores de la Ecuación 58 y Ecuación 59 con los resultados obtenidos. Por consiguiente, en las Ecuaciones 77, 78, 79, 80, 81 y 82 se procederá a calcular la eficiencia obtenida en el proceso de medición de largo y ancho del alevín pequeño, mediano y grande respectivamente comparando la longitud real del largo y ancho de los alevines con los resultados de largo y ancho obtenidos por medio del algoritmo.

$$\%LE_{p4} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{p4} - Lc_{p4}}{Lr_{p4}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{1.3099 - 1.1927}{1.3099}\right|\right) \times 100\% = 91.05\%$$

Ecuación 77. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín pequeño de la Muestra 4

$$\%AE_{p4} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{p4} - Ac_{p4}}{Ar_{p4}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.2736 - 0.2507}{0.2736}\right|\right) \times 100\% = 91.63\%$$

Ecuación 78. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín pequeño de la Muestra 4

$$\%LE_{m4} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{m4} - Lc_{m4}}{Lr_{m4}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{1.6554 - 1.6428}{1.6554}\right|\right) \times 100\% = 99.24\%$$

Ecuación 79. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín mediano de la Muestra 4

$$\%AE_{m4} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{m4} - Ac_{m4}}{Ar_{m4}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.3643 - 0.329}{0.3643}\right|\right) \times 100\% = 90.31\%$$

Ecuación 80. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín mediano de la Muestra 4

$$\%LE_{g4} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{g4} - Lc_{g4}}{Lr_{g4}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{2.1608 - 2.1154}{2.1608}\right|\right) \times 100\% = 97.90\%$$

Ecuación 81. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín grande de la Muestra 4

$$\%AE_{g4} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{g4} - Ac_{g4}}{Ar_{g4}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.4749 - 0.4388}{0.4749}\right|\right) \times 100\% = 92.40\%$$

Ecuación 82. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín grande de la Muestra 4

Los resultados de la eficiencia obtenidos en el cálculo de la longitud del largo y ancho de los alevines se observan en la Tabla 26.

	Dimensiones algoritmo (cm.)		Eficiencia (%)	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho
Pez pequeño	1.1927	0.2507	91.05%	91.63%
Pez mediano	1.6428	0.3290	99.24%	90.31%
Pez grande	2.1154	0.4388	97.90%	92.40%

Tabla 26. Porcentaje de eficiencia de los resultados del algoritmo al utilizar la imagen de la Figura 127

Muestra 5

En la Figura 129 se muestra la quinta imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con otra muestra de 3 alevines de tamaños distintos, a los cuáles también se les calculó sus medidas reales, las cuales se observan en la Tabla 27. Seguido a ello, se procederá a aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho de los alevines presentes en la imagen con el propósito de validar los resultados obtenidos.

PROMEDIO	
Largo Real (cm.)	Ancho Real (cm.)
1.3081	0.2719
1.9489	0.3302
2.2900	0.4416

Tabla 27. Dimensiones de largo y ancho reales de los alevines de la Muestra 5

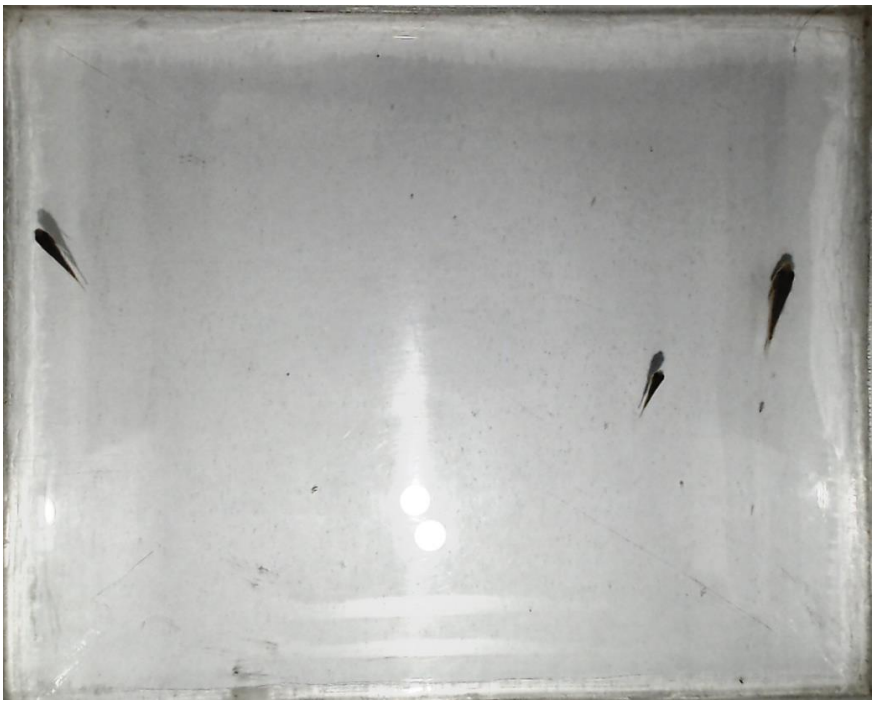


Figura 129. Quinta imagen adquirida dentro del recinto de adquisición de imágenes con los 3 alevines de tamaños grande, mediano y pequeño

Los resultados obtenidos se observan en la interfaz gráfica del sistema la cual se encuentra en la Figura 130. En donde, por una parte, se muestran los resultados relacionados al algoritmo de conteo. Mientras que los resultados del algoritmo de medición de largo y ancho, se visualizan en el campo “Resultados de la medición”. El cual, en la parte inferior muestra un listado de valores correspondientes a los resultados de la medición en centímetros del largo y ancho de cada alevín detectado. Así mismo, en el campo “Medida de longitud promedio (cm)”, se visualiza el resultado del promedio de la longitud del largo en centímetros de todos los alevines detectados.

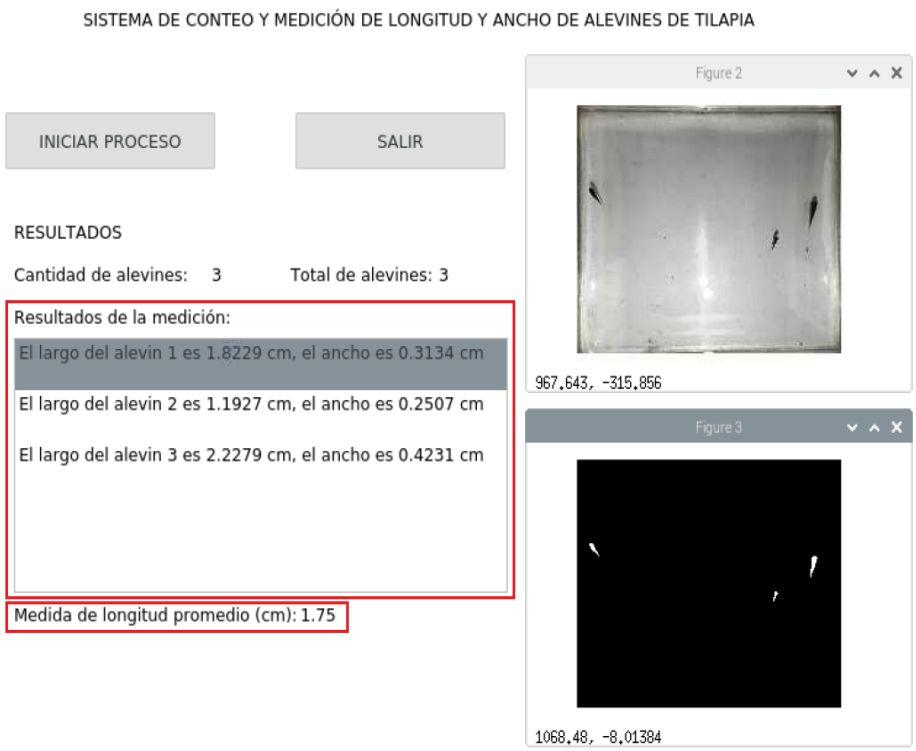


Figura 130. Interfaz gráfica del sistema con los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo de medición de largo y ancho a la imagen de la Figura 129

Seguidamente, se remplaza los valores de la Ecuación 58 y Ecuación 59 con los resultados obtenidos. Por consiguiente, en las Ecuaciones 83, 84, 85, 86, 87 y 88 se procederá a calcular la eficiencia obtenida en el proceso de medición de largo y ancho del alevín pequeño, mediano y grande respectivamente comparando la longitud real del largo y ancho de los alevines con los resultados de largo y ancho obtenidos por medio del algoritmo.

$$\%LE_{p5} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{p5} - Lc_{p5}}{Lr_{p5}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{1.3081 - 1.1927}{1.3081}\right|\right) \times 100\% = 91.18\%$$

Ecuación 83. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín pequeño de la Muestra 5

$$\%AE_{p5} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{p5} - Ac_{p5}}{Ar_{p5}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.2719 - 0.2507}{0.2719}\right|\right) \times 100\% = 92.20\%$$

Ecuación 84. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín pequeño de la Muestra 5

$$\%LE_{m5} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{m5} - Lc_{m5}}{Lr_{m5}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{1.9489 - 1.822}{1.9489}\right|\right) \times 100\% = 93.49\%$$

Ecuación 85. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín mediano de la Muestra 5

$$\%AE_{m5} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{m5} - Ac_{m5}}{Ar_{m5}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.3302 - 0.3134}{0.3302}\right|\right) \times 100\% = 94.91\%$$

Ecuación 86. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín mediano de la Muestra 5

$$\%LE_{g5} = \left(1 - \left|\frac{Lr_{g5} - Lc_{g5}}{Lr_{g5}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{2.2900 - 2.2279}{2.2900}\right|\right) \times 100\% = 97.29\%$$

Ecuación 87. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición de largo del alevín grande de la Muestra 5

$$\%AE_{g5} = \left(1 - \left|\frac{Ar_{g5} - Ac_{g5}}{Ar_{g5}}\right|\right) \times 100\% = \left(1 - \left|\frac{0.4416 - 0.4231}{0.4416}\right|\right) \times 100\% = 95.81\%$$

Ecuación 88. Cálculo del porcentaje de eficiencia del proceso de medición del ancho del alevín grande de la Muestra 5

Los resultados de eficiencia obtenidos en el cálculo de la longitud del largo y ancho de los alevines se observan en la Tabla 28.

	Dimensiones algoritmo (cm.)		Eficiencia (%)	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho
Pez pequeño	1.1927	0.2507	91.18%	92.20%
Pez mediano	1.8220	0.3134	93.49%	94.91%
Pez grande	2.2279	0.4231	97.29%	95.81%

Tabla 28. Porcentaje de eficiencia de los resultados del algoritmo al utilizar la imagen de la Figura 129

En base a todo lo mostrado, en la Tabla 29 se muestra las medidas obtenidas por el algoritmo y los porcentajes de eficiencia obtenidos al analizar los resultados del algoritmo de medición de la longitud del largo y ancho de la población de 150 alevines detallada al inicio de esta validación. Esto se logra, utilizando las fórmulas matemáticas detalladas en la Ecuación 58 para largo y Ecuación 59 para el ancho tal y como se detalla en las muestras descritas líneas arriba. Asimismo, la Figura 131 muestra la gráfica del comportamiento del grado de error de los resultados obtenidos del algoritmo, al analizar cada uno de los alevines de la población de 150.

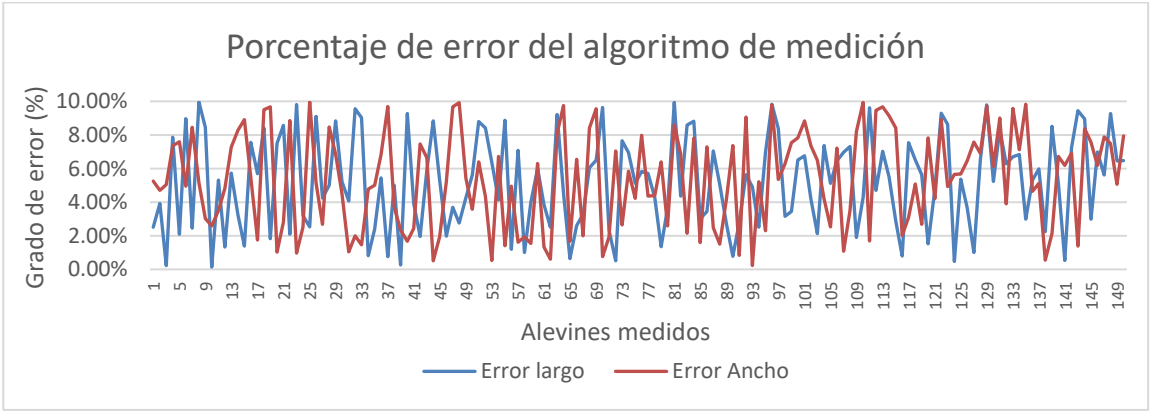


Figura 131. Gráfica del porcentaje de grado de error del algoritmo de medición de largo y ancho vs cada alevín analizado de la población de 150

N°	Mediciones del algoritmo		Eficiencia (%)	
	Largo Real (cm.)	Ancho Real (cm.)	Largo	Ancho
1	2.0481	0.3687	97.49%	94.74%
2	1.7972	0.3235	96.08%	95.30%
3	2.3434	0.4218	99.77%	94.96%
4	1.1775	0.2120	92.13%	92.65%
5	2.1154	0.4388	97.90%	92.40%
6	1.0265	0.1848	91.04%	95.06%
7	2.1948	0.3951	97.55%	91.55%
8	1.3062	0.2351	90.04%	94.85%
9	0.9575	0.1724	91.55%	96.98%
10	2.5668	0.4620	99.86%	97.42%
11	1.7605	0.3169	94.69%	96.49%
12	2.5479	0.4586	98.68%	95.19%
13	1.5353	0.2764	94.27%	92.72%
14	1.4832	0.2670	96.77%	91.72%
15	2.1223	0.3820	98.62%	91.09%
16	1.2377	0.2350	92.44%	94.51%
17	1.5429	0.2777	94.30%	98.25%
18	0.9066	0.1632	91.58%	90.50%
19	2.2670	0.4081	98.18%	90.32%
20	1.4476	0.2606	92.50%	98.97%
21	1.0903	0.1963	91.44%	97.18%
22	2.1919	0.3945	97.91%	91.14%
23	1.0350	0.1863	90.19%	99.03%
24	1.8018	0.3243	96.80%	97.49%
25	2.5004	0.4501	97.47%	90.03%
26	1.0952	0.1971	90.90%	94.86%
27	1.6191	0.2914	95.76%	97.31%
28	1.4766	0.2658	95.00%	91.52%
29	1.0463	0.1883	91.17%	93.14%
30	1.8359	0.3305	94.78%	95.51%
31	1.6676	0.3002	95.94%	98.95%
32	1.0319	0.1857	90.43%	98.01%
33	1.2402	0.2232	90.97%	98.54%
34	1.6428	0.3134	99.19%	95.23%
35	2.6606	0.4789	97.61%	94.99%
36	1.7561	0.3161	94.56%	93.16%
37	1.6428	0.3290	99.24%	90.31%
38	1.4611	0.2630	94.99%	96.29%
39	2.7259	0.4907	99.74%	97.66%
40	1.2082	0.2175	90.73%	98.33%
41	1.4528	0.2615	96.08%	97.56%
42	2.7296	0.4913	98.05%	92.54%
43	1.8078	0.3254	94.10%	93.35%

N°	Mediciones del algoritmo		Eficiencia (%)	
	Largo Real (cm.)	Ancho Real (cm.)	Largo	Ancho
51	1.2947	0.2330	91.21%	93.60%
52	1.0000	0.1800	91.58%	95.65%
53	2.0254	0.4074	93.63%	99.48%
54	1.5024	0.2704	95.87%	93.28%
55	1.0548	0.1899	91.13%	98.59%
56	2.1100	0.3798	98.80%	95.05%
57	1.2693	0.2285	92.92%	98.38%
58	2.0242	0.3644	99.00%	98.06%
59	1.5914	0.2865	96.00%	98.46%
60	1.1040	0.1987	94.00%	93.70%
61	1.5649	0.2817	96.16%	98.68%
62	2.1519	0.3873	97.50%	99.40%
63	1.0293	0.1853	90.79%	91.91%
64	1.4563	0.2621	95.47%	90.24%
65	1.3053	0.2350	99.35%	98.32%
66	2.3589	0.4246	97.40%	93.46%
67	1.8593	0.3347	96.73%	98.00%
68	1.0891	0.1960	93.95%	91.59%
69	1.2586	0.2265	93.50%	90.44%
70	1.3576	0.2444	90.36%	99.24%
71	2.6970	0.4855	97.67%	98.09%
72	2.1466	0.3864	99.49%	92.95%
73	1.3376	0.2408	92.34%	97.36%
74	1.4278	0.2570	93.04%	94.15%
75	1.7819	0.3207	94.89%	95.78%
76	1.5175	0.2732	94.17%	92.03%
77	1.5495	0.2789	94.28%	95.63%
78	2.0704	0.4231	95.71%	95.60%
79	2.7250	0.4905	98.65%	93.61%
80	1.4882	0.2679	96.36%	97.42%
81	1.0891	0.1960	90.07%	91.40%
82	1.5470	0.2785	95.64%	93.12%
83	1.0606	0.1909	91.42%	97.86%
84	1.1927	0.2507	91.18%	92.20%
85	2.2311	0.4016	97.00%	98.40%
86	1.8059	0.3251	96.56%	92.70%
87	0.9478	0.1706	92.95%	97.52%
88	1.6838	0.3031	94.93%	98.50%
89	2.2279	0.4231	97.29%	95.81%
90	2.5776	0.4640	99.23%	92.63%
91	2.3411	0.4214	97.20%	99.17%
92	1.4711	0.2648	94.36%	90.94%
93	1.4564	0.2622	95.10%	99.77%

N°	Mediciones del algoritmo		Eficiencia (%)	
	Largo Real (cm.)	Ancho Real (cm.)	Largo	Ancho
101	1.2167	0.2190	93.25%	91.17%
102	1.4726	0.2651	95.84%	92.65%
103	2.4275	0.4370	97.88%	93.50%
104	1.0783	0.1941	92.64%	95.82%
105	1.8216	0.3279	94.88%	97.46%
106	1.3293	0.2393	93.54%	92.79%
107	1.1474	0.2065	93.04%	98.92%
108	0.9107	0.1639	92.68%	96.50%
109	2.2054	0.4388	98.10%	91.80%
110	1.8086	0.3255	95.73%	90.06%
111	1.0586	0.1905	90.39%	98.31%
112	1.5925	0.2867	95.31%	90.54%
113	1.1850	0.2133	92.97%	90.32%
114	1.8626	0.3353	94.50%	90.86%
115	2.4349	0.4383	97.12%	91.58%
116	2.5693	0.4625	99.21%	97.99%
117	1.0869	0.1956	92.46%	96.89%
118	1.8220	0.3134	93.49%	94.91%
119	1.7373	0.3127	94.37%	97.32%
120	2.2954	0.4132	98.49%	92.18%
121	1.7369	0.3126	95.26%	95.79%
122	1.0570	0.1903	90.71%	91.08%
123	1.3074	0.2353	91.37%	95.07%
124	1.6653	0.2821	99.52%	94.35%
125	1.6268	0.2928	94.64%	94.32%
126	1.7461	0.3143	96.33%	93.54%
127	2.1683	0.3903	98.99%	92.42%
128	1.2749	0.2295	93.53%	93.08%
129	1.3677	0.2462	90.21%	90.28%
130	1.4529	0.2615	94.77%	93.88%
131	0.9122	0.1642	91.68%	91.00%
132	0.9534	0.1716	93.71%	96.10%
133	1.2251	0.2205	93.29%	90.41%
134	1.0383	0.1869	93.16%	92.88%
135	1.9743	0.3554	97.00%	90.18%
136	1.7328	0.3134	94.68%	95.36%
137	1.4985	0.2697	94.02%	94.87%
138	2.5841	0.4651	97.76%	99.44%
139	0.9193	0.1655	91.49%	97.88%
140	1.5744	0.2834	94.88%	93.27%
141	2.7950	0.5031	99.47%	93.80%
142	0.9253	0.1666	92.76%	93.09%
143	1.1062	0.1991	90.55%	98.61%

44	0.9578	0.1724	91.16%	99.48%	94	2.2329	0.4019	97.48%	94.78%	144	1.1927	0.2507	91.05%	91.63%
45	1.5903	0.2863	94.69%	98.07%	95	1.0481	0.1887	93.04%	97.69%	145	2.4641	0.4435	97.01%	92.44%
46	2.1033	0.3786	98.02%	94.77%	96	1.2122	0.2182	90.18%	90.22%	146	1.3363	0.2405	93.02%	93.82%
47	1.8286	0.3291	96.31%	90.33%	97	1.1927	0.2507	91.62%	94.66%	147	1.6618	0.2991	94.38%	92.12%
48	2.6271	0.4729	97.24%	90.09%	98	1.6834	0.3030	96.84%	93.72%	148	0.9730	0.1751	90.72%	92.51%
49	1.6426	0.2957	95.74%	94.58%	99	1.5261	0.2747	96.56%	92.46%	149	1.1750	0.2115	93.54%	94.94%
50	1.6450	0.2961	94.39%	96.41%	100	0.9646	0.1736	93.49%	92.17%	150	1.3079	0.2354	93.52%	92.07%

Tabla 29. Porcentaje de eficiencia del algoritmo de medición de largo y ancho de los 150 alevines analizados

Como se observa en la Tabla 29, la eficiencia del sistema es mayor al 90% , por lo tanto se cumplió con el objetivo planteado para el algoritmo de medición de largo y ancho de cada alevín.

Asimismo, los expertos realizaron la medición de largo y ancho promedio de 3 poblaciones entre 400 y 600 alevines, por lo que, se ejecutó el algoritmo para obtener los resultados de medición. Se evidencia en la Tabla 30, que al comparar estos resultados con las dimensiones reales de estas poblaciones, se obtiene una eficiencia mayor al 90%. Por lo tanto, se alcanzó a cumplir con el objetivo planteado y, además, la presente validación es correcta.

CANTIDAD DE ALEVINES POR POBLACIÓN	LARGO PROMEDIO DE ALEVINES MEDIDOS POR EL ALGORITMO (cm.)	ANCHO PROMEDIO DE ALEVINES MEDIDOS POR EL ALGORITMO (cm.)	EFICIENCIA LARGO (%)	EFICIENCIA ANCHO (%)
400	1.6815	0.3054	95.46	94.31
500	1.6476	0.2947	94.23	93.82
600	1.7243	0.3168	96.34	96.29

Tabla 30. Porcentaje de eficiencia del algoritmo de medición al analizar 3 poblaciones distintas

5.4 Inversión económica

En esta parte se detallará mediante la Tabla 31 la inversión económica realizada en el proyecto. En este, se incluye los gastos de implementación del hardware y software del sistema propuesto.

ITEM	PRODUCTO	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
HARDWARE				
1	Acrílico 3 mm 1 plancha	S/50.00	2	S/ 100.00
2	Cable HDMI 1 metro	S/39.90	1	S/ 39.90
3	Circuito de control	S/120.00	1	S/ 120.00
4	Compresor de aire 1HP	S/300.00	1	S/ 300.00
5	Estructura mecánica	S/1,800.00	1	S/ 1,800.00
6	Filtro de aire 1/4"	S/150.00	1	S/ 150.00
7	Fuente programable DC	S/250.00	1	S/ 250.00
8	Led de 10W luz blanca	S/10.00	1	S/ 10.00
9	Cámara Web Logitech C920	S/300.00	1	S/ 300.00
10	Manguera 1/4" 1 metro	S/25.00	1	S/ 25.00
11	Motores	S/20.00	2	S/ 40.00
12	Pantalla LCD TouchScreen 7"	S/230.00	1	S/ 230.00
13	Raspberry Pi 3 - Model B	S/484.90	1	S/ 484.90
14	Recinto de acero inoxidable	S/500.00	1	S/ 500.00
15	Tubería 3/4" PVC	S/18.00	4	S/ 72.00
16	Válvula de bola neumática 3/4"	S/600.00	2	S/ 1,200.00
17	Válvula soloneide	S/300.00	2	S/ 600.00
SOFTWARE				
18	Software de conteo	S/1,000.00	1	S/ 1,000.00
19	Software de Medición	S/1,500.00	1	S/ 1,500.00
20	Interfaz gráfica	S/500.00	1	S/ 500.00
21	Algoritmo de control de componentes electromecánicos	S/400.00	1	S/ 400.00
TOTAL				**S/9,621.80**

Tabla 31. Inversión económica realizada en el proyecto

A la cantidad total de S/ 9,621.80, se le debe de agregar la ganancia que el proyecto necesita generar a nivel de hardware y software. En cual se incluye la investigación, la aplicación de conocimientos ingenieriles, el tiempo de dedicación y la utilidad. Por esta razón, en la Tabla 32 se expone estas ganancias con lo cual lleva a determinar el costo final de comercialización de este sistema.

COSTO HARDWARE	COSTO SOFTWARE	GANANCIA	TOTAL
		HARDWARE - 90% SOFTWARE - 90%	
S/6,221.80	S/3,400.00	S/8,659.62	S/18,281.42

Tabla 32. Costo total de la solución propuesta

En la Tabla 33 se muestran los productos comerciales actuales con sus respectivos precios cuya mayor información fue rescatada de la Tabla 3. Asimismo, en fila 4 se aprecia el costo del presente proyecto en dólares, por lo que se evidencia que es el mejor precio del mercado.

N°	Productos comerciales actuales	Costo
1	AquaScan CSW2800	$15,000.00
2	CALITRI TECHNOLOGY Fry fish counting machine 12-channel	$10,000.00
3	Contador de alevines TPS micro	$8,800.00
4	Producto propuesto	$5,000.00

Tabla 33. Cuadro comparativo de precios entre productos comerciales actuales y el producto propuesto

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

Para las conclusiones de la presente Tesis, se evalúa el cumplimiento de los objetivos redactado en los Sub-Capítulos 1.5 y 1.6.

En relación con el objetivo general, se expone lo siguiente:

- ***"****Desarrollar para el centro piscícola de la UNALM un sistema que permita incrementar la eficiencia del procedimiento de conteo de alevines de tilapia gris a un 98%, y de la medición de las dimensiones geométricas de largo y ancho de estos alevines a un 90%".*

  Como se explica en el Capítulo 5, se consiguió cumplir el objetivo general obteniendo una eficiencia del 98% en el procedimiento de conteo y del 90 % en el procedimiento de medición de las dimensiones geométricas de largo y ancho de alevines de tilapia gris en el centro piscícola de la UNALM.

En relación con los objetivos específicos:

- *"Desarrollar un sistema electromecánico para el traspaso de alevines de un ambiente global a un ambiente de menor escala en donde se realizará la captura de imágenes".*

  Como se explicó en el Capítulo 5, se logró diseñar y elaborar la estructura electromecánica la cual permitió trasladar muestras de alevines mediante tuberías las cuales conectan el recipiente global con el recipiente del segundo nivel ubicado al interior del recinto de adquisición de imágenes.

- *"Desarrollar un entorno físico idóneo para la adquisición de imágenes en alta calidad de una muestra de alevines y determinar la mejor ubicación y configuración de la cámara".*

  Como se expuso en el Capítulo 3, se implementó el recinto con iluminación propia el cual permitió realizar la captura de imágenes de la muestra de alevines del segundo nivel mediante la cámara web ubicada en la tapa del recinto.

- *"Desarrollar un circuito electrónico para el funcionamiento y control de todos los componentes electromecánicos utilizados en el proyecto incluyendo a los de la etapa de traspaso y del procesamiento y captura de imágenes".*

Como se expresó en el Capítulo 3, se realizó el diseño y elaboración de un circuito electrónico, que junto a un algoritmo en Python controla todos los componentes electromecánicos que intervienen en el proceso de traslado de alevines y la posterior captura de imágenes.

- *"Desarrollar un algoritmo de procesamiento de imágenes para realizar el conteo y medición de alevines, en conjunto con la interfaz gráfica, donde se visualizarán los resultados".*

  Como se explicó en el Capítulo 4, se desarrolló un algoritmo de procesamiento de imágenes para obtener los resultados del conteo, medición de largo y ancho de alevines de tilapia y la visualización de estos resultados mediante una interfaz gráfica.

- *"Validar el desempeño de la solución integral comparando los resultados del sistema con los resultados obtenidos en campo avalado por los expertos".*

  Como se expresó en el Capítulo 5, se validó los resultados obtenidos mediante el sistema propuesto comparándolos con los resultados obtenidos mediante el proceso manual aplicado en el centro piscícola de la UNALM.

Comentarios

- Mediante las pruebas realizadas, se evidenció que el comportamiento de los alevines de tilapia utilizados en el proceso no fue el esperado. Dado que, estos no circulan a favor de la corriente. Es por ello, que se utilizó rejillas para acercarlos o alejarlos del ducto de desfogue.

- Se corroboró que mientras los alevines de tilapia se encuentren fuera del agua, se obtiene un alto índice de deceso de estos. Por ende, en este proyecto se ha considerado mantenerlos siempre en contacto con el agua.

- Se verificó que el contraste entre los alevines y el ambiente de captura de imágenes aumenta si se utiliza luz blanca como iluminación y también el uso del color blanco en todas las caras de este ambiente.

- Se observó que la parte final de la cola de los alevines de tilapia resultan imperceptibles en la imagen adquirida. Para ello se determinó un factor proporcional al cuerpo de estos, y así compensar el largo del alevín.
- Se considera que este proyecto cumplió con las expectativas del centro piscícola de la UNALM, ya que representa una solución automatizada al problema de conteo y medición manual de alevines.
- La investigación y elaboración de tecnología para el sector acuícola que existe en el Perú es escaso y muchas veces inexistente. Lo cual genera, que los procesos aplicados en este sector no sean las óptimos. Así mismo, se tenga que importar sistemas cuyos costos son elevados.
- Perú en comparación de los demás países de la región, es uno de los mayores exportadores de tilapias y otras especies marinas, y además posee una tendencia de crecimiento para los próximos años. Por lo tanto, se espera que este sector reciba mayor apoyo con nuevas tecnologías.
- Se corroboró que el tiempo utilizado por el sistema para realizar el cálculo de la población de alevines de tilapia y sus respectivas medidas es menor al tiempo empleado para el cálculo manual del proceso utilizado por la UNALM.
- El proyecto resulta aplicable en otras empresas del sector acuícola, puesto que, por un cambio en la configuración del algoritmo, se podría detectar otras especies de alevines con tonalidades distintas.

RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

Las siguientes recomendaciones son en base al grado de error existente en el algoritmo de procesamiento de imágenes para el cálculo de la cantidad de alevines y sus dimensiones geométricas de largo y ancho:

- En el caso del algoritmo de conteo, el grado de error que existe es debido a que en el momento en que se realiza la captura de imagen de la muestra, dos o más alevines se encuentren rozándose entre sí. Lo cual genera error en el algoritmo al momento de realizar el etiquetado de objetos ya que estos alevines serán detectados como un solo objeto. Mayormente esto se produce cuando la cantidad de alevines de la muestra se acerca al límite planteado de 60 alevines. Por lo tanto, se recomienda no sobrepasar esta cantidad o diseñar otro algoritmo para separar a los alevines traslapados.

- Para el caso del algoritmo de cálculo de dimensiones geométricas de largo y ancho, el error que existe en el algoritmo es ocasionado por dos factores importantes. En primer lugar, que la parte final de la cola de cada alevín (8% del tamaño total) tiende a ser transparente en la imagen capturada, lo que genera que el algoritmo no detecte esa parte del alevín. La recomendación en este caso es mejorar los parámetros de cámara para capturar una imagen con mayor contraste entre esa parte de la cola y el fondo de la imagen. También, se puede aumentar el contraste cambiando al ambiente en el cual se realiza la adquisición de imágenes. En segundo lugar, existen casos en que en la imagen capturada haya alevines que no estén completamente rectos y, por ende, posean una curvatura que genere un aumento en el grado de error al momento de realizar el cálculo de las dimensiones geométricas. La recomendación que se realiza para este caso es añadir al algoritmo, técnicas como por ejemplo la esqueletización de objetos, para determinar una medida más exacta de las dimensiones del alevín.

Queda pendiente el diseño e implementación de un desfogue automático el cual debe ejecutarse al finalizar el proceso de conteo y medición de cada muestra analizada. Actualmente al finalizar el algoritmo, el usuario debe extraer del recinto de adquisición de imágenes, la pecera que contiene a la muestra de alevines y traspasar la muestra al recipiente final. Este proceso, debe de ser automático para evitar la interacción entre el usuario y el

sistema. Cabe resaltar, que la presente parte no se terminó debido a que se requiere un sistema de desfogue que no cause daños físicos a los alevines y pueda ser acoplado dentro del recinto de adquisición de imágenes.

Finalmente, en el caso de proyectos similares, se recomienda utilizar en lo posible en sus soluciones el procesamiento digital de señales o de imágenes como herramientas para el cálculo de sus variables. Esto debido a que actualmente existen gran variedad de sensores y cámaras que, acompañados de un sistema mecánico tienen resultados muy efectivos.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Production Minister (2009). “Plan nacional de desarrollo acuícola” Lima, Peru.

[2] Rubén Vásquez, Ahmed Cardona, Leidy Ocampo, (Julio-Diciembre del 2015) “Propuesta de sistema de conteo de alevines de tilapia roja de bajo costo usando técnicas de visión artificial” Revista Politécnica

[3] Y. H. Toh; T. M. Ng; B. K. Liew. (2009). “Automated Fish Counting Using Image Processing” International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering.

[4] F.J. Ferrero, J.C. Campo, M. Valledor, M. Hernando. (2014). En la publicación titulada “Optical Systems for the Detection and Recognition of Fish in Rivers” 2014 11th International Multi-Conference.

[5] R. Gonzales and R. Woods. (2007). Digital Image Processing, 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall.

[6] Real Academia De La Lengua Española, RAE, (25 de abril del 2020). https://dle.rae.es/acuicultura.

[7] FAO. (4-6 de septiembre de 2019). Panorama de la acuicultura marina y continental en América latina y el caribe. La Havana, Cuba.

[8] Ministerio de producción del Perú. (2009). Situación actual de la acuicultura en el Perú. http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/boletines/SITUACI%C3%93N%20ACTUAL%20DE%20LA%20ACUICULTURA%20EN%20EL%20PER%C3%9A.pdf.

[9] David M., Christian B., Karl B. (2016). La acuicultura peruana – una mirada al 2025.

[10] Baltazar, Paúl. (2006). La Tilapia En El Perú: Acuicultura, Mercado, Y Perspectivas. Revista Peruana De Biología 13 (3), 267-73. https://doi.org/10.15381/rpb.v13i3.2355.

[11] Aquascan. (5 de mayo del 2020). https://www.aquascan.com/.

[12] Teraqua. (5 de mayo del 2020). http://www.teraqua.fr/es/.

[13] Maskinfabrikken Apollo A/S. (17 de mayo del 2020). http://www.apollo.dk/.

[14] Método de conteo de alevines. (22 de marzo del 2017). https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=CN&NR=106530308A&KC=A&FT=D&ND=4&date=20170322&DB=&locale=en_EP.

[15] Contador de alevines y camarones. (24 de noviembre del 2017). https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=CN&NR=107372274A&KC=A&FT=D&ND=5&date=20171124&DB=&locale=en_EP.

[16] European Patent Office. (15 de abril del 2020). Worldwide. https://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP.

[17] Rubén Vásquez, Ahmed Cardona, Leidy Ocampo. (2015). "Propuesta de sistema de conteo de alevines de tilapia roja de bajo costo usando técnicas de visión artificial". Revista Politécnica.

[18] F.J. Ferrero, J.C. Campo, M. Valledor, M. Hernando. (2014). "Optical Systems for the Detection and Recognition of Fish in Rivers" IEEE 11th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices.

[19] Ekaterina Lantsova, Tatiana Voitiuk, Tatiana Zudilova, Arto Kaarna. (2016). "Using Low-Quality Video Sequences for Fish Detection and Tracking" SAI Computing Conference (SAI).

[20] Yongtian Lan, Zhijian Ji, Junwei Gao, Wang Yaowei. (2014). "Robot fish detection based on a combination method of three-frame-difference and background subtraction", The 26th Chinese Control and Decision Conference.

[21] Y. H. Toh; T. M. Ng; B. K. Liew. (2009). "Automated Fish Counting Using Image Processing" International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering.

[22] María Auxiliado-ra Saavedra Martínez. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Acuáticos (CIDEA-UCA).

[23] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. (febrero del 2006). Digital Image Processing. Third Edition.

[24] Del Carpio, Christian. (2016). *Fundamentos de la Imagen Digital*. Procesamiento Avanzado digital de Imágenes.

[25] Roberto Rodríguez Morales. (2011) Procesamiento Y Análisis Digital De Imágenes, RA-MA.

[26] J.J. Báez Rojas y M.A. Alonso Pérez. (Diciembre 2008) REVISTA MEXICANA DE FÍSICA E 54 (2) 186–192.

[27] Dra. Nora La Serna Palomino, Lic. Ulises Román Concha. (julio - diciembre 2009) Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes Revista de ingeniería de sistemas e informática, vol. 6, N.º 2

[28] Leandro E., Diana M., Camilo A., Juana Moncaleano Angel Cruz-Roa. (12 de diciembre del 2014). Obtención automática del cariotipo bovino mediante.

[29] Gonzalo Luzardo. (2009). Segmentación de imágenes basado en etiquetación de píxeles.

[30] GNU Octave (2012). 1-2. de https://www.gnu.org/software/octave/index.html.

[31] Resinex. (13 de mayo del 2020). https://www.resinex.es/tipos-de-polimeros/pmma.html.

[32] Thyssen ThyssenKrupp Aceros y Servicios S.A. Aceros Inoxidables. Normas AISI 304 y 304L. (14 de mayo del 2020). http://www.thyssenkrupp.cl.

[33] ASOVEN PVC. (14 de mayo del 2020) https://www.asoven.com/pvc/que-es-el-pvc-ventajas-fabricacion-e-impacto-ambiental/.

[34] Revista Perú Construye Ed. 51. (14 de mayo del 2020). https://peruconstruye.net/2018/11/16/tubos-de-pvc-elementos-resistentes-de-alta-fluidez/.

[35] Raven, Peter (1992). Editorial Reverté, ed. Biología de las plantas, Volumen 2. p. 470.

[36] Usos y aplicaciones de la madera. (2016) Asociación Española del Comercio e Industria de la Madera (AEIM).

[37] Malla de Plástico. (14 septiembre del 2016). https://malla-de-plastico.com/2016/09/14/malla-plastica-multiusos/.

[38] Michael Tooley, BA. (2002*). Electronic Circuits: Fundamentals and Applications.* (2nd ed.).

[39] L. Floyd, Thomas. (2007). Principios de circuitos eléctricos. (8ª ed.). Editorial: Pearson.

[40] L. Mott, Robert. (2006). *Mecánica de fluidos.* (6ª ed.). Editorial: Pearson.

[41] Arregui de la Cruz, Francisco et al (2017) *Apuntes mecánica de fluidos.* Editorial: Universitat Poltecnica de Valencia

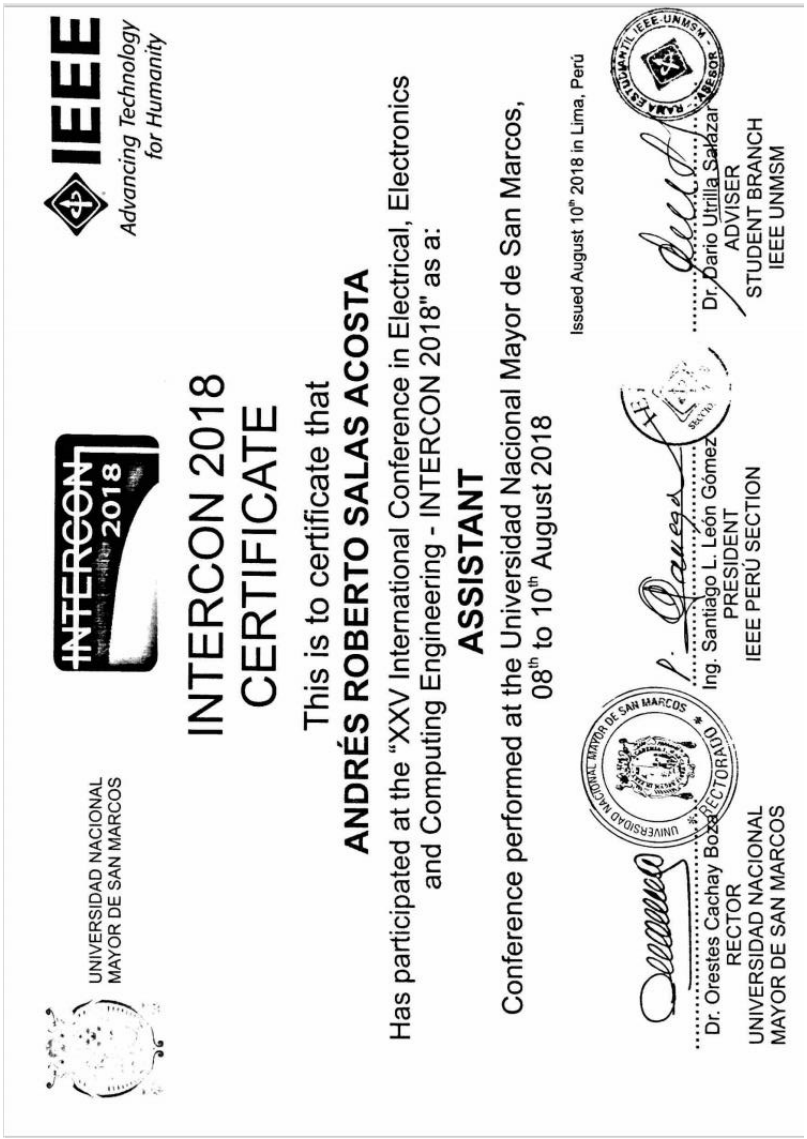
[42] D. Wilson, Jerry; J.Buffa, Anthony (2003) *Física* (5ª ed.). Editorial: Pearson

[43] A. Serwway, Raymond; W.Jewett, John (2014) *Physics for scientist and engineers with Modern Physics* (9th ed.)

[44] Frank M. White (2011). Fluid Mechanics. (7ª ed.)

7 ANEXOS

7.1 Certificado de presentación de publicación científica en congreso internacional INTERCON 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

INTERCON 2018

IEEE Advancing Technology for Humanity

INTERCON 2018
CERTIFICATE

This is to certificate that
ANDRÉS ROBERTO SALAS ACOSTA
Has participated at the "XXV International Conference in Electrical, Electronics and Computing Engineering - INTERCON 2018" as a:
ASSISTANT
Conference performed at the Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 08th to 10th August 2018

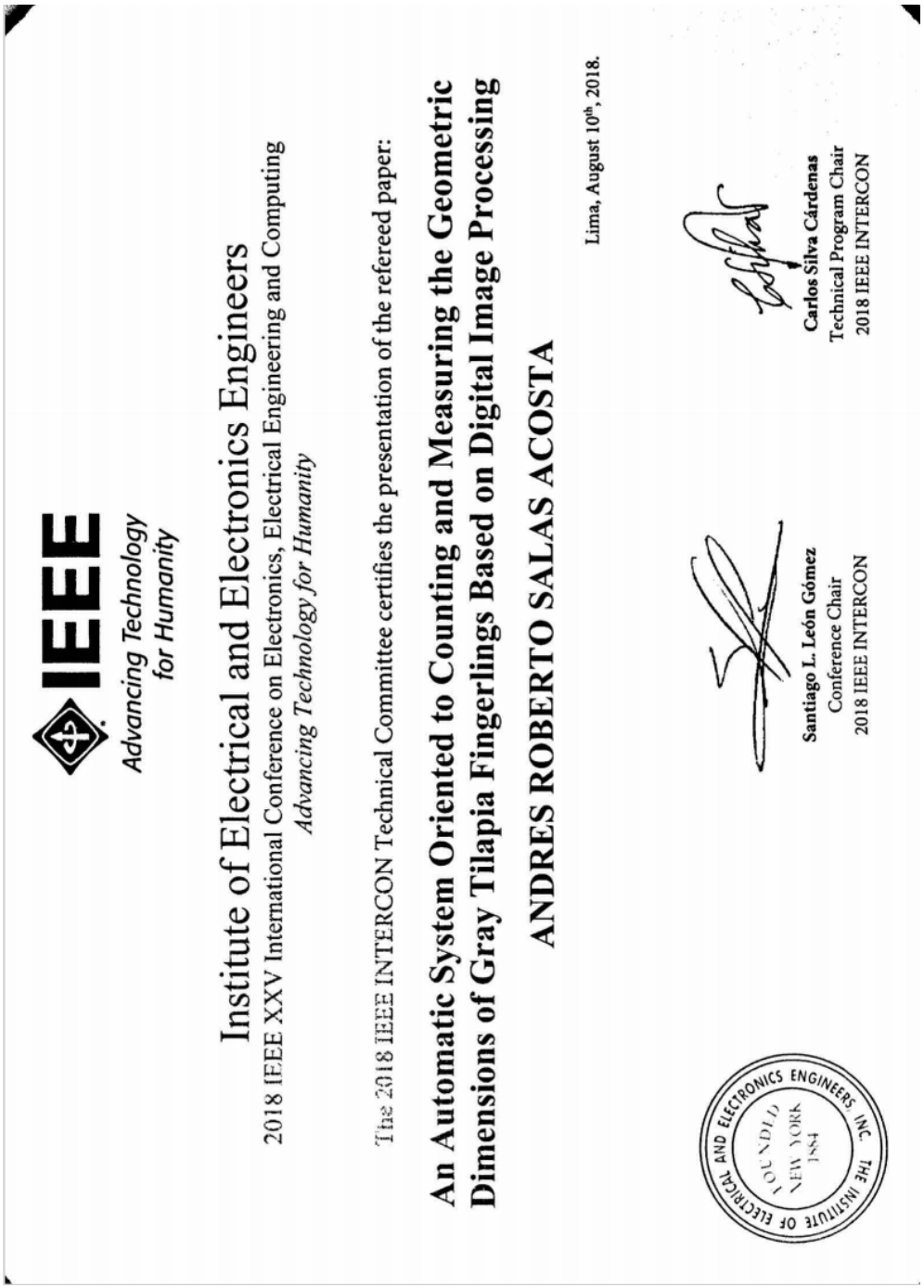
Issued August 10th 2018 in Lima, Perú

Dr. Orestes Cachay Boza
RECTOR
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Ing. Santiago L. León Gómez
PRESIDENT
IEEE PERÚ SECTION

Dr. Dario Utrilla Salazar
ADVISER
STUDENT BRANCH
IEEE UNMSM

7.2 Certificado de exposición de la publicación científica indexada por IEEE



IEEE

Advancing Technology for Humanity

Institute of Electrical and Electronics Engineers

2018 IEEE XXV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing

Advancing Technology for Humanity

The 2018 IEEE INTERCON Technical Committee certifies the presentation of the refereed paper:

An Automatic System Oriented to Counting and Measuring the Geometric Dimensions of Gray Tilapia Fingerlings Based on Digital Image Processing

ANDRES ROBERTO SALAS ACOSTA

Lima, August 10th, 2018.

Santiago L. León Gómez
Conference Chair
2018 IEEE INTERCON

Carlos Silva Cárdenas
Technical Program Chair
2018 IEEE INTERCON

THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, INC. FOUNDED NEW YORK 1884

7.3 Certificado de indexación por Scopus de publicación científica en congreso internacional INTERCON 2018

Scopus

Documents

Export Date: 03 May 2021

Search: TITLE-ABS-KEY(AN AUTOMATIC SYSTEM ORIENTED TO COUNTING AND M...

1) Mejía, B., Salas, A., Kemper, G.
An Automatic System Oriented to Counting and Measuring the Geometric Dimensions of Gray Tilapia Fingerlings Based on Digital Image Processing
(2018) Proceedings of the 2018 IEEE 25th International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2018, art. no. 8526426, .

1) https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85058032837&doi=10.1109%2fINTERCON.2018.8526426&partnerID=4
DOI: 10.1109/INTERCON.2018.8526426

Document Type: Conference Paper
Publication Stage: Final
Source: Scopus

Search: TITLE-ABS-KEY(AN AUTOMATIC SYSTEM ORIENTED TO COUNTING AND MEASURING THE GEOMETRIC DIMENSIONS OF GRAY TILAPIA FINGERLINGS BASED ON DIGITAL IMAGE PROCESSING)

ELSEVIER Terms and conditions Privacy policy
Copyright © 2021 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V. RELX Group™

7.4 Indexación por IEEE de publicación científica en congreso internacional INTERCON 2018

An Automatic System Oriented to Counting and Measuring the Geometric Dimensions of Gray Tilapia Fingerlings Based on Digital Image Processing

Brian Mejia[1], Andrés Salas[2] y Guillermo Kemper[3]
[1,2,3]School of Electronic Engineering, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Peru
[1]robri_95@hotmail.com, [2]salillas_2011@hotmail.com, [3]guillermo.kemper@gmail.com

Abstract- The present work develops an automatic system that allows the counting and the measuring of a population of gray tilapia fingerlings. At the present, the processes for calculate the geometric dimensions of the fish, have a great subjectivity and spend a lot of time. In addition, the fingerling could be stressed because they are removed from the water, which it could lead to death. In this way, it searches to eradicate the manual intervention, thus a mechanical piece is elaborated which holds two fish tanks and an enclosure with illumination. A transfer of little by little of fingerlings from the first to the second container is carried out, for this purpose the grids, controlled by motors, are used to bring them closer or move them away from the orifice of the first container. Also, a pneumatic electric ball valve is used, which works as a gate that allows or forbid the passage of the fingerlings through the PVC pipe. Then, with the fingerlings in the enclosure, it proceeds to execute the counting and measuring algorithms. Satisfactory results were obtained because it has an accuracy of 97% in counting, 92% and 90% in length and width measuring respectively, endorsed by specialists. In addition, the time for the calculation of both parameters were reduced in comparison to the manual.

Keywords- counting, measuring, gray tilapia fingerling, automation, image processing

I. Introduction

The aquaculture is the cultivation of aquatic vegetable and animal species. In the field of cultivation of animal species, it contributes half of all fish intended for human consumption in the world. In 2014, it contributed a new annual maximum of twenty kilograms per capita, reports the UN Organization for the Food of Agriculture (FAO) [1].

In Peru, the aquaculture has a low level of development in comparison to other countries in the region and it only focuses on a few species. According to the production ministry of Peru, the first semester of 2008, 82.9% of the production area (19,110.06 hectares) corresponds to the marine aquaculture activity (production at sea) and 17,09% (3,938.93 hectares) to the continental aquaculture activity (production in designed places) [2]. One of the most cultivated fish in Peru are the tilapias. However, there are deficient processes used by the entities who cultivate the fingerlings, since they carry out these activities manually. These entities are dedicated to commercializing the fingerlings hence they must perform a calculation of quantity and size of length and width as accurate as possible because a degree of error not so close to zero generates economic losses as much as the discomfort and losses of customers by not delivering the true quantities. Likewise, the manual counting and measuring generate unnecessary stress to the fingerling because they are extracted from their natural habitat which unfortunately could trigger in the mortality of these during the process or after it.

In this way the present project proposes a method of automatic counting and measuring of gray tilapia fingerlings by an algorithm based on image processing using an electromechanical system for the proper positioning of them.

Currently, there are proposals and methods of counting of fingerlings in the publications, however, they do not have an adequate system of transfer and positioning to count and measure them with adequate effectiveness.

Rubén Vásquez et al. presents in [3] a fingerling counting system based on real-time image processing. The structure is based on an acrylic ramp with white background with adjustable declination and a support for the camera, the fingerling will circulate to a container due to gravity. The image processing will be done for each frame of the video, where the algorithm starts using image segmentation methods, thresholding and the convex full method that calculate the vertices of a convex polygon with the purpose of defining the shape of the fingerling. Finally, it uses noise reduction methods. The project has the deficiency that a user must introduce always the fingerlings that will fell on the ramp, therefore it could only obtain the count of the introduced sample.

Y. H. Toh et al. presents in [4] a fingerling counting system where there is a first container that covers a small number of fingerlings, and then it transports a few of them to a second container where they will be counted. Image processing is used to do this. Background subtraction is applied so that it is only feasible to recognize the fingerling, after the image is converted to binary, it is thresholdized, then the fish is recognized due to the number of pixels of an object. According to the tests, the algorithm has an accuracy of 90% if a maximum of eight fingerlings are counted, this precision decreases when the number of fingerlings increases. It is also affected by environment light because it does not have an enclosure with constant lights.

F.J. Ferrero et al. presents in [5] a system for counting and measuring small and medium-sized river fish. The results presented are satisfactory, however the system does not count or measure baby fish such as fingerlings.

978-1-5386-5491-0/18/$31.00 ©2018 IEEE

7.5 Resolución emitida por INDECOPI con el otorgamiento de patente de modelo de utilidad.

PERÚ | Presidencia del Consejo de Ministros | INDECOPI

DIRECCIÓN DE INVENCIONES Y NUEVAS TECNOLOGÍAS

EXPEDIENTE Nº 000422-2019/DIN

RESOLUCIÓN Nº 001139-2020/DIN-INDECOPI

Lima, 08 de octubre de 2020

Patente de modelo de utilidad: Concedida

Mediante expediente Nº 000422-2019/DIN, iniciado el 12 de marzo de 2019, UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS S.A.C.; Roger Brian MEJÍA RAMOS; Andrés Roberto SALAS ACOSTA y Guillermo Leopoldo KEMPER VÁSQUEZ, todas de Perú, solicitan patente de modelo de utilidad para "SISTEMA AUTOMÁTICO ORIENTADO AL CONTEO Y OBTENCIÓN DE DIMENSIONES GEOMÉTRICAS DE ALEVINES DE TILAPIA BASADO EN PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES", C.I.P.8 G06M 11/00; A01K 61/00, cuyos inventores es Roger Brian MEJÍA RAMOS; Andrés Roberto SALAS ACOSTA y Guillermo Leopoldo KEMPER VÁSQUEZ.

1. EXAMEN DE PATENTABILIDAD

El modelo de utilidad solicitado reúne los requisitos establecidos en la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina que aprueba el Régimen Común sobre Propiedad Industrial, conforme aparece en el examen de patentabilidad que corre a fojas 76 y 77 del expediente.

La presente Resolución se emite en aplicación de la norma legal antes mencionada y en uso de las facultades conferidas por los artículos 37 y 40 de la Ley de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi) sancionada por Decreto Legislativo N° 1033, concordado con el artículo 4 del Decreto Legislativo 1075 que aprueba las disposiciones complementarias a la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina.

2. RESOLUCIÓN DE LA DIRECCIÓN DE INVENCIONES Y NUEVAS TECNOLOGÍAS

OTORGAR patente de modelo de utilidad para "SISTEMA AUTOMÁTICO ORIENTADO AL CONTEO Y OBTENCIÓN DE DIMENSIONES GEOMÉTRICAS DE ALEVINES DE TILAPIA BASADO EN PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES", C.I.P.8 G06M 11/00; A01K 61/00, a favor de UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS S.A.C.; Roger Brian MEJÍA RAMOS; Andrés Roberto SALAS ACOSTA y Guillermo Leopoldo KEMPER VÁSQUEZ, todas de Perú, por un plazo de diez (10)

años, contados desde el 12 de marzo de 2019, fecha de presentación de la solicitud, aprobándose la única reivindicación que corre a foja 73 del expediente.

Regístrese y Comuníquese

Indecopi Firma Digital
Firmado digitalmente por CASTRO CALDERÓN Manuel Javier FAU 20133840533 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 08.10.2020 11:17:25 -05:00

MANUEL CASTRO CALDERÓN
Director de Invenciones y
Nuevas Tecnologías
INDECOPI

DIRECCIÓN DE INVENCIONES Y NUEVAS TECNOLOGÍAS · INDECOPI ·
PRP/jsa

7.6 Documento de validación otorgado por parte del CINPIS de la UNALM

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE PESQUERIA
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de independencia"

La Molina, 17 de Julio del 2021

DOCUMENTO DE VALIDACIÓN

TESIS: DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO ORIENTADO AL CONTEO Y MEDICIÓN GEOMÉTRICA DE ALEVINES DE TILAPIA BASADO EN PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Mediante el presente documento, se reconoce que los autores de la tesis, Brian Mejia Ramos y Andrés Salas Acosta, alumnos de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, acudieron al Centro de Investigación Piscícola (CINPIS) de la Facultad de Pesquería, ubicado en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para desarrollar una solución a la problemática del proceso de conteo y la medición biométrica de los alevines de tilapia, actividad rutinaria realizada antes de su comercialización, que demandaba mucho tiempo y experiencia de parte de los operarios del centro.

Para ello fue necesario una capacitación y demostración *in situ* de estos procesos, con la finalidad de utilizar esta información como base teórica para que, en combinación con los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Electrónica, se alcance a automatizar estos procesos con una mayor precisión en el conteo de peces, se pueda disminuir la mortalidad de los alevinos de tilapia y reducir el tiempo de análisis de la información.

Para validar los objetivos propuestos, se evidenció ante los expertos del CINPIS el funcionamiento y resultados del sistema para así comparar estos resultados con los adquiridos mediante el proceso manual realizado.

Esta validación está compuesta de 3 partes:

- Transporte y posicionamiento de muestras de alevines de los tanques de cultivo al ambiente donde se ejecutó el algoritmo del sistema.
- Resultados del conteo de muestras y poblaciones de alevines de tilapia.
- Resultados de la medición biométrica de muestras y poblaciones de alevines de tilapia.

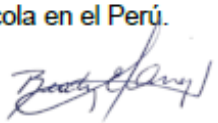
Se concluye que la Tesis realizada por los mencionados bachilleres logró alcanzar los siguientes objetivos:

- Mostrar una eficiencia de un mínimo del 98% en el proceso de conteo de alevines de tilapia
- Mostar una eficiencia de un mínimo del 90% en el proceso de medición biométrica de alevines de tilapia

Av. La Molina s/n La Molina, Lima – Perú 614 7800 anexos 290 – 207 / 614 7143 anexo 643
fpesqueria@lamolina.edu.pe

- Permitir el transporte y posicionamiento de una población de alevines de tilapia mediante muestras no mayores a 60 de estos.
- Disminuir el índice de mortalidad.
- Disminuir del tiempo de ejecución de estos procesos.

Finalmente, se expresa las felicitaciones a los autores por la innovación en la solución del problema y su aplicación, la cual será de gran utilidad en el campo acuícola en el Perú.



M.Sc. Beatriz E. Angeles Escobar
Profesor Asociado
Facultad de Pesquería
Universidad Nacional Agraria La Molina
Teléfono personal: +51 942766293
E-mail: bangeles@lamolina.edu.pe

7.7 Algoritmo de control de actuadores.

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setup(23,GPIO.OUT)
GPIO.setup(24,GPIO.OUT)
GPIO.setup(17,GPIO.OUT)
GPIO.setup(27,GPIO.OUT)
GPIO.setup(5,GPIO.OUT)
GPIO.setup(6,GPIO.OUT)


GPIO.output(17,1) #Prende rejilla 1
time.sleep(2)
GPIO.output(17,0)  #Apaga rejilla 1
GPIO.output(5,1)  #Inicia compresora
time.sleep(0.8)
GPIO.output(6,1)  #Inicia valvula
GPIO.output(24,1)  #Inicia rejilla 2
time.sleep(1.1)
GPIO.output(24,0)  #Apaga rejilla 2
GPIO.output(6,0)  #Apaga valvula
time.sleep(0.8)
GPIO.output(5,0)  #Apaga compresora
GPIO.output(23,1)  #Invierte sentido rejilla 2
GPIO.output(24,1)  #Inicia rejilla 2
GPIO.output(27,1)  #Invierte sentido rejilla 1
GPIO.output(17,1)  #Inicia rejilla 1
time.sleep(1.1)
GPIO.output(23,0)  #Invierte sentido rejilla 2
GPIO.output(24,0)  #Apaga rejilla 2
time.sleep(0.9)
GPIO.output(27,0)  #Invierte sentido rejilla 1
GPIO.output(17,0)  #Apaga rejilla 1
```