



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Facultad de Ciencias e Ingeniería



**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN ALGORITMO
QUE PERMITA ESTIMAR EL TAMAÑO DE PECES,
APLICANDO VISIÓN POR COMPUTADORA, Y
PROPUESTA PARA REALIZAR LA SELECCIÓN
ADECUADA DE DICHOS PECES**

Tesis para optar el título de Ingeniero Electrónico

Presentado por:
Henry Orellana Lizano

Lima - PERÚ
2008

RESUMEN

En nuestros días la acuicultura representa una de las actividades más importantes que se vienen desarrollando a lo largo de los últimos años debido a la necesidad de contar con otra fuente de alimentación para proveer a la población mundial que día a día crece desmesuradamente. Por lo tanto, existe la necesidad de implementar equipos tecnológicos para obtener recursos de mejor calidad; además, reducir y evitar la muerte de dichos recursos alimenticios por la mala manipulación de las personas en la etapa de crianza.

La situación actual en el Perú es crítica a pesar que se hace uso de tecnología en la acuicultura; sin embargo, dicha tecnología es muy precaria o no es la adecuada para ser utilizada y ello ocasiona que los peces obtenidos no sean de buena calidad o que haya una alta mortandad de dichos peces por la mala aplicación de la tecnología. Justamente uno de los principales problemas que se presenta es la alta mortandad de peces en el proceso de selección que se realiza cuando están listas para ser llevadas al mercado ocasionando así pérdidas económicas para el acuicultor.

Es por ello que se plantea el desarrollo de un algoritmo que permita estimar el tamaño de los peces sin la necesidad de que haya contacto físico entre el hombre y los animales aplicando, para ello, técnicas de visión por computadora. Para realizar el planteamiento se realizó estudios de las diferentes técnicas empleadas en visión por computadora y la necesidad de contar con imágenes tomadas por cámaras seleccionadas para el posterior procesamiento con los métodos estudiados.

Finalmente se obtiene las longitudes medidas con un margen de error menor al 10% lo cual indica que un sistema de visión por computadora es eficiente.

INDICE

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: CULTIVO DE TRUCHAS: PROCESO DE SELECCIÓN Y LA

PROBLEMÁTICA ACTUAL

1.1 Crecimiento de la acuicultura en el ámbito mundial	Pág. 12
1.2 Estado actual de la acuicultura en el Perú	Pág. 14
1.2.1 Trucha y langostinos	Pág. 15
1.2.2 Dificultades de la acuicultura en el Perú	Pág. 16
1.2.3 Factores que afectan la producción de truchas en el Perú	Pág. 16
1.2.4 Comercialización de la trucha	Pág. 17
1.2.4.1 Características del mercado	Pág. 17
1.2.5 Cifras de la acuicultura en el Perú	Pág. 18
1.3 Manejo pre-cosecha en el cultivo de truchas	Pág. 18
1.3.1 Selección	Pág. 18
1.3.2 Movilización	Pág. 19
1.3.3 Depuración	Pág. 19
1.3.4 Estanquería	Pág. 19
1.4 Manejo de la cosecha en el cultivo de truchas	Pág. 20
1.4.1 Características necesarias para la selección de las truchas	Pág. 20
1.4.2 Pasos necesarios para la selección de las truchas	Pág. 21
1.4.2.1 Cosecha en laguna	Pág. 22

CAPÍTULO 2: AUTOMATIZACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE TRUCHAS

2.1 Estado del Arte	Pág. 27
2.1.1 Presentación del asunto de estudio	Pág. 27
2.2 Visión por computadora	Pág. 28

2.2.1	Etapas que conforman un sistema de visión por computadora	Pág. 28
2.2.2	Aplicaciones de los sistemas de visión por computadora	Pág. 29
2.3	Iluminación de la infraestructura	Pág. 30
2.3.1	Espectro electromagnético	Pág. 30
2.3.2	Luminotecnia	Pág. 31
2.3.2.1	Flujo luminoso	Pág. 31
2.3.2.2	Intensidad luminosa	Pág. 32
2.3.2.3	Eficiencia luminosa	Pág. 33
2.3.2.4	Iluminancia	Pág. 34
2.3.2.5	Luminancia	Pág. 35
2.3.3	Técnicas de iluminación	Pág. 35
2.3.3.1	Iluminación frontal	Pág. 35
2.3.3.1.1	Difusa	Pág. 36
2.3.3.1.2	Direccional	Pág. 36
2.3.3.1.3	Polarizada	Pág. 36
2.3.3.2	Carpa de luz	Pág. 36
2.3.3.3	Iluminación de ángulo bajo	Pág. 37
2.3.3.4	Campo oscuro	Pág. 37
2.3.3.5	Iluminación estroboscópica	Pág. 37
2.3.3.6	Retroiluminación	Pág. 38
2.3.3.6.1	Difusa	Pág. 38
2.3.3.6.2	Colimada	Pág. 38
2.3.3.6.3	Polarizada	Pág. 38
2.3.3.7	Iluminación estructurada	Pág. 38
2.3.3.7.1	Láser	Pág. 39
2.3.3.7.2	Patrones en red	Pág. 39
2.3.3.7.3	Color	Pág. 39
2.3.3.8	Iluminación coaxial	Pág. 39

2.4	Calibración de las cámaras	Pág. 40
2.4.1	Calibraciones fotogramétricas	Pág. 40
2.4.2	Autocalibración	Pág. 41
2.4.3	Cámaras métricas	Pág. 41
2.4.4	Cámaras no métricas o “amateur”	Pág. 41
2.4.5	Cámaras semi-métricas	Pág. 42
2.5	Adquisición de imágenes	Pág. 42
2.6	Procesamiento Digital de Imágenes	Pág. 46
2.6.1	Filtrado	Pág. 47
2.6.2	Operadores aritméticos y lógicos	Pág. 47
2.6.3	Operadores que modifican el histograma	Pág. 47
2.6.4	Operadores estadísticos	Pág. 48
2.6.5	Operadores morfológicos	Pág. 48
2.6.6	Transformaciones geométricas	Pág. 48

CAPÍTULO 3: VENTAJAS DEL USO DE VISIÓN POR COMPUTADORA EN EL

DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO

3.1	Hipótesis de la investigación	Pág. 49
3.1.1	Hipótesis principal	Pág. 49
3.1.2	Hipótesis secundarias	Pág. 49
3.2	Objetivos de la investigación	Pág. 50
3.2.1	Objetivo general	Pág. 50
3.2.2	Objetivos específicos	Pág. 50
3.3	Universo y muestra	Pág. 51
3.4	Propuesta de solución	Pág. 51
3.4.1	Adquisición de la imagen	Pág. 51
3.4.2	Pre-procesamiento de la imagen	Pág. 57
3.4.2.1	Histograma de la imagen	Pág. 57

3.4.2.2	Selección de planos RGB	Pág. 58
3.4.2.3	Filtro pasa bajos	Pág. 59
3.4.2.4	Realce del contraste de la imagen	Pág. 62
3.4.2.5	Segmentación de la imagen	Pág. 63
3.4.2.6	Detección de bordes de la imagen	Pág. 66
3.4.3	Procesamiento de la imagen	Pág. 67

CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA SELECCIÓN DE TRUCHAS Y ANÁLISIS DE DATOS

4.1	Consideraciones preliminares	Pág. 72
4.2	Ordenamiento de los datos obtenidos	Pág. 73
4.2.1	Pruebas realizadas con la imagen ideal N° 01	Pág. 73
4.2.1.1	Primera prueba realizada	Pág. 74
4.2.1.2	Segunda prueba realizada	Pág. 75
4.2.1.3	Tercera prueba realizada	Pág. 76
4.2.2	Pruebas realizadas con la imagen ideal N° 02	Pág. 77
4.2.2.1	Primera prueba realizada	Pág. 77
4.2.2.2	Segunda prueba realizada	Pág. 78
4.2.2.3	Tercera prueba realizada	Pág. 79
4.2.3	Pruebas realizadas con la imagen ideal N° 03	Pág. 80
4.2.3.1	Primera prueba realizada	Pág. 80
4.2.3.2	Segunda prueba realizada	Pág. 81
4.2.3.3	Tercera prueba realizada	Pág. 82
4.3	Pruebas con imágenes obtenidas por las cámaras utilizadas	Pág. 84
4.3.1	Prueba realizada con la imagen experimental N° 01	Pág. 84
4.3.2	Prueba realizada con la imagen experimental N° 02	Pág. 86
4.3.3	Prueba realizada con la imagen experimental N° 03	Pág. 88
4.3.4	Prueba realizada con la imagen experimental N° 04	Pág. 90

4.3.5 Prueba realizada con la imagen experimental N° 05	Pág. 92
4.3.6 Prueba realizada con la imagen experimental N° 06	Pág. 94
4.4 Costos de implementación	Pág. 97

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

FUENTES



INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha observado una creciente demanda en la actividad acuícola a nivel mundial debido a la necesidad de proveer de alimentos a la población mundial que día a día presenta un gran crecimiento, ello ocasiona que se explote otros tipos de recursos alimenticios tales como el pescado o diversos moluscos. Sin embargo, la excesiva explotación de dichos recursos ocasiona pérdidas innecesarias y por lo tanto su disminución; es por ello que en la actividad acuícola se inició con la implementación de equipos tecnológicos los cuales hacen que el proceso de crianza y explotación sean los más óptimos para así obtener recursos de mejor calidad y además evitar las muertes innecesarias de los peces y moluscos.

Sin embargo, la acuicultura en el Perú tiene un bajo nivel de desarrollo y está orientado al cultivo de pocas especies, esto se debe a que la tecnología aplicada es muy precaria y por lo tanto se obtiene especies de baja calidad que sólo pueden ser vendidos en el mercado local limitando así una posible exportación de las especies cultivadas. Entre los problemas de la acuicultura de nuestro país está la alta mortandad de peces debido a la mala manipulación en el proceso de selección y ello ocasiona pérdidas económicas que afectan severamente al acuicultor.

El presente trabajo plantea la siguiente hipótesis: dado que la selección de las truchas depende específicamente del uso de tecnologías precarias lo cual ocasiona la muerte de una buena cantidad de estos debido al maltrato al que son sometidos y al constante contacto entre el acuicultor y los peces en dicho proceso de selección; entonces el diseño y desarrollo de un algoritmo que permita estimar el tamaño de un pez, aplicando visión por computador, permite tener una selección adecuada de las truchas obteniendo así una reducción de la mortandad de dichos peces.

Esta investigación constituye un primer paso para una adecuada selección de los peces y para ello hacemos uso de técnicas basadas en visión por computadora, luego de estimar las longitudes o tamaños de los peces se puede seleccionarlos utilizando algún mecanismo de control para ello.

El presente trabajo muestra una investigación exhaustiva sobre las diferentes técnicas empleadas en visión por computadora así como también un análisis de las consideraciones necesarias para la toma de las imágenes que han de ser procesadas.

La investigación se ha dividido en cuatro capítulos principales; el primero de ellos abarca la importancia de la acuicultura en la población mundial, además muestra la situación actual de la acuicultura en el Perú y el proceso que se lleva a cabo para la selección de los peces.

El segundo capítulo muestra información necesaria para poder realizar un algoritmo que permita estimar las longitudes de un pez a partir de una imagen tomada con una cámara, también cuenta con los requerimientos para una buena toma de imagen y las consideraciones necesarias para ello.

El tercer capítulo muestra la propuesta de solución y todos los pasos requeridos para dicha implementación, también muestra los equipos elegidos y cálculos necesarios para el desarrollo del algoritmo.

El último capítulo muestra las pruebas realizadas y la aplicación del algoritmo a diversas imágenes obtenidas por la cámara utilizada, además muestra los datos obtenidos y el rango de error producido por la implementación del sistema.

Al final del documento se presenta las conclusiones de todo el proceso realizado así como también muestra algunas recomendaciones para la mejora del trabajo y la posible implementación de un sistema completo de selección de peces.

Como conclusión final se puede afirmar que las estimaciones realizadas presentan un margen de error menor al 10% lo cual indica que el sistema planteado, utilizando visión por computadora, puede ayudar a mejorar el proceso de selección de dichos peces.



DEDICATORIA

Quiero agradecer a mis padres, quienes fueron la motivación principal que me llevaron a desarrollar esta tesis y además fueron el soporte incondicional durante el desarrollo del documento ya que no me permitieron caer en los momentos más difíciles; al profesor Julio Tafur por sus enseñanzas y sus valiosos consejos brindados para la culminación de la tesis ya que sin sus consejos hubiese sido como un barco a la deriva; al rayito de luz que siempre iluminó mi camino y a todas las personas, que con su insistente aliento, hicieron posible el desarrollo de la tesis.

En memoria a H.O.Q.

CAPÍTULO 1

CULTIVO DE TRUCHAS: PROCESO DE SELECCIÓN Y LA PROBLEMÁTICA

ACTUAL

1.1 Crecimiento de la acuicultura en el ámbito mundial

La demanda mundial de productos pesqueros se ha duplicado en las últimas tres décadas por el incremento de la población y por un aumento en el consumo *per cápita* de pescado, que ha pasado de 11 Kg/persona/año en 1970 a casi 16 Kg en 2000. Los productos pesqueros son la más importante fuente de proteína animal del mundo, representando el 25% de la proteína ingerida en los países en vías de desarrollo y el 10% en Europa y Norteamérica (APROMAR 2004).

La producción de la pesca extractiva alcanzó sus máximos a finales de los años 90 y desde entonces fluctúa en torno al mismo nivel, indicando que los caladeros se están explotando cerca de su producción máxima sostenible. Muchos de estos están siendo sobrepescados y algunos han sido ya esquilados, mientras que las flotas pesqueras de la mayoría de los países necesitan ser fuertemente subvencionadas. Las mejoras en la gestión de los recursos de la pesca lograrán, a lo sumo, mantener estos niveles de pesca (APROMAR 2004).

Estudios de la FAO indican que se ha alcanzado el techo de aprovechamiento de la pesca extractiva, y que los incrementos en producción de productos pesqueros sólo podrán provenir de la acuicultura, como ya ha sucedido en los últimos 15 años. En la Figura 1 se muestra la evolución de la producción pesquera mundial (APROMAR 2004).

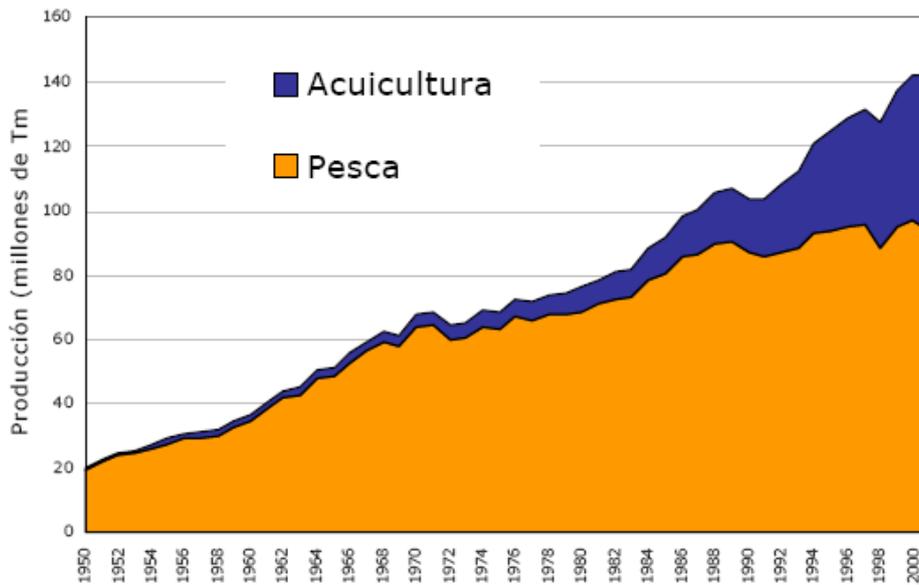


Figura 1: Evolución de la producción pesquera mundial 1950-2001 (en millones de toneladas)

La acuicultura tiene una historia de 4.000 años, pero ha sido desde los años 50 cuando se ha convertido en una actividad económica relevante. Su contribución al suministro mundial de pescado, crustáceos y moluscos crece imparable año tras año. Según estadísticas de la FAO, ha pasado del 5,2% de la producción total en 1970 al 41,1% en 2006.

La acuicultura crece con mayor rapidez que los demás sectores de producción de alimentos de origen animal. En el ámbito mundial, el sector ha aumentado por término medio el 9,2% al año desde 1970, frente al crecimiento de sólo el 1,4% registrado en la pesca de captura y el 2,8% en los sistemas terrestres de producción de carne.

La acuicultura es una actividad que abarca muy variados aspectos y una amplia gama de especies, sistemas y prácticas. Su dimensión económica ofrece nuevas oportunidades económicas gracias a la creación de empleo, a la utilización más eficaz de los recursos naturales y a las oportunidades en inversión productiva. La acuicultura también contribuye cada vez más al comercio local e internacional.

El éxito de la acuicultura moderna se basa en el control sobre la reproducción de las especies, al mejor conocimiento de su biología, a las innovaciones tecnológicas y al desarrollo de alimentos específicos. Más de la mitad de la producción mundial de la acuicultura en el año 2000 consistió en peces, pero el incremento de la producción ha tenido lugar en todos los grupos de especies. En la Figura 2 se muestra las tendencias de los grupos de especies producidos a nivel mundial (APROMAR 2004).

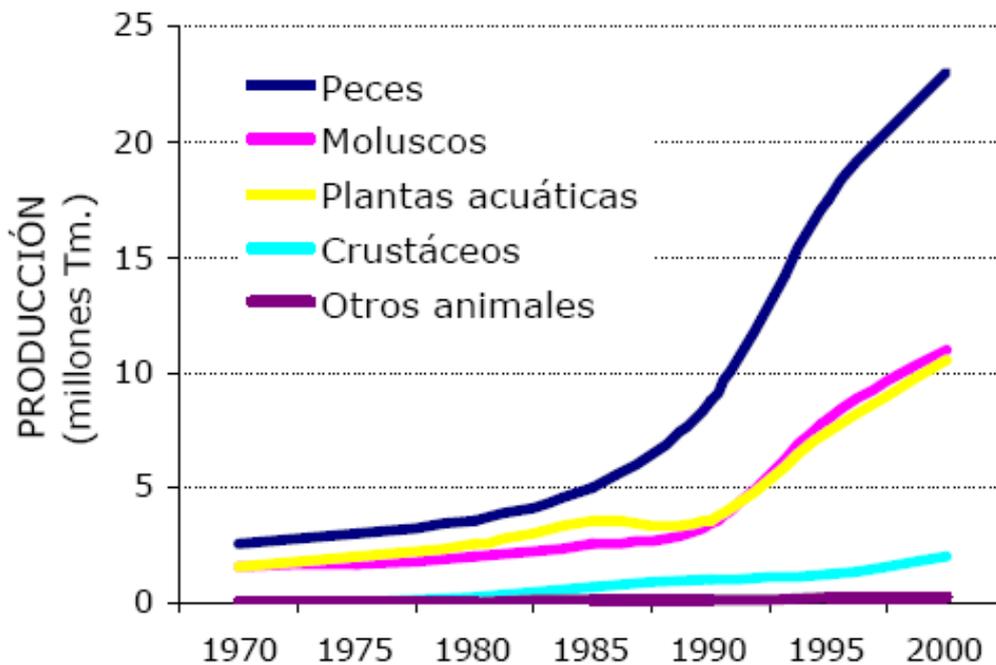


Figura 2: Tendencias de la producción mundial de acuicultura por grupos de especies

1.2 Estado actual de la acuicultura en el Perú

Según un estudio de la FAO, la acuicultura en el Perú tiene un bajo nivel de desarrollo y está orientada al cultivo de pocas especies. El 89 por ciento de la actividad se desarrolla en el mar y sólo el 11 por ciento en aguas continentales, subraya. “La acuicultura no constituye una industria, sino un conjunto de actividades dispersas con diferentes grados de articulación”, indica.

1.2.1 Trucha y langostinos

Diversas localidades de la Sierra están ligadas al cultivo de truchas. Su crianza se inicia en 1925 cuando se importa 50 mil ovas embrionadas de trucha arco iris para ser sembradas en un vivero particular a orillas del río Mantaro, en La Oroya (AQUAHOY 2007)

En 1934, por iniciativa privada, se instala un criadero en Quichuay y luego en Ingenio. Este último vivero pasó a manos del Estado en 1940, convirtiéndose primero en la estación de piscicultura de Junín, y hoy es el centro piloto de la truchicultura de la Sierra Central (AQUAHOY 2007)

La crianza de la trucha se ha difundido ampliamente, incluso se ha utilizado para repoblar ríos, lagunas y lagos, con resultados positivos.

Sin embargo, señala la FAO, existen “ciertas limitaciones naturales y otras causadas” por las actividades humanas como: ausencia de campos suficientes para su reproducción.

Otra actividad importante es la crianza de langostinos. Su cultivo se basa en la recolección de pos larvas de la especie en ciertas épocas del año, se aprovecha su tendencia natural de migrar hacia zonas más ricas en nutrientes y de menor salinidad.

Las pos-larvas capturadas son sembradas en estanques construidos en terrenos arcillosos y generalmente salinos.

Se pueden obtener cosechas cada 4 o 6 meses, sus costos de producción son relativamente bajos y el producto tiene un gran valor en el mercado internacional. Lo que hace atractiva esta actividad.

1.2.2 Dificultades de la acuicultura en el Perú

Un documento, publicado por la FAO, revela que no existe un estudio que indique cuántas personas trabajan en la acuicultura. Tampoco se cuenta con un inventario con datos de área de cultivo, inversión y personal en las diferentes modalidades de la acuicultura que se desarrolla en la Costa, Sierra y Selva.

Refiere también que existe una carencia de cuadros profesionales. “Falta una adecuada planificación en la formación del cuadro de profesionales por parte de las universidades, que debería regirse por las necesidades reales del país”, señala. “La escasez de un apropiado número de personal calificado en los diferentes niveles (planificación, técnico y extensionista), es una de las razones que dificultan el desarrollo de la acuicultura en el Perú”, remarca.

La FAO indica que existe un esfuerzo disperso en esta actividad, hay limitaciones en la asistencia técnica, escasez de líneas de crédito y dificultades en la obtención de alimentos de buena calidad.

1.2.3 Factores que afectan la producción de truchas en el Perú

- ✓ **Asociado al pez:** Comportamiento del animal según estadio biológico, requerimiento nutricional, exigencia medio – ambiental, tasa de crecimiento, asimilación de alimento, historial sanitario, factor de condición, canibalismo, captación de oxígeno, generación de sólidos fecales, stress, adaptación a elevadas densidades de carga, etc.
- ✓ **Asociado al agua:** Oxígeno Disuelto, nitrito, nitratos, alcalinidad total, pH, caudal, amonio, sólidos suspendidos, sólidos sedimentados, temperatura, transparencia, contaminantes, DBO, viscosidad.
- ✓ **Asociado al Confinamiento:** Volumen de agua, velocidad de agua, profundidad del estanque, recambio de agua, diseño de salidas, forma del estanque, etc.

- ✓ **Asociado a la nutrición:** Tasa de alimentación, forma de alimentación, calidad nutricional del alimento, almacenamiento de alimento, etc.
- ✓ **Asociado al Manejo:** Técnicas de muestreo, frecuencia de muestreos, técnicas de alimentación, densidad de carga, mantenimiento de los estanques, limpieza de los estanques, clasificación de tallas, manipuleo de reproductores, planificación de la producción, etc. (Viceministerio de Pesquería 2004).

1.2.4 Comercialización de la trucha

La trucha se comercializa en diferentes presentaciones: fresca (entera, eviscerada con cabeza; eviscerada sin cabeza), congelada (entera, eviscerada con cabeza; eviscerada sin cabeza), deshuesada corte mariposa, filete, ahumada en frío o caliente, conservas (medallones o rodajas, grated, deshuesado).

1.2.4.1 Características del mercado

El mercado de la trucha se caracteriza por contar con muchos proveedores, procesadores y distribuidores. Los productos que se exportan pueden pasar a través de diferentes canales de distribución antes de que llegue a su destino final.

Los principales entes que participan en los canales de distribución son: el agente intermediario, que realiza los contactos y comercializa con el producto por una comisión, el importador que toma posesión del producto para luego venderlo a mayoristas o minoristas, la industria procesadora que procesa el producto para darle mayor valor agregado, y los detallistas o comerciantes minoristas.

La calidad del producto es la clave para una exitosa penetración al mercado, particularmente el europeo. El mercado Europeo es un mercado competitivo para los que desean entrar con un producto como la trucha, países como el Reino Unido, Alemania, Francia, Italia, España y otros llevan compitiendo en dicho mercado. De otro

lado los consumidores exigen ciertas características en los productos a consumir (calidad, conveniencia, salud, ingresos, etc.).

1.2.5 Cifras de la acuicultura en el Perú

- ✓ 105 millones de toneladas de pescado se destinan al consumo humano anualmente. De este total, 45.5 millones de toneladas son aportadas por la acuicultura.
- ✓ 40 millones de toneladas de pescado adicionales serán necesarias en el 2030 para mantener los actuales niveles de consumo.

En mayo del 2007, el Ministerio de la Producción puso en marcha el proyecto Estrategia Nacional para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura en el Perú. Este esfuerzo del Gobierno es financiado por la FAO.

Uno de los objetivos del proyecto es elaborar un plan de acción nacional para la aplicación de la estrategia que indique la forma en que puedan participar diferentes entidades y usuarios en el desarrollo nacional de la acuicultura. Para ello se ha previsto realizar en cada una de las regiones un estudio de dicha actividad que establezca las bases de desarrollo regional de la acuicultura.

1.3 Manejo pre-cosecha en el cultivo de truchas

Para garantizar la máxima calidad de la trucha producida en las granjas se tiene que hacer un manejo pre-cosecha, el cual tiene las etapas de selección, movilización y depuración de los peces.

1.3.1 Selección

Se escogerán lotes de peces que no estén en tratamiento con medicamentos o que tengan como mínimo 30 días de haber sido dosificados con algún antibiótico permitido

para peces. Este lote de peces deberá dejarse sin alimentar un día y será seleccionado por talla, según sea el pedido programado.

1.3.2 Movilización

El lote, una vez seleccionado, deberá transportarse del estanque de producción al estanque de depuración.

1.3.3 Depuración

Una vez en el estanque de depuración los peces deberán permanecer 3 días como mínimo y 6 como máximo sin alimento ni manejo alguno. Este proceso ayuda a mejorar la textura de la carne de la trucha cuando va a ser procesada, y elimina sabores indeseados como el sabor a tierra y a humedad.

Es determinante dietar (suprimir la ingesta de alimento balanceado) a los animales durante el proceso de depuración, ya que de esta forma se logrará evitar que exista un deterioro acelerado de la carne por la proliferación de microorganismos y enzimas de las vísceras, una vez que los peces son sacrificados.

1.3.4 Estanquería

La estanquería de las granjas, se establece que sea de materiales industrializados como son el concreto, mampostería, geo membranas y/o fibra de vidrio, ya que optimizan la hidrodinámica, los recambios de agua, la calidad del agua, el espacio de los estanques, la remoción de materia orgánica producto de la producción y la limpieza y sanitización de los estanques.

Las granjas deben de contar con un estanque de depuración de materiales industrializados, para limpiar a la trucha que va a ser cosechada para ser vendida con el objetivo de retirar el sabor a tierra que pueda presentar el producto. Los tanques de depuración deberán estar construidos con materiales inertes, como concreto, fibra de vidrio, plástico, etc. y de preferencia deben de ser de forma circular.

1.4 Manejo de la cosecha en el cultivo de truchas

Una vez transcurrido el tiempo de depuración de los peces sigue el proceso de cosecha y sacrificio, dependiendo de la presentación del producto que solicite el cliente. Sin embargo, la cosecha de trucha arco iris es un proceso que se debe realizar de manera cuidadosa, para asegurar la calidad del producto en la fase final del cultivo.

Durante la cosecha deben tomarse precauciones para evitar las raspaduras o daño en la piel y carne de los peces. También debe reducirse el estrés de las truchas durante la cosecha ya que la calidad de la carne puede ser afectada. Es recomendable sacrificar a los peces lo más rápidamente posible para evitar el sufrimiento innecesario.

1.4.1 Características necesarias para la selección de las truchas

- ✓ Las instalaciones, materiales e instrumentos utilizados para la manipulación de los peces deberán mantenerse limpios, desinfectados y en buen estado
- ✓ Antes del inicio y al final de la jornada laboral, se limpiarán minuciosamente los materiales e instrumentos. Para la cosecha es recomendable utilizar materiales inoxidable (BANCOMEX 2006).
- ✓ Se deben aplicar técnicas apropiadas de cosecha para minimizar el daño físico y evitar el estrés en los peces (BANCOMEX 2006).
- ✓ Las truchas no deben someterse al calor extremo o a variaciones bruscas de temperatura, o exponerse directamente al sol o a superficies que hayan sido calentadas por éste. Se deben mantener temperaturas bajas durante la cosecha para evitar la proliferación de microorganismos y afectar la calidad del producto.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo del personal con la indumentaria e instrumentos necesarios para la selección de los peces (BANCOMEX 2006).

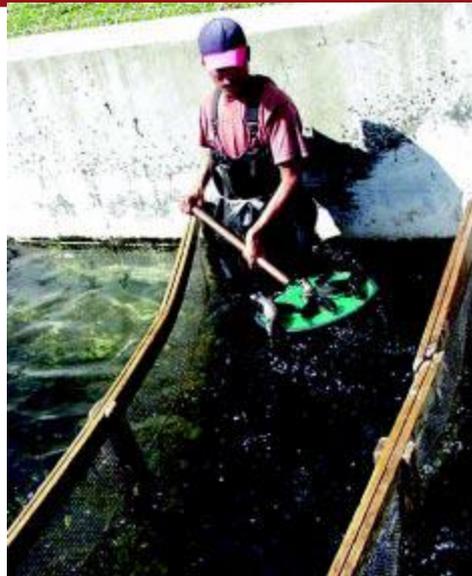


Figura 3: Durante la cosecha, el personal debe utilizar vestimenta y equipo adecuado que esté limpio, en buenas condiciones y en su caso desinfectado.

1.4.2 Pasos necesarios para la selección de las truchas

Se debe tener en cuenta los siguientes criterios de selección:

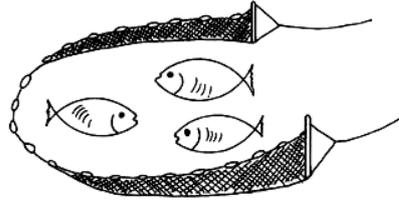
1. **Calibre o tamaño del pez:** Peces de mayor tamaño pueden ser comercializados a un mejor precio.
2. **Coloración de la carne:** En la mayoría de los mercados se premia la carne de un color rojo intenso.
3. **Apariencia externa:** En general, se prefiere peces de coloración externa plateada, sin signos de madurez sexual, así como también sin deformaciones u otros defectos. (Martínez 1997).

Las Figuras 4, 5, 6, 6(a), 6(b.1), 6(b.2), 7 y 8 se obtuvieron desde la siguiente fuente:

(<http://www.fao.org/docrep/field/009/ag196s/ag196s01.htm>)

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de la selección de las truchas.

SAQUE LOS PECES.....



....SI ALCANZAN EL TAMAÑO
PARA EL MERCADO

Figura 4: Selección de las truchas

1.4.2.1 Cosecha en laguna

En la Figura 5 se muestra los pasos necesarios para la cosecha en laguna.

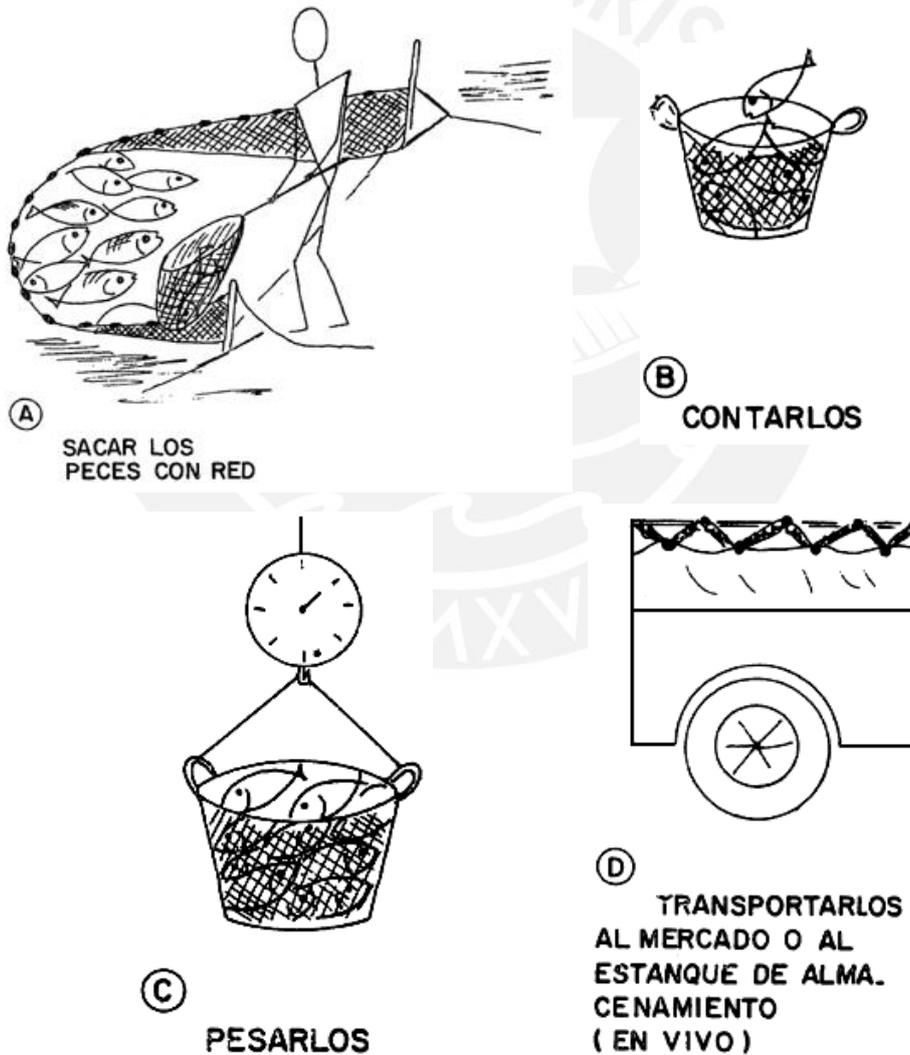


Figura 5: Pasos necesarios para la selección de las truchas

Los peces, los cuales se transportan vivos después de contar y pesar, se debe colocarlos inmediatamente en agua con abundante oxígeno, tal como se muestra en la Figura 6.

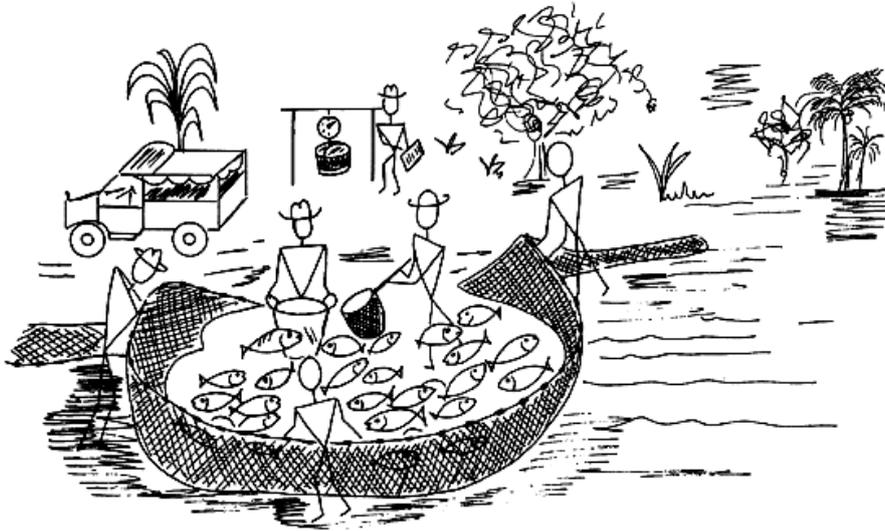


Figura 6: Proceso de cosecha de las truchas

Los instrumentos necesarios para la cosecha de las truchas son:

- ✓ Redes
- ✓ Salabardo (red de cucharón)
- ✓ Cesta colectora
- ✓ Peso
- ✓ Transporte

En las Figuras 6(a), 6(b.1), 6(b.2) y 6(c) se muestran los instrumentos necesarios para la cosecha de las truchas.

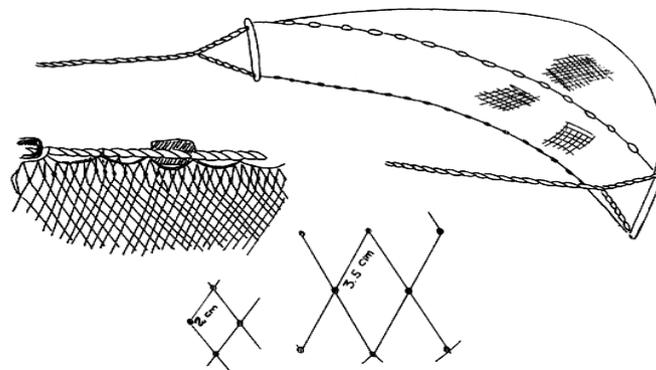


Figura 6(a): Herramientas utilizadas en la selección de las truchas (redes)

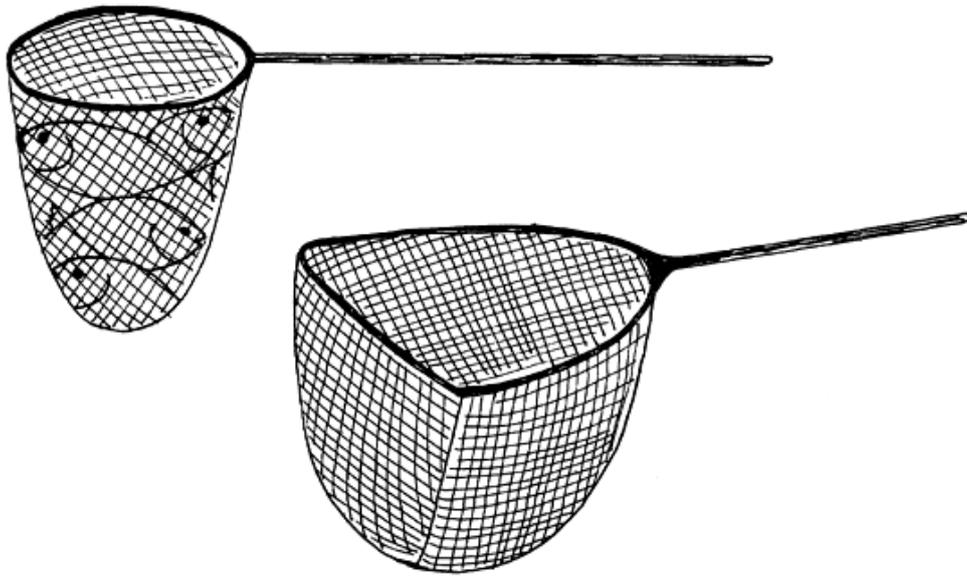


Figura 6(b.1): Herramientas utilizadas en la selección de las truchas (salabardos)

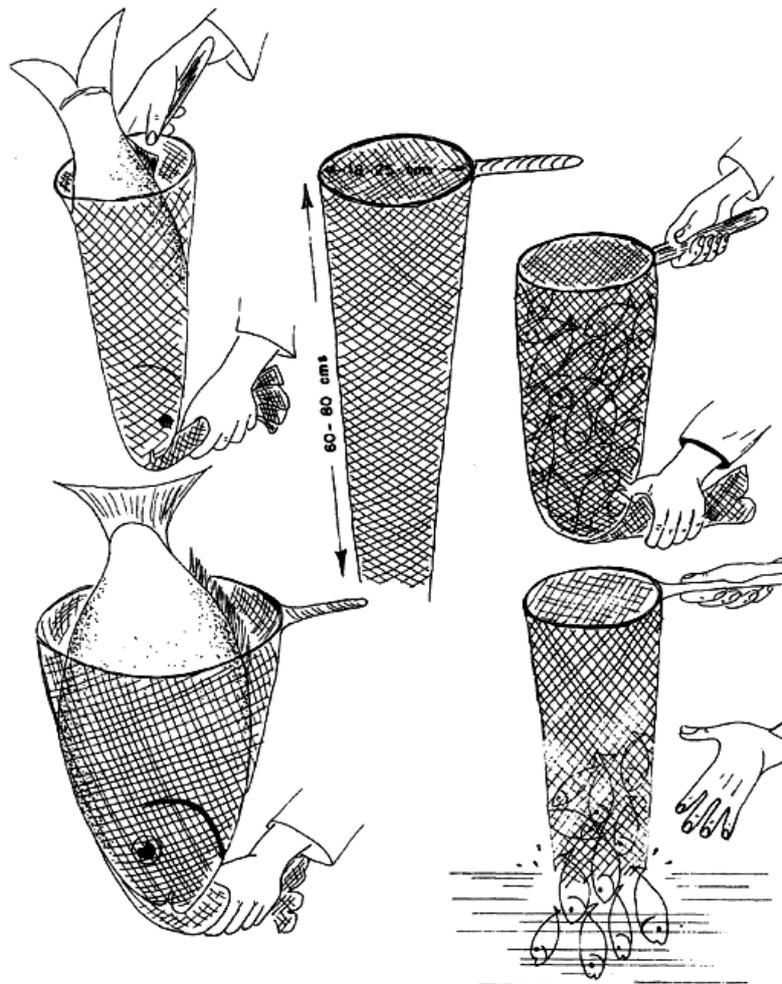


Figura 6(b.2): Herramientas utilizadas en la selección de las truchas (salabardos)

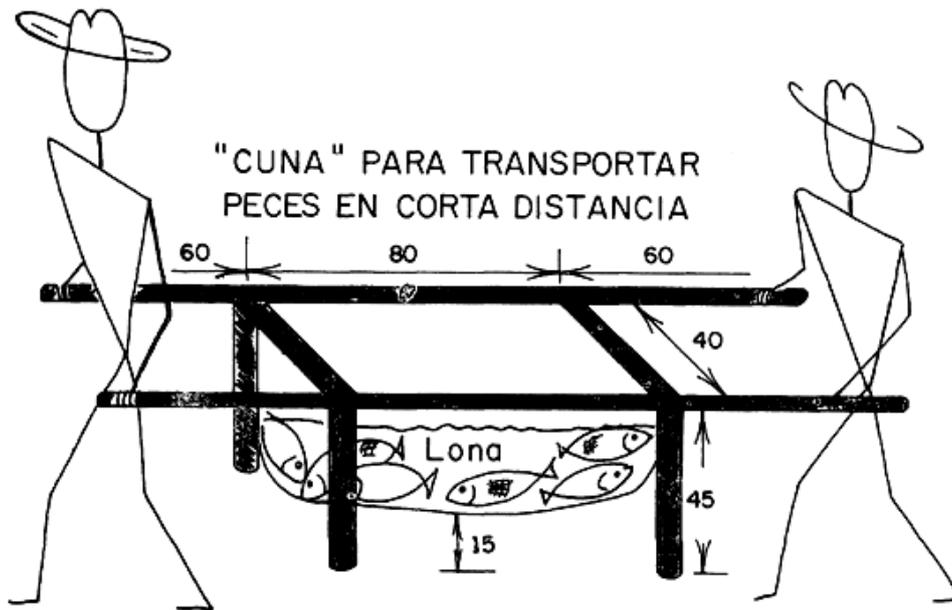


Figura 6(c): Herramientas utilizadas en la selección de las truchas (cesta colectora)

- ✓ En la Figura 7 se muestra una cosecha parcial con chinchorro largo en laguna no drenada

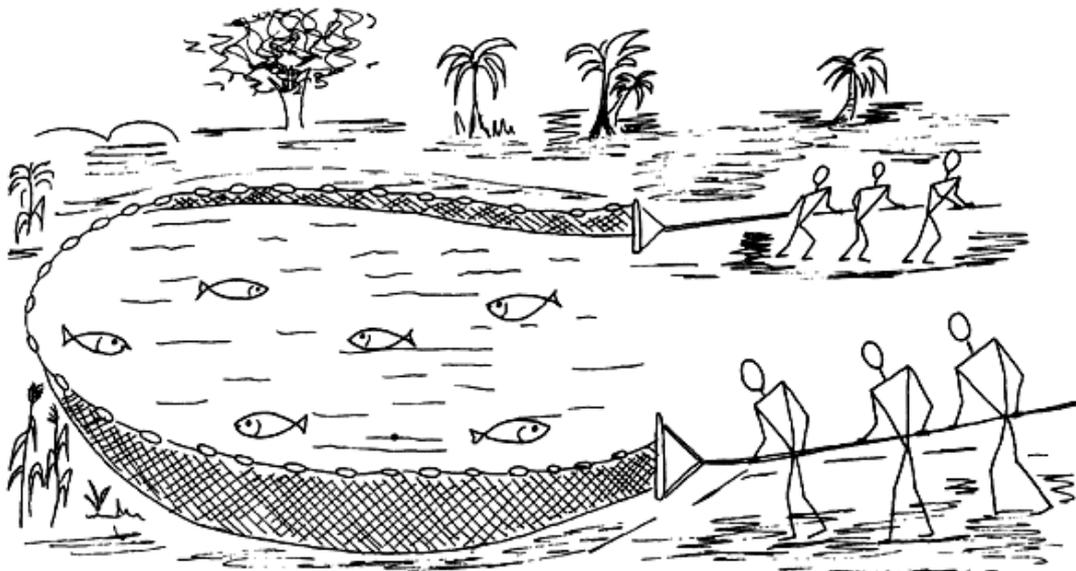


Figura 7: Proceso de selección en laguna no drenada

- ✓ En la Figura 8 se muestra una cosecha total en laguna progresivamente drenada

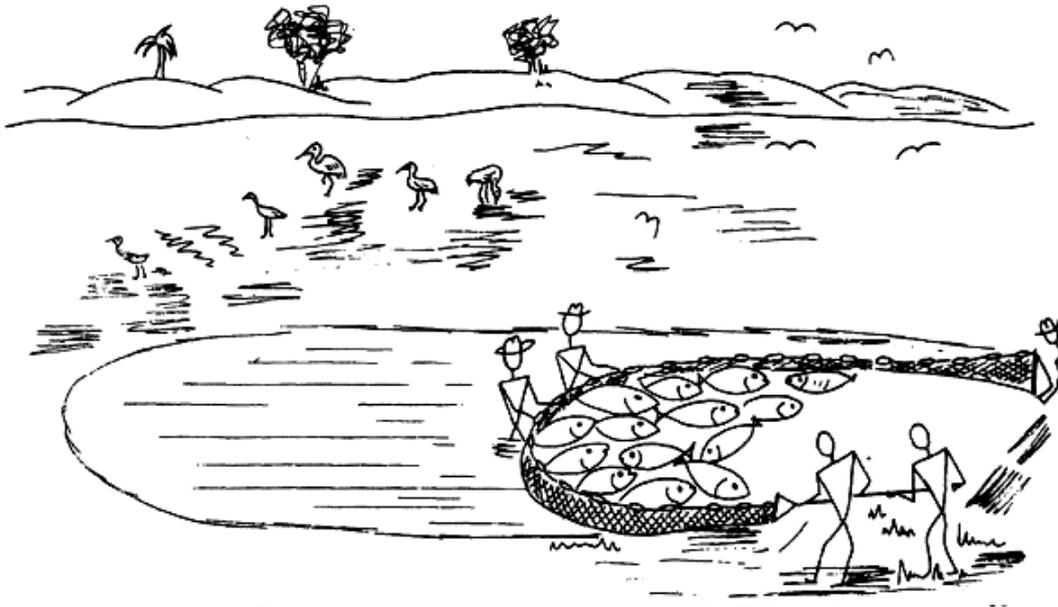


Figura 8: Proceso de selección en laguna progresivamente drenada



CAPÍTULO 2

AUTOMATIZACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE TRUCHAS

2.1 Estado del Arte

A continuación se presenta la base teórica sobre la que se basa la investigación, desde el marco teórico de la piscicultura hasta las que implican a la automatización y control del proceso de alimentación.

2.1.1 Presentación del asunto de estudio

El interés mundial por la acuicultura es, básicamente, debido al gran crecimiento de la población y es por ello que existe la necesidad de producir una mayor cantidad de alimentos; las empresas pesqueras que proveen en gran medida éstas necesidades proteicas de nuestra población han llegado a un límite debido a este crecimiento; en consecuencia la acuicultura es una solución alimentaria para el mundo. Los procesos en el cultivo de peces son variados y éstos requieren de una tecnología específica para poder obtener una producción eficiente y por ello es necesario controlar variables importantes tales como la temperatura, pH, oxígeno disuelto, nitratos entre otros; además, controlar la selección adecuada de los peces es, también, muy importante; con un sistema que permite seleccionar, de manera adecuada, los peces se puede reducir el stress y la mortandad de estos comparados con un proceso manual.

El presente estudio muestra las tecnologías que se utilizan para poder realizar una buena selección de los peces. Se describe las diversas técnicas utilizadas para la obtención del tamaño del pez.

Como corolario, se observa que al utilizar un sistema basado en visión estéreo o visión por computadora nos produce mejores resultados; sin embargo, en nuestro país dicha técnica aun no es utilizada. Por tal motivo, es de mucha importancia realizar un

sistema automatizado que permita una buena elección de los peces y así tener un cultivo eficiente y con baja mortandad de peces.

2.2 Visión por computadora

El término "*Visión por Computadora*" dentro del campo de la Inteligencia Artificial puede considerarse como el conjunto de técnicas y modelos que nos permitan el procesamiento, análisis y explicación de cualquier tipo de información obtenida a través de imágenes digitales (INAOE 2004).

La visión por computadora se define generalmente como la construcción de descripciones explícitas y significativas de la estructura y de las características del mundo de 3 dimensiones desde imágenes de 2 dimensiones (Schierwagen 2001).

Dado que la información visual es una de las principales fuentes de datos del mundo real es necesario proveer a una computadora digital del sentido de la vista y que junto con otros mecanismos hagan de ésta una herramienta capaz de detectar y ubicar objetos en el mundo real ya que dicha función es el objetivo principal de la Visión por Computadora (INAOE 2004).

2.2.1 Etapas que conforman un sistema de visión por computadora

El proceso de visión por computadora puede subdividirse en seis áreas principales:

- ✓ **Sensado:** Es el proceso con el cual se obtiene una imagen visual.
- ✓ **Preprocesamiento:** Trata de las técnicas de reducción de ruido y enriquecimiento de detalles en la imagen.
- ✓ **Segmentación:** Es el proceso que divide una imagen en objetos de nuestro interés.

- ✓ **Descripción:** Es el proceso mediante el cual se obtienen características convenientes para diferenciar un tipo de objeto de otro, por ejemplo: tamaño y forma.
- ✓ **Reconocimiento:** Es el proceso que identifica los objetos que son necesarios para nuestros análisis.
- ✓ **Interpretación:** Asigna un significado a un conjunto de objetos reconocidos. (Vega 1998).

2.2.2 Aplicaciones de los sistemas de visión por computadora

Los sistemas de visión por computadora pueden ser usados en diferentes áreas, por ejemplo:

- ✓ **Agricultura:**
 - Análisis de imágenes tomadas por satélites
 - Análisis de las plantaciones: crecimiento, enfermedades
- ✓ **Biomedicina:**
 - Análisis de imágenes tomadas por rayos x
 - Análisis de imágenes tomadas por ultrasonidos
 - Análisis de sangre
- ✓ **Control de calidad:**
 - Verificación de etiquetas
 - Inspección de contenedores
 - Inspección de motores
 - Inspección de motores
 - Control de calidad de comida
 - Inspección de soldaduras
 - Inspección de circuitos impresos
 - Inspección madera, tela, fundiciones, papel

- ✓ **Control de tráfico:**
 - Identificación de matrículas de vehículos
 - Control de tráfico diario
- ✓ **Identificación:**
 - Identificación automática de huellas dactilares
 - Reconocimiento de caras
- ✓ **Aplicaciones militares:**
 - Detección de seguimiento de objetivos
 - Análisis del terreno
 - Armas inteligentes
- ✓ **Robótica:**
 - Guiado de robots industriales
 - Navegación de robots móviles
- ✓ **Seguridad:**
 - Vigilancia de edificios
 - Detección de explosivos por rayos x

2.3 Iluminación de la infraestructura

La iluminación, según el diccionario de la lengua española, se define como la cantidad de luz que entra o existe en un determinado lugar. Para una buena adquisición de imágenes es necesario tener una infraestructura correctamente iluminada; entonces, es necesario tener en cuenta los siguientes conceptos.

2.3.1 Espectro electromagnético

La luz es una forma de energía radiante consistente de ondas electromagnéticas, dentro de dichas ondas se encuentran las ondas luminosas que ocupan una parte muy pequeña del espectro electromagnético. Los límites de la radiación visible se sitúan

entre los 380 – 400 nanómetros y el superior entre 760 – 780 nanómetros (Banda 2006). En la Figura 9 se muestra el gráfico del espectro electromagnético.

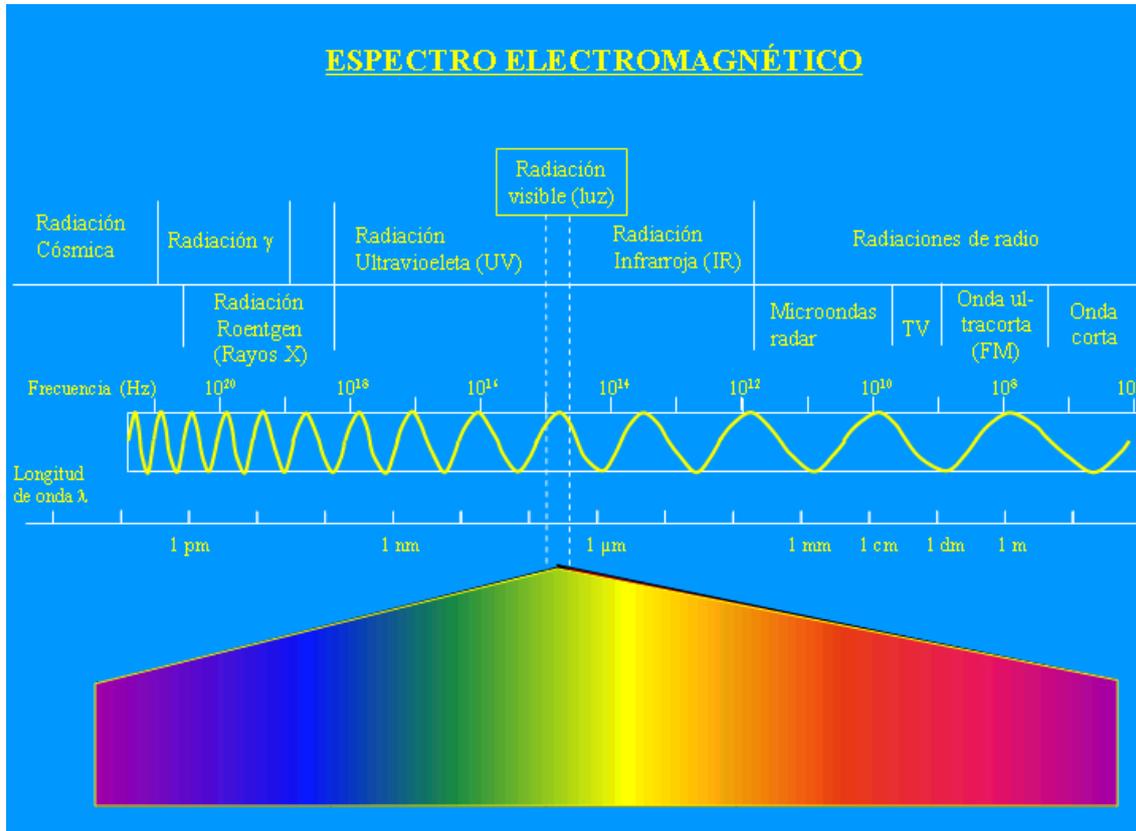


Figura 9: Espectro electromagnético

2.3.2 Luminotecnia

Se define como la ciencia que se encarga del estudio de las diversas formas de producción de luz así como también del control y aplicación con fines domésticos, industriales o artísticos (Tantas 2006).

Entre las magnitudes principales, empleadas en luminotecnia, se tienen los siguientes:

2.3.2.1 Flujo luminoso

Magnitud que mide la potencia o caudal de energía de la radiación luminosa, se define como la cantidad de energía radiante por una fuente luminosa por unidad de tiempo en todas las direcciones (Banda 2006), multiplicada por la sensibilidad espectral relativa del sistema visual humano e integrada sobre el rango de longitudes de onda del

espectro visible (Ibarra 2005); su unidad es el lumen (lm) y su símbolo es la letra griega (Φ). En la Figura 10 se muestra un ejemplo de flujo luminoso.

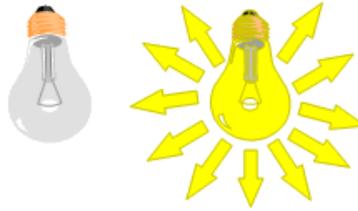


Figura 10: Flujo luminoso

En la Tabla 1 se muestran algunos valores de flujos luminosos para diferentes tipos de lámparas.

Tabla Nº 1

Tipo de lámpara	Lúmenes
Lámpara de incandescencia de 100 W.	1250 Lm.
Lámpara fluorescente de 40 W "blanca"	2000 Lm.
Lámpara halógena de 1000 W.	22000 Lm.
Lámpara de vapor de mercurio 125 W.	5600 Lm.
Lámpara de sodio de 1000 W.	120000 Lm.

2.3.2.2 Intensidad luminosa

El flujo luminoso nos da la cantidad de luz que se emite en todas direcciones del espacio; sin embargo, en muchas aplicaciones es necesario cuantificar el flujo luminoso en una cierta dirección de dicho espacio, es por ello que se define la intensidad luminosa.

La intensidad luminosa de una fuente de luz es la relación que existe entre el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera (Fernández 2007); también puede ser definido como la densidad de luz dentro de un pequeño sólido, en una dirección determinada (Banda 2006); Su símbolo es (I) y se expresa en candelas (cd) que es equivalente a un lumen por estereorradián ($cd = lm/sr$) (Ibarra 2005). En la Figura 11 se muestra un ejemplo de intensidad luminosa.

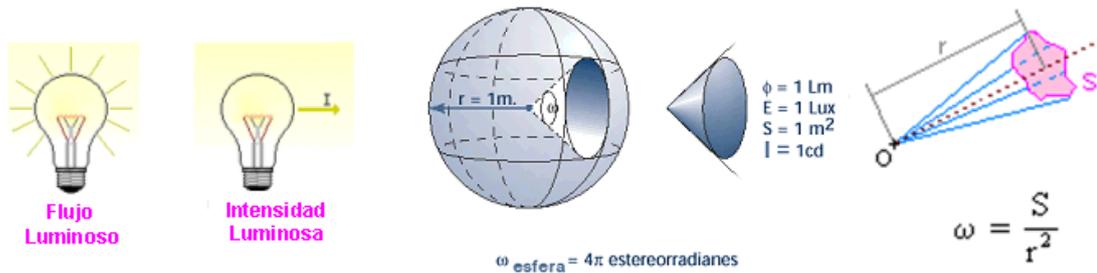


Figura 11: Intensidad luminosa

2.3.2.3 Eficiencia luminosa

Expresa el rendimiento energético de una lámpara y mide la calidad de la fuente como un instrumento destinado a producir luz por la transformación de energía eléctrica en energía radiante visible; es el cociente entre el flujo luminoso total emitido y la potencia total consumida por la fuente, su símbolo es la letra griega (ρ) y se expresa de la siguiente manera ($\rho = \phi/W$) (Fernández 2007). En la Figura 12 se muestra un ejemplo de eficiencia luminosa.



Figura 12: Eficiencia luminosa

En la Tabla 2 se muestra algunos valores de rendimientos luminosos para algunos tipos de lámparas.

Tabla Nº 2

Tipo de lámpara	Potencia	Rendimiento Luminoso
	Nominal [W]	lm/W
Incandescente común 40W/220V	40	11
Fluorescente 40W/220V	40	80
Mercurio de alta presión 400W	400	58
Halogenuros metálicos 400W	360	78
Sodio a alta presión 400W	400	120
Sodio a baja presión 180W	180	183

2.3.2.4 Iluminancia

La iluminancia o iluminación se define como la cantidad de luz que llega sobre una superficie, su unidad es el lux (Banda 2006); el lux puede definirse como la iluminación de una superficie de 1 m² con un flujo luminoso de 1 lumen uniformemente repartido (Hernández 2007), se expresa de la siguiente manera: $E = (\phi/S)$, $lux = lumen/m^2$. En la Figura 13 se muestra un ejemplo de iluminancia.

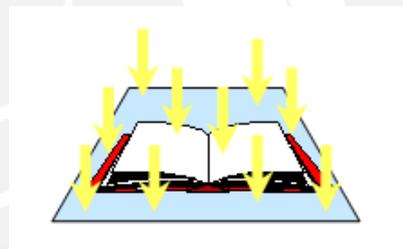


Figura 13: Iluminancia

En la Tabla 3 se muestra algunos valores de iluminancia.

Tabla Nº 3

Ejemplos de Iluminación	Lux
Mediodía en verano	100000 Lux
Mediodía en invierno	20000 Lux
Oficina bien iluminada	400 a 800 Lux
Calle bien iluminada	20 Lux
Luna llena con cielo claro	0.25 a 0.50 Lux

2.3.2.5 Luminancia

Es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada (Banda 2006). Su símbolo es (L) y su unidad es (cd/m^2).

En la Figura 14 se muestra un ejemplo de iluminancia.

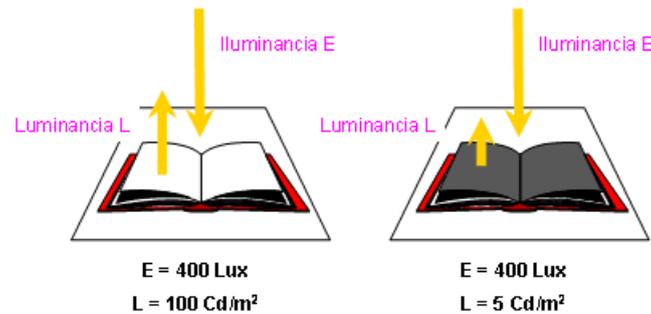


Figura 14: Luminancia

2.3.3 Técnicas de iluminación

En los sistemas de visión por computadora se cuenta con diversas técnicas de iluminación, se puede afirmar que existe una técnica de iluminación para cada aplicación, es más para cada problema (Ibarra 2005); a continuación se describe las diferentes técnicas de iluminación para sistemas de visión por computadora.

2.3.3.1 Iluminación frontal

Este tipo de iluminación es cuando las lámparas se encuentran a una distancia similar o aproximadamente igual al de las cámaras; es decir, frente a la escena (Ibarra 2005), las cámaras se posicionan en la misma dirección de la luz es por ello que la cámara recibe la luz reflejada del objeto (Fernández 2007). En la Figura 15 se muestra un ejemplo de iluminación frontal.

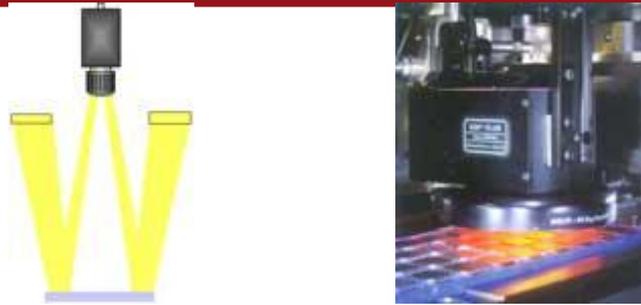


Figura 15: Iluminación frontal

Para este tipo de iluminación existen tres casos.

2.3.3.1.1 Difusa

Las lámparas cuentan con pantallas difusoras que generan una iluminación omnidireccional suave, esto reduce destellos y además es fácil de implementar; sin embargo, las imágenes obtenidas tienen bajo contraste y bordes difusos (Ibarra 2005).

2.3.3.1.2 Direccional

Las lámparas crean una luz cruda que genera sombras y no refleja hacia la cámara, para este caso puede utilizarse fibra óptica y además es fácil de implementar; sin embargo crea sombras no deseadas y además es no uniforme (Ibarra 2005).

2.3.3.1.3 Polarizada

En este caso se hace uso de un polarizador cruzado que se coloca frente a la lente de la cámara, ello permite eliminar destellos; sin embargo, reduce la luminosidad (Ibarra 2005).

2.3.3.2 Carpa de luz

Basado en lámparas que rodean la escena en aproximadamente 360°, para ello es necesario un sistema de difusión curvado que genera una iluminación de día nublado tipo omnidireccional, esto permite eliminar destellos y sombras. Sin embargo, al rodear

la escena implica un mayor costo así como también puede producir problemas de tamaño (Ibarra 2005).

2.3.3.3 Iluminación de ángulo bajo

Se hace uso de lámparas direccionales cuyo haz de luz incide, prácticamente, en el mismo plano de la escena. Permite resaltar defectos, pero produce una iluminación irregular (Ibarra 2005).

2.3.3.4 Campo oscuro

Ésta técnica es utilizada para resaltar los defectos superficiales, grietas o surcos, así como también para detectar, identificar y leer caracteres, códigos de matriz o barras grabadas en una superficie (Fernández 2007). Para dicho caso la luz llega a la cámara por reflejos especulares; sin embargo, sólo sirve para superficies suaves y planas (Ibarra 2005). En la Figura 16 se muestra un ejemplo de iluminación por campo oscuro.

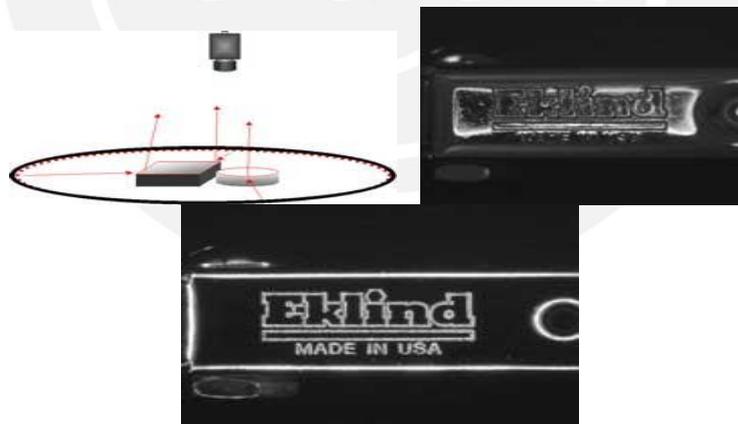


Figura 16: Iluminación por campo oscuro

2.3.3.5 Iluminación estroboscópica

El uso de lámparas estroboscópicas permite “detener” los elementos en movimiento inmersos en la escena. Ésta técnica genera imágenes de gran calidad y tiene una vida útil larga. Sin embargo, requiere de una alta sincronización con la cámara así como

también una buena protección para los operadores del sistema, además el costo es elevado (Ibarra 2005).

2.3.3.6 Retroiluminación

En esta técnica las lámparas son colocadas por detrás de la escena o imagen; es decir, tienen una ubicación opuesta a las cámaras (Ibarra 2005). Se tienen los siguientes tres casos.

2.3.3.6.1 Difusa

Las lámparas son colocadas al lado opuesto de la cámara a través de un difusor, esto permite generar siluetas con un alto grado de contraste, tiene una fácil implementación así como un bajo costo; sin embargo, genera bordes difusos y ocasiona problemas con el manipulador (Ibarra 2005).

2.3.3.6.2 Colimada

Se hace uso de lámparas que producen una iluminación pseudo-paralela el cual genera imágenes con bordes muy resaltados, ello sirve para el uso en metrología dimensional, pero tiene una implementación muy complicada (Ibarra 2005).

2.3.3.6.3 Polarizada

Con un polarizador cruzado frente a la lente de la cámara permite resaltar posibles defectos en piezas traslúcidas, es de fácil implementación; sin embargo genera bordes difusos y también causa inconvenientes con el manipulador (Ibarra 2005).

2.3.3.7 Iluminación estructurada

Muy útil para la reconstrucción de imágenes 3-D de la escena iluminada (Ibarra 2005).

Puede utilizar diferentes opciones, entre ellas tenemos.

2.3.3.7.1 Láser

Se ilumina con un plano de luz generado por láser que hace evidente la información 3D de la escena, además permite obtener imágenes con un alto contraste, posee un fácil filtrado, pero ocasiona problemas de seguridad (Ibarra 2005).

2.3.3.7.2 Patrones en red

Si se proyecta patrones en forma de red sobre una escena es posible reconstruir su tridimensionalidad a partir de la deformación del patrón de iluminación (Ibarra 2005).

2.3.3.7.3 Color

El uso de iluminación monocromática permite poner de relieve ciertas características espectrales de la escena que pueden ser de utilidad en el análisis de sus imágenes (Ibarra 2005).

2.3.3.8 Iluminación coaxial

Es una técnica que se usa para iluminar objetos reflectantes. La luz se emite de forma lateral sobre un espejo semitransparente "beam splitter" que desvía los haces de luz en la misma dirección que el eje de la cámara. De esta forma se consigue una luz difusa homogénea (Infaimon 2002). Este tipo de iluminación no genera sombras e ilumina uniformemente la escena; sin embargo, es difícil su implementación y algunas veces produce imágenes con superficies demasiado brillantes (Ibarra 2005). En la Figura 17 se muestra un ejemplo de iluminación coaxial.

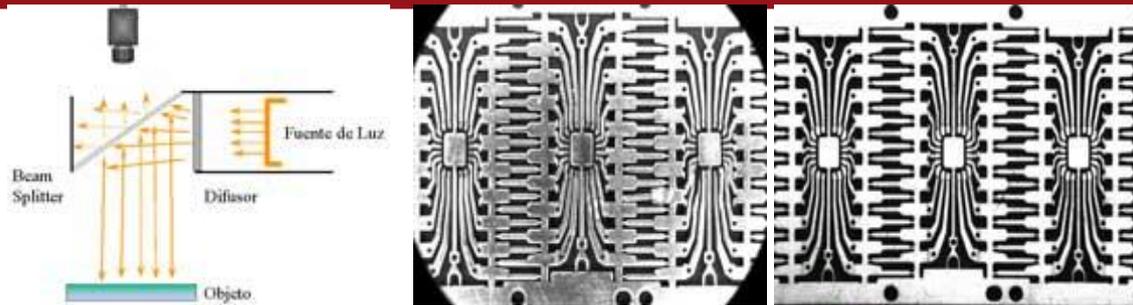


Figura 17: Iluminación coaxial

2.4 Calibración de las cámaras

Las cámaras de vídeo usadas para aplicaciones de corto alcance o para objetos cercanos (close-range) son típicamente no-métricas o semi-métricas. Esto significa generalmente que estas cámaras fotográficas tienen salidas significativas de una proyección central perfecta. Las salidas se deben modelar en un proceso de calibración y así compensar el error en el modelo central de la proyección. El procedimiento de la calibración trata las características internas de las cámaras fotográficas (puntos principales, longitudes focales, distorsiones radiales en las lentes y términos como la ortogonalidad y la afinidad) además implica la orientación relativa de las dos cámaras una respecto a la otra (distancia entre las dos cámaras, ángulos de convergencia y la inclinación de las cámaras) (Harvey et al., 2003).

Existen diversas técnicas de calibración de cámaras, los cuales pueden ser clasificados en dos grandes categorías: Calibraciones fotogramétricas y la auto calibración; además desde el punto de vista de la calibración es necesario clasificar las cámaras: cámaras métricas, cámaras no métricas o “amateur”, cámaras semimétricas.

2.4.1 Calibraciones fotogramétricas

Se realiza mediante la observación de patrones cuya geometría en el espacio 3D es conocida con un buen nivel de precisión. Los patrones de calibración normalmente

están posicionados en dos o tres planos ortogonales entre ellos. En algunos casos, basta con un único plano, cuya traslación es perfectamente conocido (Aracena 2005). Este tipo de calibración, por lo tanto, requiere una configuración elaborada a cambio de obtener resultados muy eficientes.

2.4.2 Autocalibración

Éste método se basa en el movimiento de la cámara observando una escena estática a partir de sus desplazamientos y usando únicamente la información de la imagen. La rigidez de la escena impone en general restricciones sobre los parámetros de la cámara. Tres imágenes tomadas por una misma cámara con parámetros intrínsecos fijos son suficientes para obtener tanto los parámetros extrínsecos como intrínsecos. Aunque esta técnica es muy flexible, aun no se encuentra madura (Domaika 2001).

2.4.3 Cámaras métricas

Aquellas en las que el fabricante realiza una calibración de precisión en laboratorio (normalmente por el método del multicolimador), y ofrece un certificado de los valores de la distorsión para unos ciertos valores de focal. Ello conlleva, además, la estabilidad de los elementos ópticos de la cámara. Ninguna cámara “autofoco” es una cámara métrica (Sánchez 2004).

2.4.4 Cámaras no métricas o “amateur”

No están calibradas, por lo que si se quiere utilizar para fine métricos se debe recurrir a algún procedimiento de autocalibración o calibración “in situ”, según las precisiones y recursos que se dispongan. El gran problema con estas cámaras es la falta de estabilidad del sistema objetivo (y por tanto la variabilidad de la focal), por lo que es conveniente realizar la calibración cada vez que se use y cambien las condiciones de la toma (Sánchez 2004).

2.4.5 Cámaras semi-métricas

Se sitúan entre las dos anteriores. Son cámaras más estables que las anteriores, a las que se le añade, entre las lentes y el plano de la película una retícula (réseau). De manera que cada vez que se use la cámara se pueden utilizar estas marcas impresas en la película para determinar la posición del punto principal y la deformación del plano de la película a la vez que se realiza el resto del proceso fotogramétrico. En el caso de cámaras digitales, la placa del sensor, si tiene la suficiente garantía de fabricación, puede interpretarse como una retícula formada por la matriz de píxeles de coordenadas imagen dadas por la fila y la columna de cada píxel (Sánchez 2004).

2.5 Adquisición de imágenes

Este proceso comporta dos etapas, la formación de imágenes sobre una superficie sensible y la conversión de dicha imagen en una señal eléctrica susceptible de ser almacenada digitalmente en la memoria de una computadora. La formación de imágenes sigue los principios de la óptica basados en las aproximaciones de las lentes delgadas y de la cámara tipo *pin-hole*. De entre la diversidad de modelos existentes, la proyección en perspectiva es el más utilizado para representar el fenómeno de formación de imágenes. El modelo de perspectiva es un modelo geométrico que permite calcular la posición de los objetos dentro de la escena a partir de la posición de su proyección dentro de la imagen, a condición de conocer los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara (Ibarra 2005)

Los primeros son básicamente el tamaño del píxel, la posición del sensor dentro de la cámara y la distancia focal de la óptica utilizada; mientras que los parámetros extrínsecos consisten en la posición y la orientación de la cámara dentro de la escena.

Generalmente, la medición de estos parámetros es muy complicada y a menudo imposible de realizar, por lo que debe recurrirse a un proceso de identificación

denominado calibración. La calibración necesita la captura de imágenes de objetos de dimensiones conocidas cuya ubicación es igualmente conocida, sobre las cuales se realizan ciertas mediciones, con todos estos datos y utilizando el modelo de perspectiva es posible obtener una estimación de los parámetros intrínsecos y extrínsecos del sistema de adquisición de imágenes. Es claro que el proceso de calibración requiere que el sistema de visión sea capaz de captar datos provenientes del exterior. Por su parte, el elemento sensible sobre el cual se forma la imagen deberá transformar la información visual sobre el entorno, transportada por la luz, en señales eléctricas adecuadas para su posterior tratamiento (Vega 1998).

Los sensores de visión más utilizados en Robótica son las cámaras de televisión basadas en matrices de dispositivos semiconductores tipo CCD, CMOS o CID, los cuales realizan una digitalización espacial completa en dos dimensiones (líneas y columnas), pues descomponen la imagen en una matriz de puntos o píxeles (del inglés *picture element*), cuyo valor es continuo y proporcional a la cantidad de luz proveniente de la escena que incide en el punto correspondiente (Vega 1998).

De estos tres tipos de dispositivos de estado sólido, los más utilizados son los dispositivos acoplados por carga, denotados como CCD (*Charge Coupled Devices*). Los dispositivos semiconductores tipo CCD funcionan como registros de corrimiento analógicos (*bucket brigade*) lo cual permite transferir la imagen digital fila por fila, aunque existen varios métodos de transferencia de los píxeles que constituyen la imagen digitalmente capturada por el dispositivo: transferencia incremental de líneas, transferencia interlínea y muestreo progresivo (Ibarra 2005).

La principal característica de los dispositivos tipo CMOS (*Complementary Metal - Oxide Semiconductor*) Semiconductores Metal-Óxido Complementarios, es que solamente utilizan energía cuando sus transistores están conmutando entre los

estados lógicos encendido y apagado. De tal modo, los dispositivos CMOS utilizan menos energía y disipan mucho menos calor que otras clases de circuitos semiconductores; además, permite una mayor densidad de integración dentro de un chip. El término “complementarios” se refiere al hecho de que los circuitos CMOS utilizan pares de transistores de polaridad opuesta (positivos y negativos) de los cuales sólo uno se conmuta a la vez. Por otro lado, los sensores de visión tipo CMOS pueden utilizar píxeles pasivos o activos. Los otros dispositivos semiconductores utilizados como sensores de visión son los CID (*Charge Injection Devices*) o dispositivos por inyección de cargas. Estos dispositivos tienen píxeles direccionables de manera individual, lo cual incrementa su versatilidad de acceso a la información visual y son de lectura no destructiva.

La resolución de la discretización espacial de la imagen obtenida con un dispositivo de estado sólido (CCD, CMOS o CID) puede ser de 126x126 píxeles, de 256x256, de 512x512 o hasta de 1024x1024 píxeles. Es evidente que entre mayor sea la resolución de la digitalización espacial más información estaría contenida en la imagen numérica. El teorema de Shannon – Kolmogorov permite obtener la discretización de una señal continua sin pérdida de información, muestreando ésta última a dos veces la máxima frecuencia contenida en su espectro. En la señal de televisión la duración de una línea horizontal es de 63.5 μ s, lo cual implica que el ancho de banda de la señal de vídeo es de 4 MHz., por tanto, la aplicación del teorema de Shannon – Kolmogorov impone una frecuencia de muestreo de 8 MHz. Esto representa una muestra cada 125 ns. a lo largo de los 63.5 μ s que dura una línea, lo que significa que la imagen digital correspondiente debe tener 512 columnas (aproximando a la potencia de 2 más cercana), mientras que las 526 líneas que genera la norma NTSC hace que la imagen digital cuente con 512 líneas (aproximando, aquí también, a la potencia de 2 más cercana). De este modo se obtiene una imagen digital con 512x512 píxeles.

En una imagen industrial de las que utiliza el robot generalmente existe una alta correlación espacial, lo cual permite un submuestreo sin pérdida sensible de información.

Entonces, haciendo un muestreo con un entrelazado espacial de medio período de muestreo es posible conservar prácticamente toda la información de la imagen con una frecuencia de muestreo de tan sólo 4 MHz. Del mismo modo, una imagen con 256x256 píxeles correspondiente a una frecuencia de muestreo de 5 MHz, o sea con un período de 200 ns. también puede representar fielmente la imagen continua correspondiente.

Una función importante en el sistema de percepción es la adquisición de una imagen numérica (matriz de números) por parte de la computadora que deberá realizar su tratamiento. En muchas de las cámaras modernas se tiene acceso directamente a la matriz de valores de luminosidad de la imagen, en particular a las que están equipadas con sensores CID. Sin embargo, aún existen casos en que se utiliza la señal compuesta de video generada por la cámara, por que deben implementarse sistemas de muestreo que produzcan una señal digital.

Debido a que el procesamiento de la información visual debe realizarse en computadoras digitales, en ambos casos es necesario codificar la brillantez de cada elemento de imagen o píxel, lo cual se hace generalmente en 1 bit, en 4 bits, en 6 bits o en 8 bits. Dependiendo de la resolución que tenga la codificación de la brillantez, será posible "empaquetar" el código de varios píxeles en palabras de 16 bits y efectuar la transferencia hacia la computadora utilizando un dispositivo de Acceso Directo a Memoria.

2.6 Procesamiento Digital de Imágenes

Procesamiento de imágenes es el término usado para denominar las operaciones desarrolladas sobre un conjunto de datos de imagen para mejorarlas de alguna forma, para ayudar a su interpretación o para extraer algún tipo de información útil de ella (Yuras 1998).

Además se contemplan todos aquellos procesos tendientes a mejorar la calidad de las imágenes disponibles o a enfatizar algunas de las características que serán utilizadas en los procesos de análisis y de comprensión de imágenes. La gran variedad de operadores utilizados en el procesamiento digital de imágenes se pueden agrupar en las clases siguientes: operadores aritméticos y lógicos, operadores que modifican el histograma, operadores basados en la convolución, operadores estadísticos, operadores morfológicos, filtros frecuenciales, transformaciones geométricas y operadores temporales (Ibarra 2005).

Las imágenes digitales no siempre suelen ser adquiridas al interior de un sistema de Visión Artificial en las condiciones más apropiadas para su análisis e interpretación. Los efectos de los ruidos de cuantización, de las variaciones en la iluminación, de las limitaciones en la profundidad de campo que se traducen en zonas fuera de foco o de la presencia de distorsiones y aberraciones introducidas por la óptica producen imágenes defectuosas que deben ser mejoradas. Por otro lado, aún en el caso de imágenes provenientes de escenas bien iluminadas, libres de ruido y distorsiones, es necesario realzar algunas características de interés en las fases de modelado. De ahí que uno de los aspectos más importantes de la Visión Artificial sea el Procesamiento de Imágenes (PDI), es decir, la transformación de la imagen original en otra imagen en la que hayan sido eliminados los ruidos, corregidas las distorsiones, compensados los efectos de la mala iluminación o bien, en las que hayan sido realizados algunos parámetros intrínsecos de la imagen tales como discontinuidades superficiales

(bordes), la orientación de ciertas superficies, el movimiento, etc. La utilización de las técnicas de PDI permite el mejoramiento de las imágenes digitales adquiridas de acuerdo a los objetivos planteados en el sistema de Visión Artificial. La etapa de mejoramiento involucra una o varias de las técnicas siguientes:

2.6.1 Filtrado

Este es el nombre genérico para la gran cantidad de técnicas que permiten cambiar los niveles de gris en una imagen con objeto de realzar ciertas características geométricas y topológicas de los objetos en dichas imágenes. El filtrado elimina ruidos, compensa defectos de iluminación y de enfoque además de realzar discontinuidades entre regiones, cuando éstas son importantes. Las principales técnicas de filtrado utilizadas en el PDI son aquellas basadas en la convolución espacial así como los filtros frecuenciales (Ibarra 2005).

2.6.2 Operadores aritméticos y lógicos

Estos operadores permiten combinar dos imágenes mediante las operaciones aritméticas básicas o bien mediante las operaciones lógicas y representan la forma más simple de procesamiento de imágenes, a pesar de lo cual tienen una gran cantidad de aplicaciones, con la ventaja de que el procesamiento correspondiente es simple y, por tanto, muy rápido. Estos operadores permiten preparar las imágenes para su procesamiento posterior o bien para su adecuada visualización.

2.6.3 Operadores que modifican el histograma

Estas transformaciones modifican el nivel de gris de un píxel únicamente en función de las propiedades que tenga dicho píxel y no dependen de la posición de los píxeles dentro de la imagen. Sin embargo, los operadores que realizan el escalado de los niveles de gris de la imagen suelen ser dependiente de las características globales de la imagen como su brillo o su contraste. Tal es el caso de la umbralización

(binarización) y de la ecualización del histograma. Estas operaciones se utilizan sobre todo para acondicionar las imágenes para su visualización por parte de un operador humano y para segmentar imágenes multinivel (Ibarra 2005).

2.6.4 Operadores estadísticos

Se denominan de esta manera a los algoritmos de procesamiento de imágenes basados en operadores locales que permiten calcular el nivel de gris de un cierto píxel en la imagen de salida mediante la manipulación estadística de los niveles de gris de los píxeles contenidos en una vecindad de $n \times n$ píxeles centrada en el píxel de mismas coordenada pero en la imagen de entrada. En general se trata de filtros suavizadores de imágenes debido a su fuerte característica pasa bajas (INAOE 2004).

2.6.5 Operadores morfológicos

Estos operadores se obtienen de la aplicación de la Morfología Matemática al procesamiento digital de imágenes. Existe una gran variedad y cantidad de algoritmos basados en unos cuantos conceptos simples de la Teoría de Conjuntos y de la Topología cuyas principales aplicaciones incluyen la detección de contornos, la remoción de ruidos, el realzado y extracción de características, la segmentación y el *template matching*, entre otras. Se aplican esencialmente en imágenes binarias, aunque existen extensiones de la teoría para aplicarse en imágenes multinivel (Ibarra 2005)

2.6.6 Transformaciones geométricas

Muy utilizadas para la corrección de distorsiones, las transformaciones geométricas, siguiendo un orden creciente de complejidad, se clasifican en Isometrías, Semejanzas, Afinidades, Proyecciones y Transformaciones curvilíneas (no lineales). Estos modelos se aplican de acuerdo con la complejidad de la distorsión a compensar (Vega 1998).

CAPÍTULO 3:

VENTAJAS DEL USO DE VISIÓN POR COMPUTADORA EN EL DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO

3.1 Hipótesis de la investigación:

A continuación se presenta la hipótesis principal y secundarias de la investigación.

3.1.1 Hipótesis principal:

Dado que la selección de las truchas depende específicamente del uso de tecnologías precarias lo cual ocasiona la muerte de estos peces, debido al maltrato al que son sometidos y al constante contacto entre el acuicultor y los peces, en dicho proceso de selección; entonces el diseño y desarrollo de un algoritmo que permita estimar el tamaño de un pez, aplicando visión por computadora, permite tener una selección adecuada de las truchas obteniendo así una reducción de la mortandad de dichos peces.

3.1.2 Hipótesis secundarias:

- ✓ La poca experiencia del acuicultor en la selección de las truchas ocasiona que los instrumentos sean manipulados de mala manera y esto ocasiona que los peces sean maltratados aun mucho más de lo que ya son sometidos.

- ✓ Un sistema que estime el tamaño de los peces de manera automática resuelve los problemas mencionados en el ítem anterior, logrando así que los peces tengan una mejor calidad en la carne y una mejor coloración de la piel lo cual indica que se tienen truchas de mejor calidad.

- ✓ El uso de datos iniciales como la longitud de los peces en diferentes etapas de crianza, permiten estimar con mucha precisión el tamaño de los peces.
- ✓ Desarrollar un algoritmo para poder estimar el tamaño de las truchas basado en visión por computadora nos ofrece la posibilidad de obtener resultados confiables y rápidos.
- ✓ Para la etapa de pre-procesamiento, el cual nos permite obtener las muestras, debemos tener en cuenta los siguientes parámetros: iluminación del ambiente, calibración de las cámaras a utilizar y la digitalización de las imágenes obtenidas.

3.2 Objetivos de la investigación:

3.2.1 Objetivo general:

Diseñar y desarrollar un algoritmo para la estimación del tamaño de las truchas basado en visión por computador con la finalidad de, posteriormente, diseñar un sistema de selección de peces.

3.2.2 Objetivos específicos:

- ✓ Entrenar un sistema de visión por computadora, con la ayuda de un software, como el caso de MatLab, LabView u otros, para determinar el tamaño de los peces.
- ✓ Lograr que el sistema sea versátil; es decir, puede ser utilizado para diferentes etapas de la crianza, por lo tanto reconozca diferentes tamaños de peces.

- ✓ Lograr que los lugares donde se utilizará el sistema, principalmente el lugar en donde se ubicarán las cámaras, se acondicione para obtener mejores resultados.
- ✓ Registrar y analizar los datos que se van obteniendo, en el campo de prueba, por el sistema para posibles correcciones y cambios de parámetros.

3.3 Universo y muestra:

El universo es el conjunto de estanques del Centro de Acuicultura “El Ingenio” los cuales cuentan con infraestructuras diferentes y con truchas de diversos tamaños de acuerdo a las etapas de desarrollo.

La muestra es un estanque del Centro de Acuicultura, en el cual se puedan desarrollar experiencias y obtener los datos necesarios para ver el comportamiento del sistema así como también obtener parámetros no considerados y solucionarlos.

3.4 Propuesta de solución:

Para el desarrollo del algoritmo se planteó el siguiente esquema, tal como se muestra en la Figura 18.



Figura 18: Diagrama de bloques de la solución planteada

3.4.1 Adquisición de la imagen:

Para la adquisición de la imagen la cámara a utilizar debe tener los siguientes requerimientos mínimos:

- ✓ La cámara a elegir debe ofrecer imágenes a color ya que el sistema propuesto es versátil y por lo tanto es necesario utilizar los planos de colores de la imagen obtenida con la cámara ya que en diferentes procesos los planos de colores a utilizar son diferentes.
- ✓ La resolución mínima de la cámara debe ser de 320 líneas horizontales y 240 verticales por lo que una cámara del tipo CMOS cumple con los requerimientos.
- ✓ Debe contar con una interfaz adecuada para la conexión con la tarjeta de adquisición.

Sin embargo, para las pruebas del presente trabajo se hará uso de otro tipo de cámara diferente a las cámaras CMOS debido a que no se pudo contar con las cámaras requeridas. Entonces, para la adquisición de las imágenes se hará uso de las cámaras tipo CCD con código AVC 527 LN/F40 la cual se muestra en la Figura 19, se hace uso de dichas cámaras ya que nos ofrece las siguientes características:

- ✓ Nos ofrece imágenes a color lo cual es importante ya que estos tipos de cámara CCD ofrecen tres planos en las imágenes de color, los planos son RGB del inglés (red, green, blue), y para el presente trabajo es necesario estos planos ya que se escogerá cualquiera de dichos planos para realizar un procesamiento eficiente de dicha imagen.
- ✓ Cuenta con iluminación propia lo cual es importante para poder trabajar con imágenes que sean tomadas en el agua, la iluminación para estas cámaras son de 0 lux hasta 10 metros y de 1 lux para más de 10 metros.
- ✓ Cuenta con 350 líneas de resolución, lo cual indica que tiene una media resolución, y para nuestro estudio la resolución no es muy crítico ya que es no es necesario tener a detalle las características del pez a medir.
- ✓ Por último la cámara cuenta con una lente de 4.0 mm y un ángulo de 61°.



Figura 19: Cámara CCD - AVC 527 LN/F40

Las cámaras necesitan ser colocadas en el estanque y si dichos equipos no son protegidos pueden ser dañados, para ello se propone desarrollar un equipo que permita la protección de dichas cámaras evitando el contacto de estas con el agua. En la Figura 20 se muestra un posible equipo de protección de las cámaras.

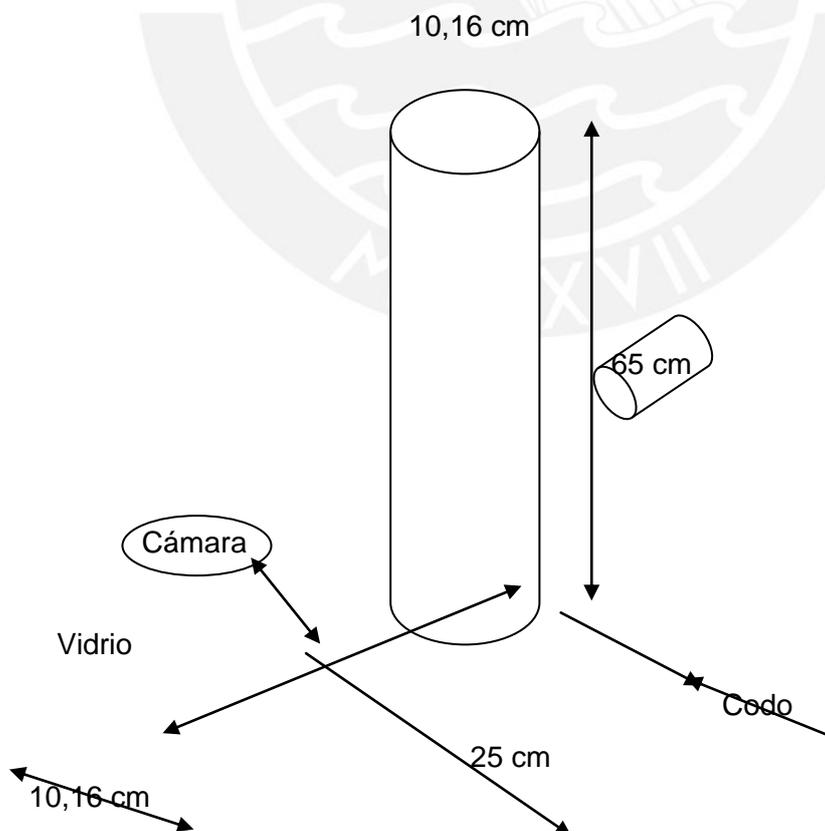


Figura 20: Equipo de protección para las cámaras

El equipo de protección será desarrollado con tubos de plástico de poli cloruro de vinilo (PVC) de acuerdo a las medidas de la cámara seleccionada, por lo tanto el equipo de protección contará con las medidas mostradas en la figura anterior, además se hace uso de un vidrio simple en la parte inferior del equipo ya que es necesario que la cámara tenga un lugar o espacio visible para poder tomar las imágenes necesarias, el vidrio tiene un grosor de 3 mm. En la Figura 21 se muestra la vista de perfil del equipo de protección para la cámara. En la Figura 22 se muestra la vista frontal del equipo de protección.

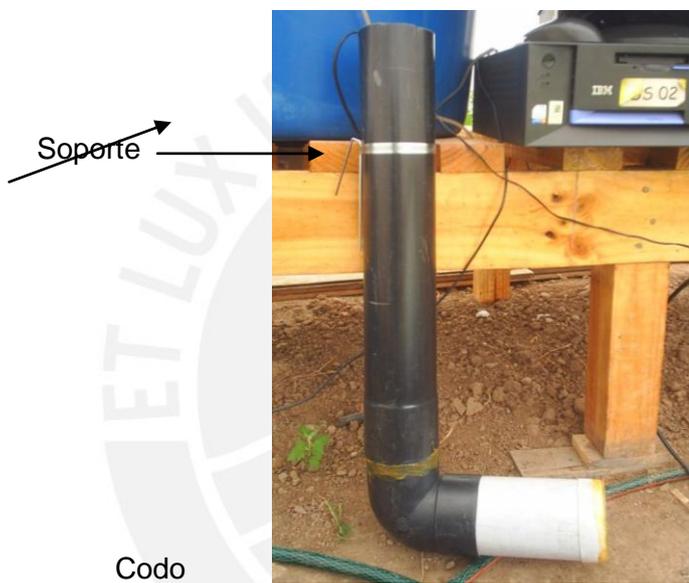


Figura 21: Vista de perfil del equipo de protección

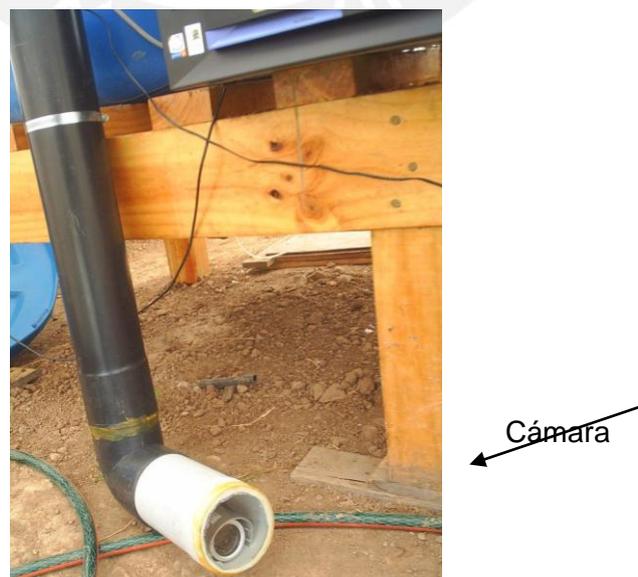


Figura 22: Vista frontal del equipo de protección

Una vez colocado las cámaras en el equipo de protección es necesario que tenga una vía de comunicación con la computadora para capturar la imagen, almacenarlo y luego procesarlo. Para ello se utilizará la siguiente tarjeta de adquisición CP-1400AS-(T) la cual se muestra en la Figura 23, dicha tarjeta es compatible con la cámara a utilizar; sin embargo, la tarjeta de adquisición puede ser elegida de acuerdo a la cámara elegida para obtener las imágenes. La tarjeta a utilizar cuenta con un puerto PCI para poder ser colocada en la computadora.



Figura 23: Tarjeta de adquisición CP-1400AS-(T)

Para conectar las cámaras a la tarjeta de adquisición se debe utilizar conectores BNC del inglés (British Naval Connector); sin embargo, el conector de salida de la cámara es del tipo RCA del inglés (Radio Corporation of America), por lo tanto haremos uso de un adaptador de RCA a BNC tal como se muestra en la Figura 24.



Figura 24: Adaptador de RCA a BNC

Por motivos de distancia es necesario utilizar un cable de audio/video como extensión para poder conectar la cámara con la tarjeta de adquisición, el cable a utilizar es del tipo RCA, tal como se muestra en la Figura 25, dicha extensión puede tener hasta 100 m de longitud.



Figura 25: Cable de audio/video tipo RCA

Para capturar la imagen y a la vez almacenarlo en la computadora es necesario un software que nos permita dicha operación, para ello se utiliza el software Witness AS/ASE/HS/RD/DX/U XP que viene incluido con la tarjeta de adquisición utilizada. Este software nos ofrece tamaños de imágenes variables que pueden ser configurados por el usuario; para el presente trabajo, el tamaño de las imágenes obtenidas son de 314 x 415 pixeles, dicho tamaño fue elegido pues era necesario contar con imágenes con resolución aceptable, pero a la vez no muy pesadas ya que el procesamiento sería más lento lo cual hace que el sistema sea ineficiente. Para el uso del software mencionado es necesario que la computadora a utilizar, para el almacenamiento de las imágenes, cuente con los siguientes requisitos mínimos:

- ✓ Procesador: Pentium IV, 1.5 GHz
- ✓ Memoria: 512 MB
- ✓ Tarjeta de Video: AGPx8
- ✓ Un puerto PCI disponible para conectar la tarjeta de adquisición.
- ✓ Sistema operativo: Windows XP

Dichos requerimientos del computador también serán aplicables con el software que será utilizado para el procesamiento de las imágenes.

3.4.2 Pre-procesamiento de la imagen:

Una vez obtenida la imagen de la cámara es necesario realizar un pre-procesamiento para eliminar ruidos y ciertas porciones de la imagen que no son necesarios en el posterior procesamiento. Para ello se hará uso del software MATLAB® versión 7.1.0.246 (R14) Service Pack 3 debido a que dicho software cuenta con una alta prestación para el tratamiento de señales e imágenes, además se sabe que es un programa de cálculo numérico orientado a matrices; por lo tanto, es más eficiente si se desarrolla algoritmos orientados a matrices y como se verá más adelante, las imágenes serán tratadas como matrices. Los requisitos mínimos que necesita la computadora son los mismos mencionados en la página 55.

En la Figura 26 se muestra una imagen, obtenida por una cámara, la cual será procesada. (http://perso.wanadoo.es/emdala/Acuario/Galeria/paracheiroduon_innesi.jpg)



Figura 26: Imagen a procesar

Para el pre-procesamiento utilizaremos ciertas técnicas utilizadas en el procesamiento de imágenes. A continuación se detallará las técnicas o métodos empleados en el presente trabajo.

3.4.2.1 Histograma de la imagen:

Una vez capturada la imagen es necesario, en primer lugar, analizar los histogramas de cada plano de colores para poder seleccionar el adecuado de acuerdo a los

requerimientos necesarios. El histograma representa gráficamente las frecuencias relativas con las que aparecen los distintos colores en una determinada imagen, por otro lado los histogramas nos proporcionan información sobre el contraste y brillo de una imagen (Dapena 2004) y de acuerdo a ello podemos modificar ciertos parámetros de acuerdo a las necesidades del procesamiento. En la Figura 27 se muestra el histograma de la imagen mostrada en la Figura 26.

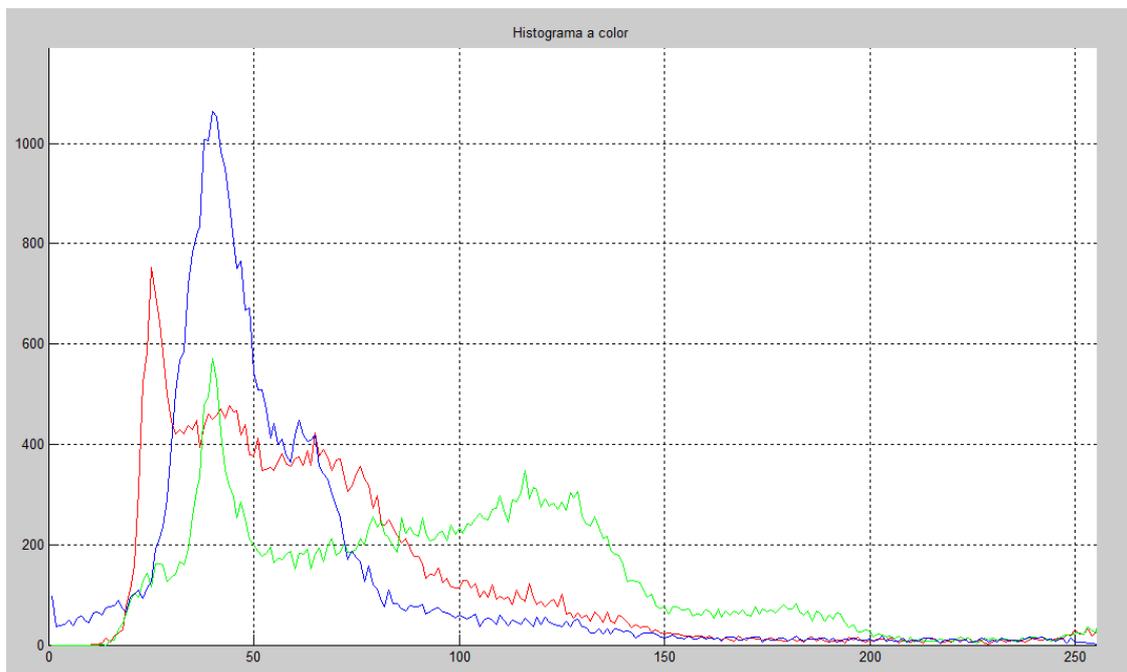


Figura 27: Histograma de imagen a color (planos RGB)

3.4.2.2 Selección de planos RGB:

Una vez obtenido el histograma para cada plano de la imagen a color, se debe seleccionar adecuadamente un plano donde se realizará las demás operaciones de pre-procesamiento. La selección del plano se realizará de acuerdo a la imagen analizada, para nuestro caso seleccionaremos el plano rojo ya que los peces analizados son del color de tonalidad naranja que es lo más cercano al plano elegido; sin embargo, para otros casos es posible elegir otro plano para poder realizar un mejor

análisis. En la Figura 28 se muestra la imagen original así como también se muestra la imagen en cada plano (rojo, verde y azul).

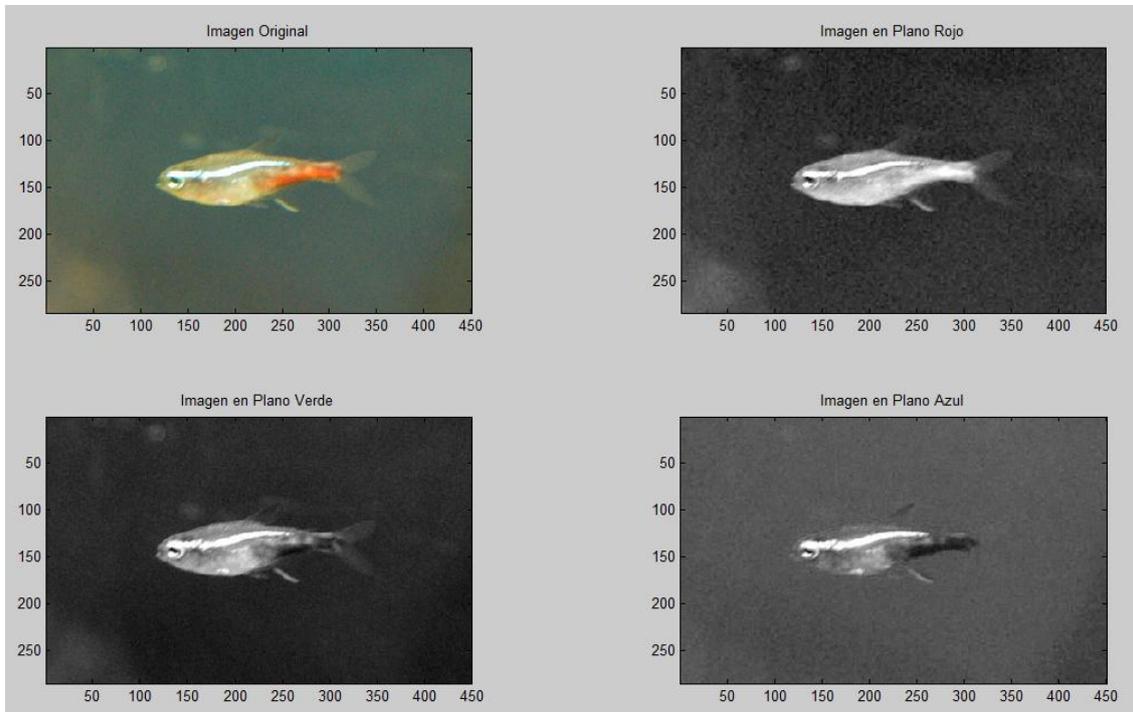


Figura 28: Imagen original y en sus diversos planos (rojo, verde y azul)

Como se puede observar en la figura anterior, para la imagen que ha de ser analizada lo más recomendable es utilizar el plano rojo ya que ahí el pez es donde resalta mejor, mientras que el plano menos recomendable a utilizar es el plano azul ya que, como se observa, el pez no se diferencia mucho del fondo.

3.4.2.3 Filtro pasa bajos:

En muchas de las imágenes es necesario eliminar las altas frecuencias que se presentan generalmente en los bordes, para ello se puede utilizar, si es necesario, alguno de los filtros detallados a continuación.

✓ **Filtro pasa bajos ideal:** Dicho filtro tiene la siguiente función de transferencia:

$$H(\mu, \nu) = \begin{cases} 1, & D(\mu, \nu) \leq D_o \\ 0, & D(\mu, \nu) > D_o \end{cases}$$

Donde D_o es un número positivo indicado y $D(\mu, \nu)$ es la distancia desde un punto (μ, ν) hacia el centro del filtro. El lugar de los puntos por cada $D(\mu, \nu) = D_o$ es un círculo (Gonzales 2004). En la Figura 12 se muestra la representación en frecuencia de un filtro ideal.

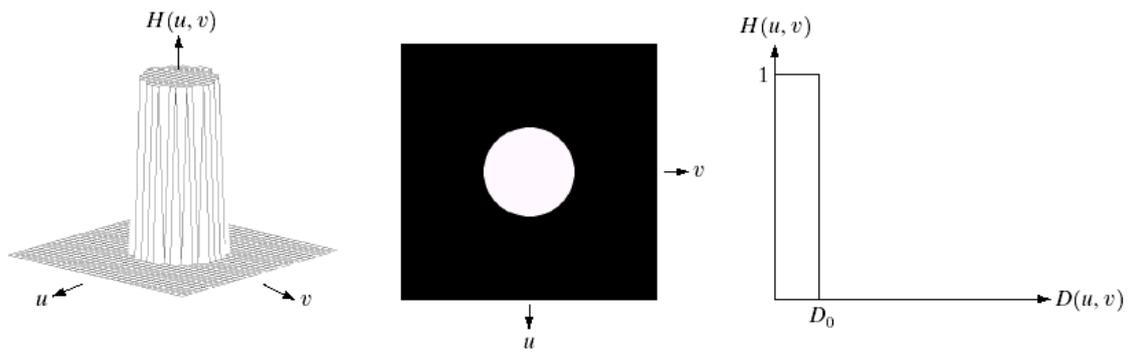


Figura 12: Filtro pasa bajos ideal

- ✓ **Filtro pasa bajos Butterworth de orden “n”:** Con una frecuencia de corte a una distancia D_o desde el origen (Gonzales 2004), dicho filtro tiene la siguiente función de transferencia:

$$H(\mu, \nu) = \frac{1}{1 + [D(\mu, \nu)/D_o]^{2n}}$$

En la Figura 13 se muestra la representación en frecuencia de un filtro pasa bajos Butterworth de orden “n”.

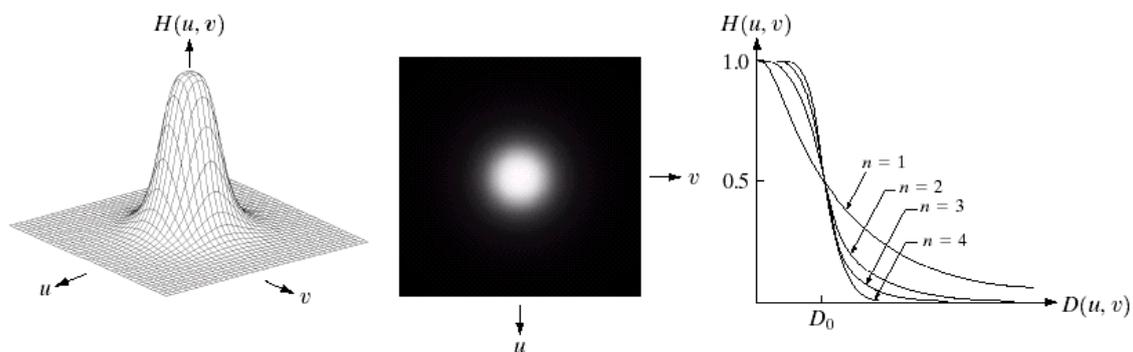


Figura 13: Filtro pasa bajos Butterworth de orden “n”

✓ **Filtro pasa bajos Gaussiano:** La función de transferencia de dicho filtro es el siguiente:

$$H(\mu, \nu) = e^{-D^2(\mu, \nu)/2\sigma^2}$$

Donde σ es la desviación estándar, considerando $\sigma = D_o$ podemos obtener la siguiente expresión en términos del parámetro de corte D_o (Gonzales 2004).

$$H(\mu, \nu) = e^{-D^2(\mu, \nu)/2D_o^2}$$

Cuando $D(\mu, \nu) = D_o$ el filtro se reduce a 0.667 de su valor máximo de 1.

En la Figura 14 se muestra la representación en frecuencia de un filtro pasa bajos Gaussiano.

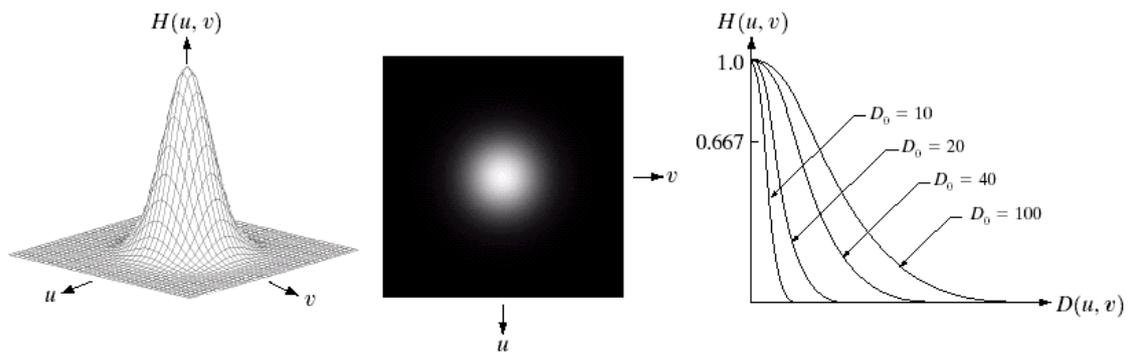


Figura 14: Filtro pasa bajos Gaussiano

En el presente trabajo se implementó, en software, los tres tipos de filtro, el uso se hará de acuerdo a los requerimientos necesarios para cada imagen. Para ello bastará colocar las características de cada filtro y mencionar el filtro a utilizar.

En la Figura 29 se muestra las variaciones de cada tipo de filtro utilizadas en la imagen obtenida después de elegir el plano de trabajo.

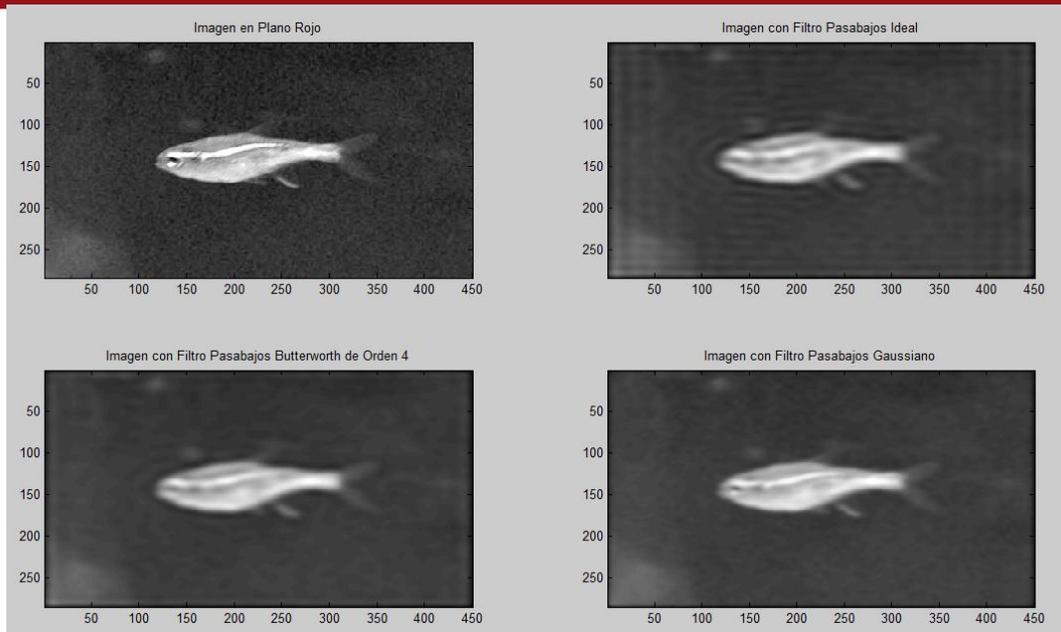


Figura 29: Imagen con filtros pasa bajos

3.4.2.4 Realce del contraste de la imagen:

Una vez obtenida la imagen filtrada con alguno de los filtros ya mencionados o la imagen sin filtrar, es recomendable realizar un ajuste del contraste ya al tener una imagen muy contrastada se puede tener un amplio tono de grises desde valores muy bajos hasta valores muy altos. El realce de contraste consiste en mejorar la calidad de las imágenes para el ojo humano (Dapena 2002), para ello se modifica los valores de los píxeles de tal manera que se aumente el rango dinámico de los valores de los píxeles; es decir, distribuir dichos valores en todo el rango permitido (0 a 255). Para ello hacemos uso de la corrección gamma el cual tiene la siguiente expresión matemática:

$$g(x, y) = f(x, y)^{1/\gamma}$$

Donde el parámetro γ toma los siguientes valores (Dapena 2002):

$0 < \gamma < 1$; oscurecen la imagen (mejora el contraste de la imagen)

$\gamma > 1$; aclaran la imagen (mejora el brillo de la imagen)

$f(x, y)$; imagen original

$g(x, y)$; imagen contrastada

En la Figura 30 se muestra una imagen sin mejora del contraste y otra con mejora del contraste, ambas imágenes se mostraran con sus respectivos histogramas.

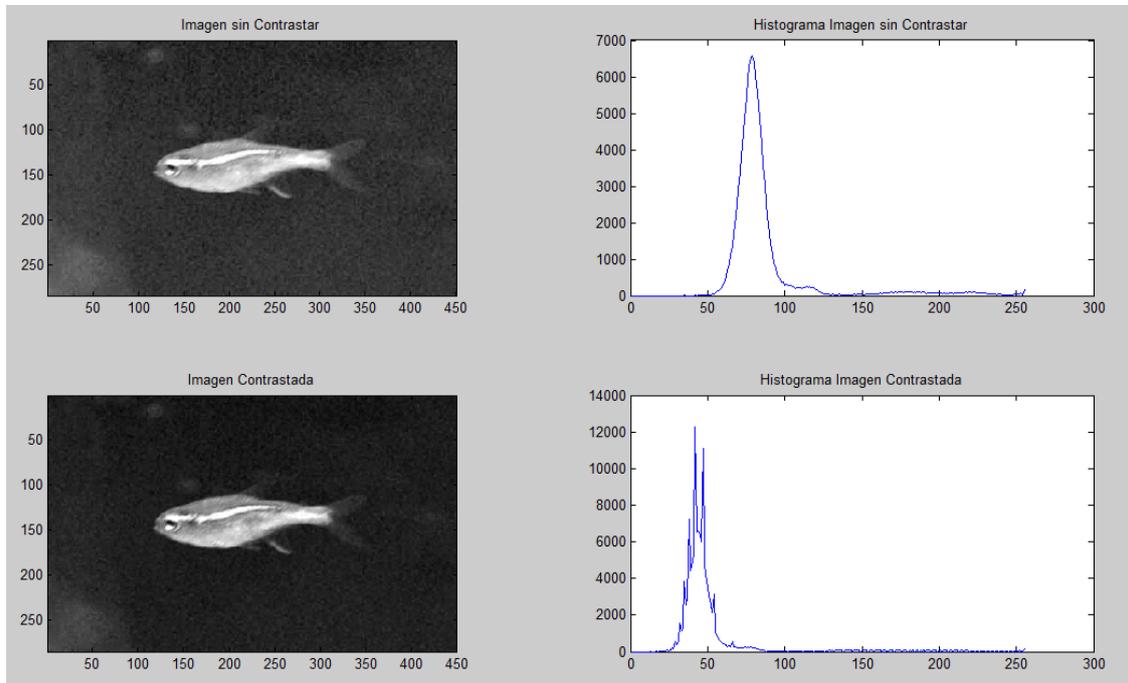


Figura 30: Imagen inicial e imagen con mejora de contraste

Como se puede observar en la figura anterior al mejorar el contraste se hace que el histograma tenga una mayor distribución de los valores de pixeles en todo el rango permitido (0 a 255).

3.4.2.5 Segmentación de la imagen:

Una vez obtenida una imagen contrastada y filtrada adecuadamente procedemos a segmentar la imagen y obtener solo la parte de dicha imagen que es necesaria para el análisis.

- ✓ **Umbralización:** Obtenido el histograma de la imagen con mejora de contraste y filtrada adecuadamente, elegimos un umbral T que permita tener una imagen

binaria; es decir, la imagen podrá tener solo los dos valores binarios '0' y '1'; de acuerdo a la siguiente función:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T \\ 0, & f(x, y) \leq T \end{cases}$$

El umbral elegido debe ser tal que en la porción de la imagen que ha de ser analizada no se pierda muchos datos después de la umbralización; es decir, se debe mantener la mayor parte de los datos de dicha porción de la imagen; sin embargo, ello ocasionará que en la imagen umbralizada se obtenga porciones de ruido los cuales luego deben ser eliminados con métodos mostrados posteriormente. Dichos ruidos también pueden ser eliminados si elegimos un umbral mayor que el adecuado pero ocasionaría pérdida de información de la imagen que se desea analizar, y por contraparte si elegimos un umbral menor que el adecuado no se perdería información de la porción a ser analizada, pero ocasiona que se presente mayor ruido y hace que la parte de la imagen a ser analizada sea confundida con el ruido presentado. Para umbralizar una imagen se puede hacer uso de los histogramas o también utilizar algoritmos que nos ayuden a calcular dicho valor umbral, en el presente trabajo se utilizó dos algoritmos; el primero, consistió en hallar la media de los niveles de gris de la imagen y el segundo, fue utilizar el método de Otsu, de ambos algoritmos el que mejor se adecuó al desarrollo del trabajo fue el método de Otsu ya que utiliza técnicas estadísticas, en particular la varianza que es la medida de la dispersión de valores en este caso dichos valores son los niveles de grises en la imagen (González 2004); sin embargo, como se verá más adelante, para hallar los umbrales de las imágenes obtenidas, con la cámara mencionada en la Página 52, fue necesario tomar como referencia el histograma; además, como las imágenes no contrastaban bien con el fondo se tuvo que elegir varios umbrales lo cual se denominada una multiumbralización. En la Figura 31 se muestra la imagen umbralizada con un umbral

adecuado, mientras que en la Figura 32 se muestra dos imágenes con umbrales mayor y menor que el adecuado, respectivamente.

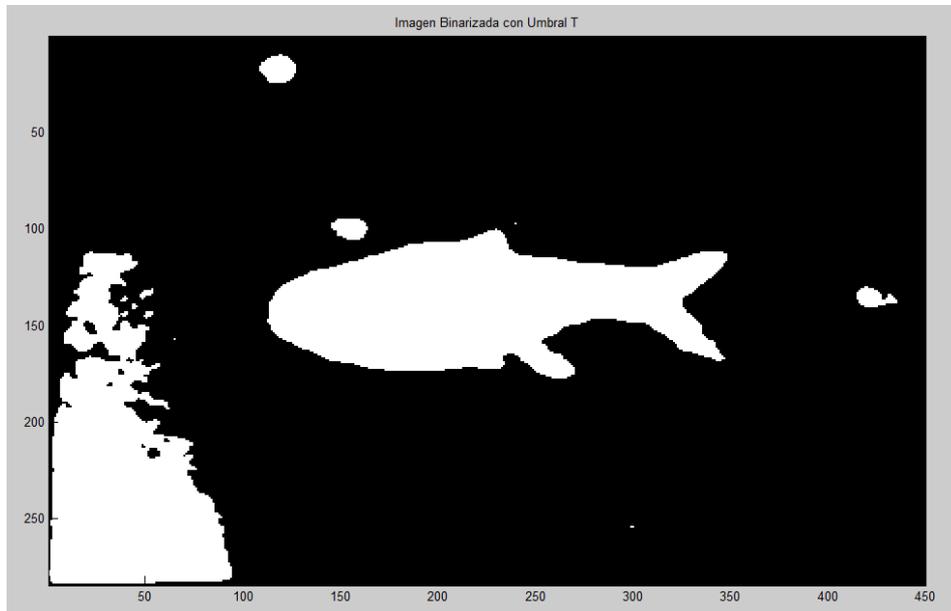


Figura 31: Imagen umbralizada con umbral T adecuado

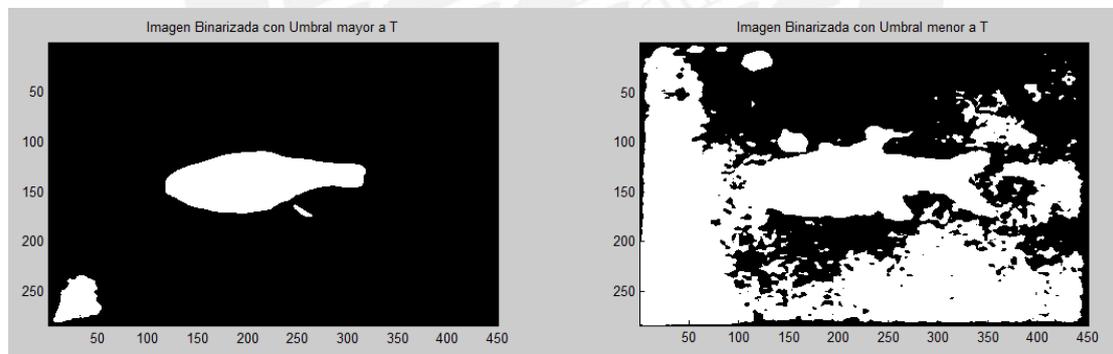


Figura 32: Imagen umbralizada con umbrales mayor y menor a T respectivamente

Como se observa en la Figura 31, la porción de la imagen que se quiere analizar (el pez) no tiene mucha pérdida de información; sin embargo, presenta ciertas porciones que se considera como ruido que luego será eliminado. Por otro parte en la imagen del lado izquierdo de la Figura 32, la imagen fue umbralizada con un umbral mayor que el adecuado y a pesar que el ruido es menor se tiene que la porción de la imagen a

analizar tiene mucha pérdida de información, mientras que en la imagen del lado derecho, con un umbral menor que el adecuado, se tiene mucho más ruido lo cual dificulta distinguir entre el pez y el fondo de la imagen.

- ✓ **Eliminación de ruido** : Ya obtenido la imagen umbralizada adecuadamente se procede a eliminar el ruido que se presenta, para ello se utiliza técnicas de procesamiento morfológico tales como erosión, dilatación, apertura y cierre, así como también la eliminación de ruido que se presenta en los bordes de la imagen. En la Figura 33 se muestra la imagen con ruido totalmente eliminado.

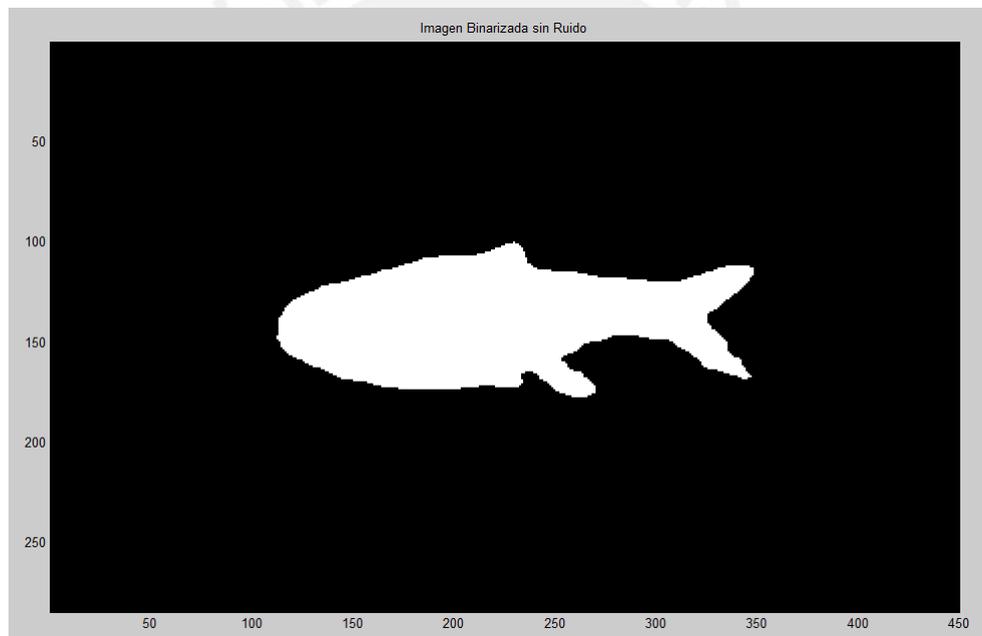


Figura 33: Imagen umbralizada sin ruido

3.4.2.6 Detección de bordes de la imagen:

Una vez obtenido la imagen umbralizada sin ruido es conveniente extraer solo el borde de la imagen ya que en nuestro caso nos importa medir solo distancia y por lo tanto no es importante el cuerpo del pez pero si los bordes porque es el límite, para hallar dichos bordes, se cuenta con algoritmos tales como el Operador Sobel, Prewitt, Roberts, entre otros; dichos operadores se utilizan especialmente para la detección de

bordes y técnicamente son operadores diferenciales discretos que calculan una aproximación al gradiente de la función de intensidad de una imagen. En el presente trabajo se hace uso del operador Sobel, dicho operador es más complicado de implementarlo; sin embargo, no produce ruidos en el resultado como los otros operadores mencionados. En la Figura 34 se muestra la imagen con tan solo sus bordes.

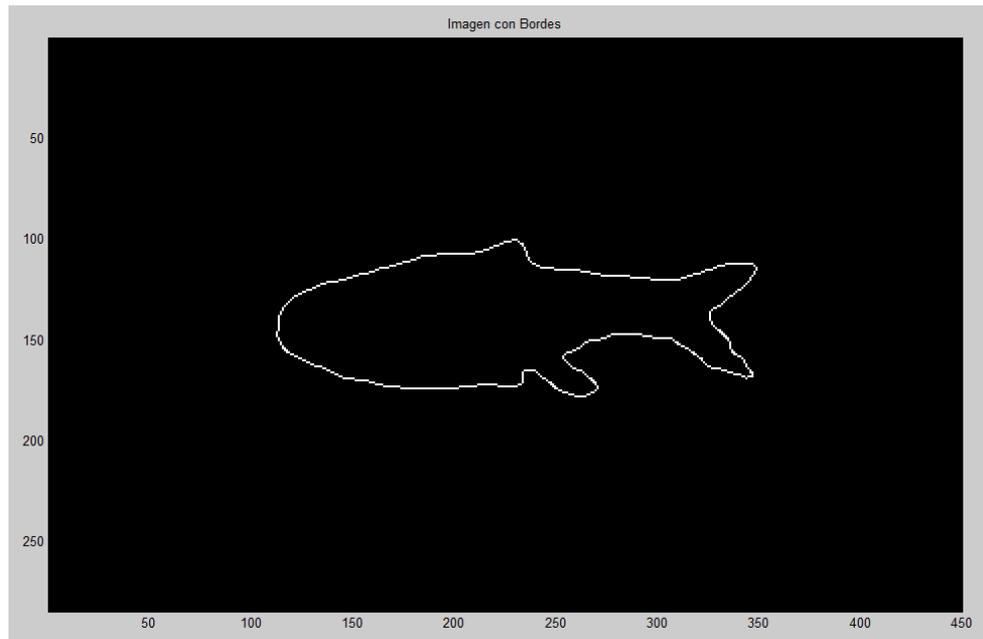


Figura 34: Imagen umbralizada con solo el borde

3.4.3 Procesamiento de la imagen:

Una vez realizada la etapa de pre-procesamiento ya podemos tener la imagen lista para poder realizar el análisis y poder hallar la longitud del pez desde la imagen obtenida. El algoritmo a desarrollar consiste en hallar los dos puntos más alejados para poder medir la longitud del pez. En las Figuras 35, 36 y 37 se muestran los diagramas de flujo que permiten hallar dichos puntos.

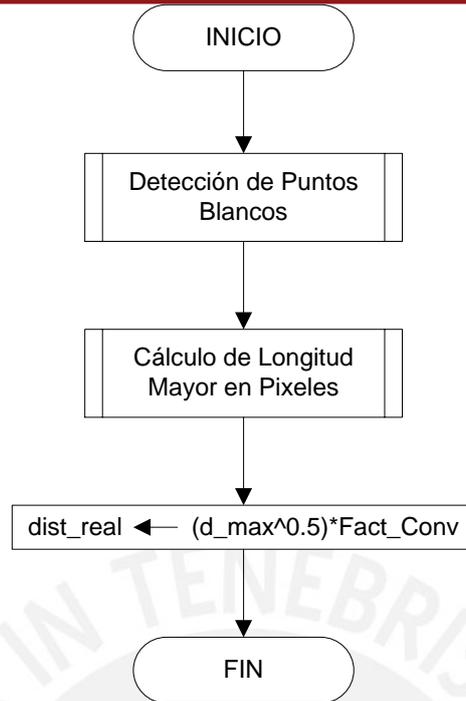


Figura 35: Diagrama de flujo del programa principal

Como se puede ver, en la figura anterior, para calcular la distancia es necesario realizar dos subrutinas llamadas “detección de puntos blancos” y “cálculo de longitud en pixeles”; sin embargo, para hallar la longitud real es necesario aplicar un factor de conversión, dicho factor se obtiene después de calibrar la imagen.

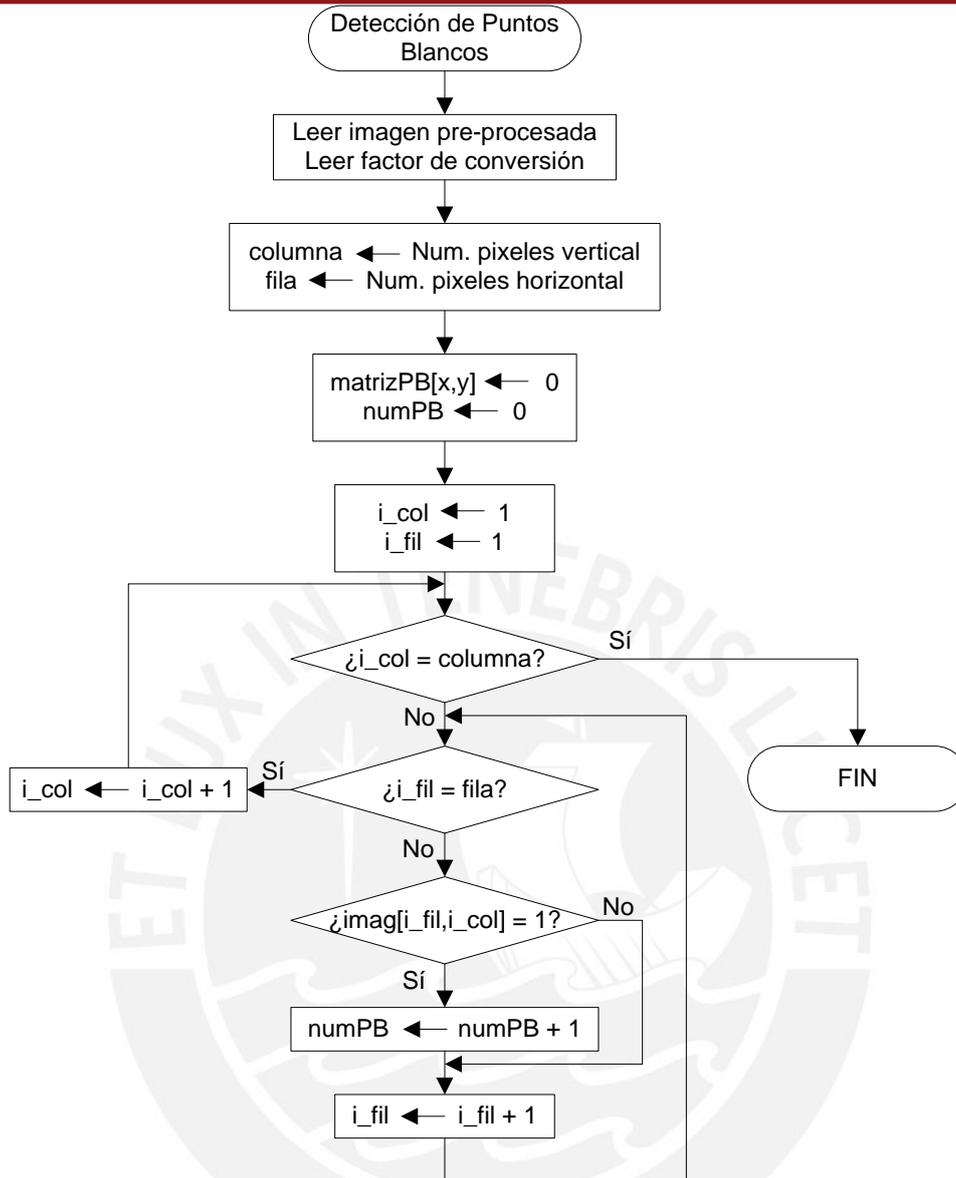


Figura 36: Diagrama de flujo de la subrutina detección de puntos blancos

En la subrutina mostrada en la figura anterior se procede a hallar los puntos blancos de la imagen pre-procesada, luego de hallar dichos puntos blancos es almacenado en un arreglo de vectores, donde cada elemento del arreglo es un punto (x, y) que indica que es un punto en el plano de la imagen.

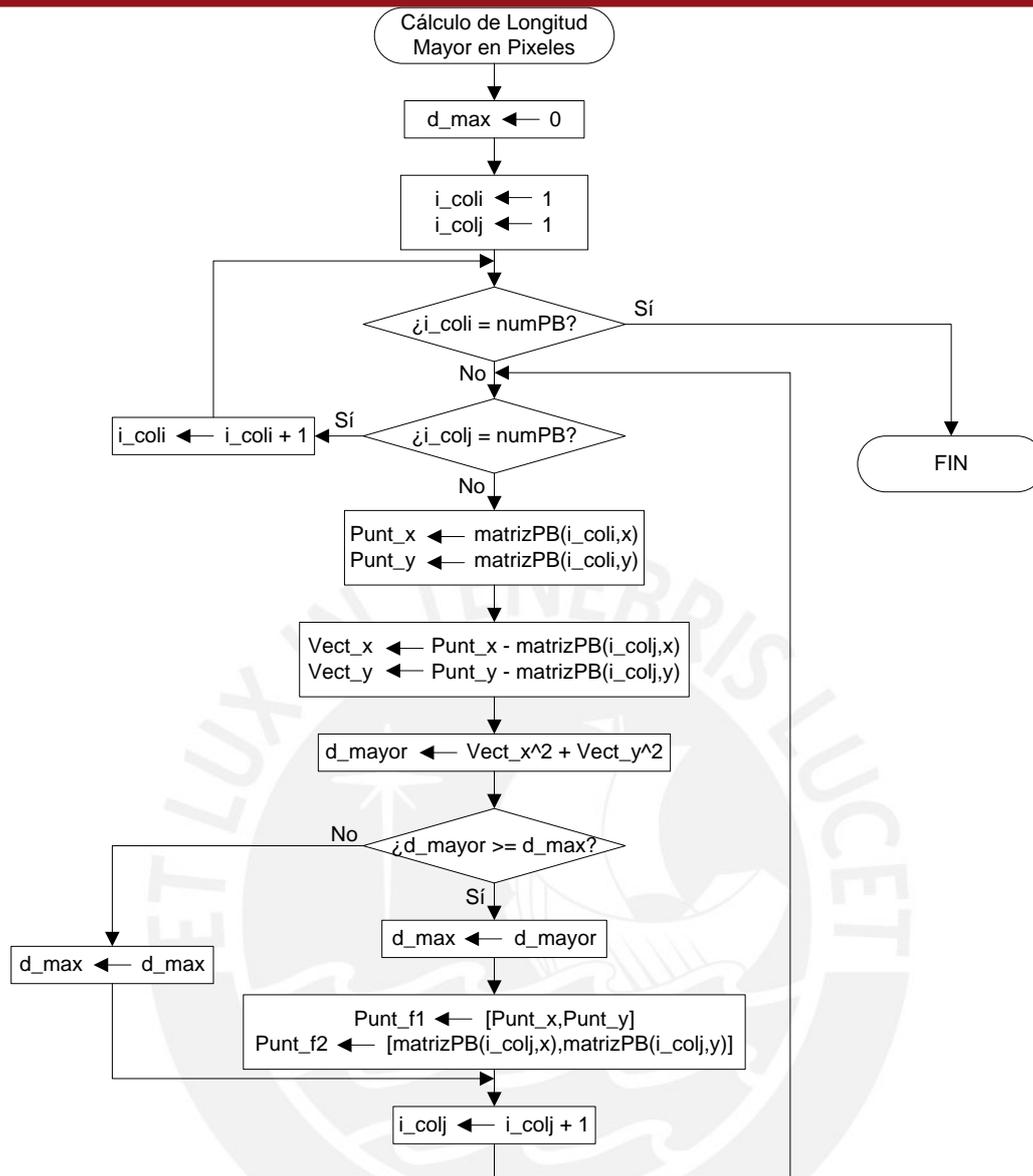


Figura 37: Diagrama de flujo de la subrutina cálculo de longitud mayor en pixeles

Ya almacenado los puntos en el arreglo de vectores procedemos a leerlos y calcular la mayor distancia que se forma entre ellos. En la figura anterior se muestra la subrutina que realiza dicha operación.

El algoritmo fue implementado en el software MATLAB® versión 7.1.0.246 (R14) Service Pack 3 y el resultado, después de aplicarlo, se puede observar en la Figura 38.

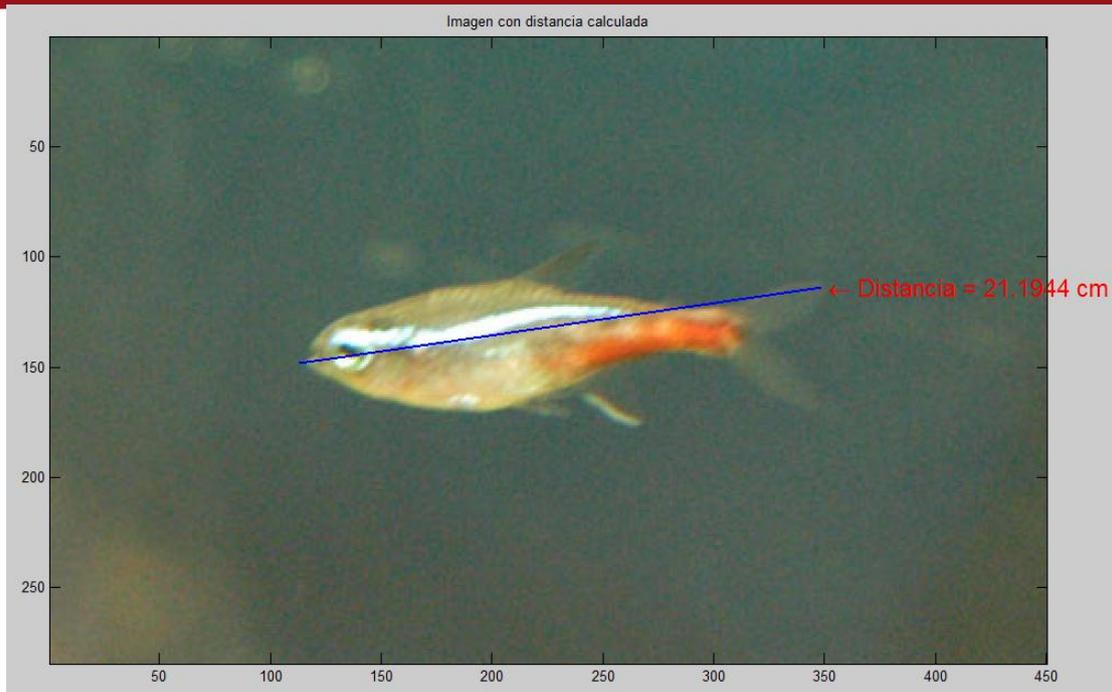


Figura 38: Imagen con la longitud del pez hallada

Como se observa la longitud hallada tiene un margen de error, esto se debe a que en el pre-procesamiento se modificó la imagen del pez aplicando los diferentes métodos o técnicas ya mencionados.

CAPÍTULO 4:

DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA SELECCIÓN DE TRUCHAS Y

ANÁLISIS DE DATOS

4.1 Consideraciones preliminares:

Inicialmente se realizará pruebas con imágenes tomadas de las siguientes páginas web:

- ✓ http://perso.wanadoo.es/emdala/Acuario/Galeria/paracheirodon_innesi.jpg
- ✓ <http://burnel.club.fr/Ams/candidi.jpg>
- ✓ http://www.yunphoto.net/mid/yun_124.jpg

Con ellas se realizarán las diversas pruebas con las diferentes técnicas aplicadas que ya fueron mencionadas. Esto se realiza ya que cada imagen tiene características particulares y para cada particularidad se utiliza diversas técnicas. En la Figura 39 se muestra las imágenes que fueron obtenidas de las páginas ya mencionadas, a dichas imágenes se les llamará “imágenes ideales”.

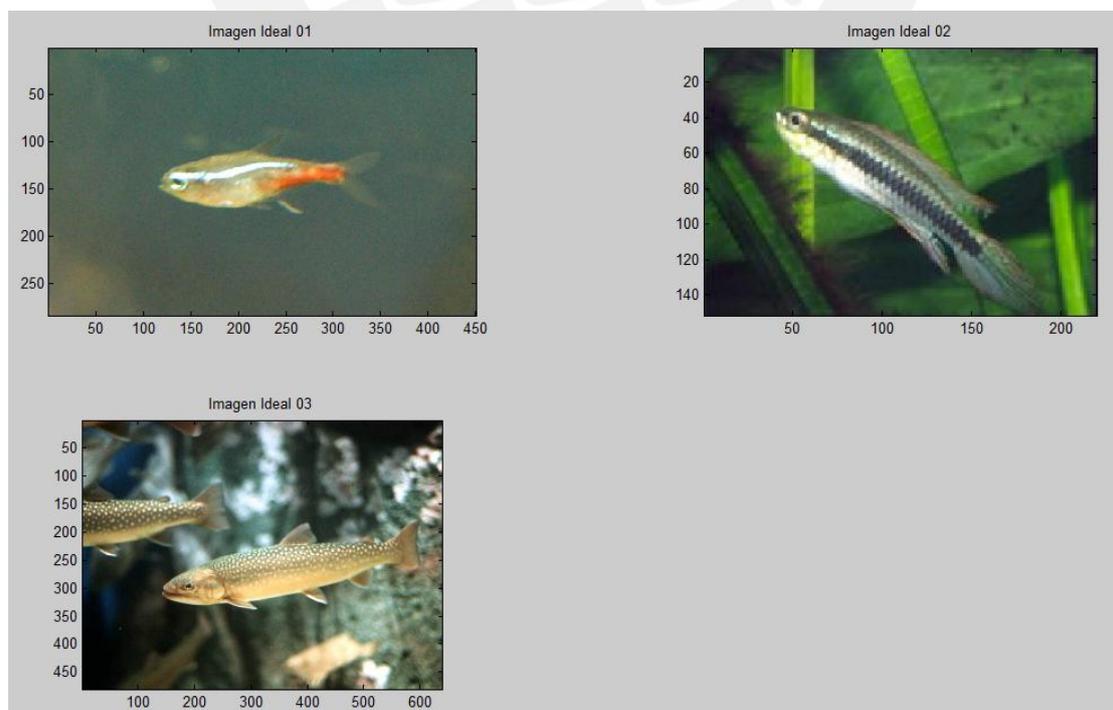


Figura 39: Imágenes ideales

Luego de realizar las pruebas con las “imágenes ideales” y ya visto el procedimiento adecuado para realizar el procesamiento de las imágenes procedemos a analizar las imágenes tomadas con la cámara utilizada. En la Figura 40 se muestran dichas imágenes a las cuales se les denominará “imágenes experimentales”, para la toma de dichas imágenes se tuvo cuidado en que sean tomadas antes que los peces sean alimentados para que el agua no se enturbie con los restos del alimento y los heces de los peces.

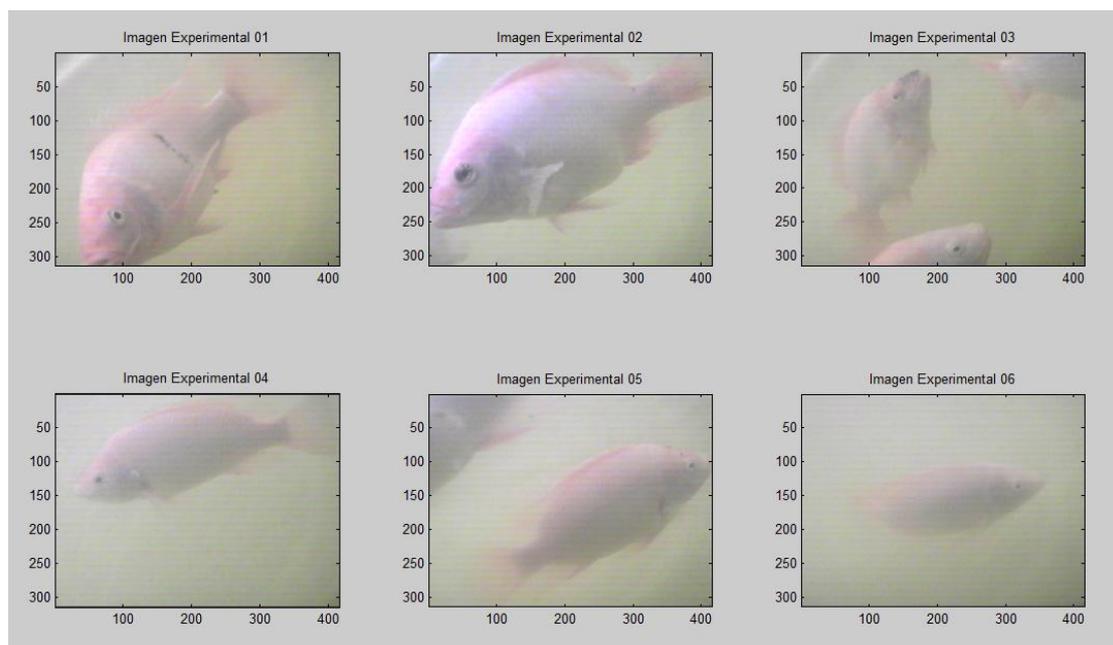


Figura 40: Imágenes experimentales

4.2 Ordenamiento de los datos obtenidos:

A continuación se muestra el análisis para las imágenes ideales y de cada una se determinará el rango de error que produce al aplicar el pre-procesamiento y procesamiento a cada una de las imágenes.

4.2.1 Pruebas realizadas con la imagen ideal N° 01:

A continuación se muestran las diversas pruebas aplicadas a la primera imagen, en ellas se harán uso, combinado, de las técnicas de pre-procesamiento ya mencionadas en el capítulo tres.

4.2.1.1 Primera prueba realizada:

En la Figura 41 se muestra la imagen original y en la Figura 42 se muestra la imagen original con la distancia calculada. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos.

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Elección del plano rojo.
- ✓ Mejora del contraste de la imagen (Corrección gamma).
- ✓ Filtrado de la imagen (Filtro pasa bajos Gaussiano).
- ✓ Umbralización (Método de Otsu).
- ✓ Eliminación de los contornos.
- ✓ Eliminación del ruido en la imagen (Dilatación y erosión).
- ✓ Detección del borde de la imagen (Método Sobel).
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).

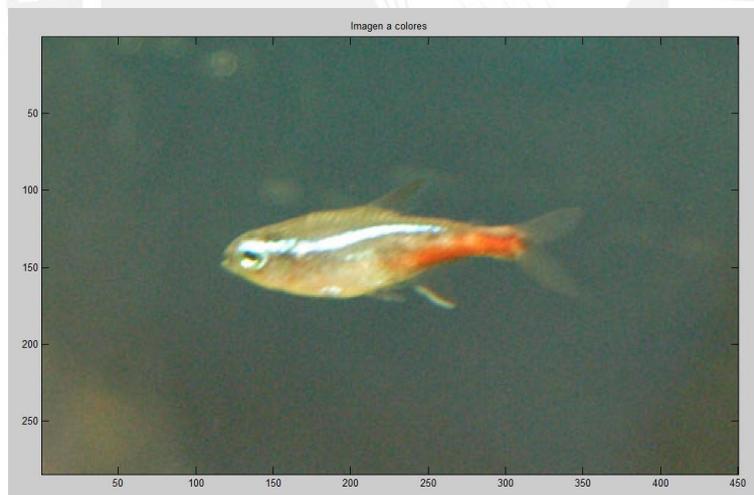


Figura 41: Imagen original

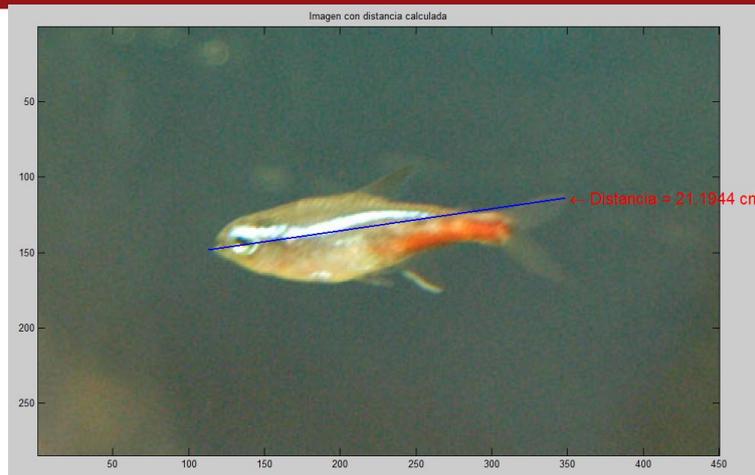


Figura 42: Imagen resultante de la primera prueba

4.2.1.2 Segunda prueba realizada:

En la Figura 43 se muestra la imagen original con la distancia calculada para la segunda prueba. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos.

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Elección del plano rojo.
- ✓ Mejora del contraste de la imagen (Corrección gamma).
- ✓ Umbralización (Método de Otsu).
- ✓ Eliminación de los contornos.
- ✓ Eliminación del ruido en la imagen (Dilatación y erosión).
- ✓ Detección del borde de la imagen (Método Sobel).
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).

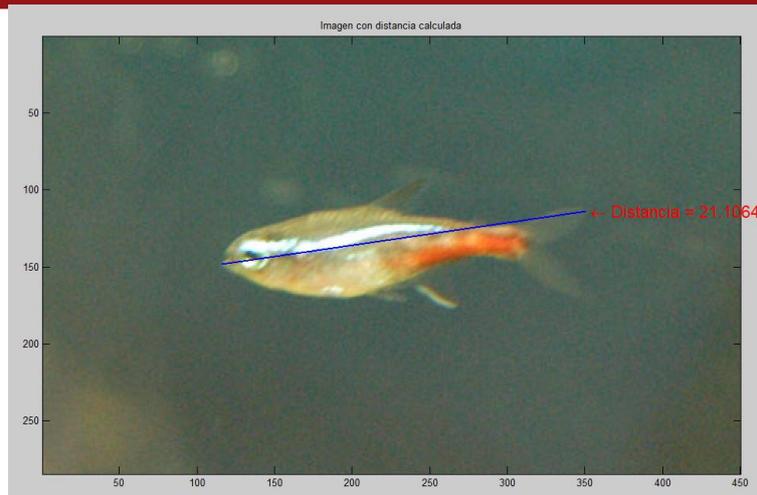


Figura 43: Imagen resultante de la segunda prueba

4.2.1.3 Tercera prueba realizada:

En la Figura 44 se muestra la imagen original con la distancia calculada para la tercera prueba. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos.

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Elección del plano rojo.
- ✓ Filtrado de la imagen (Filtro pasa bajos Gaussiano).
- ✓ Umbralización (Método de Otsu).
- ✓ Detección del borde de la imagen (Método Sobel).
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).

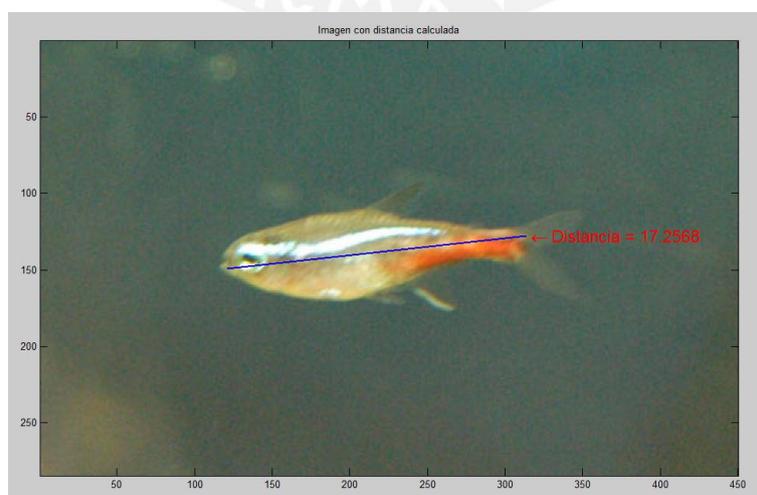


Figura 44: Imagen resultante de la tercera prueba

Como se puede ver en las tres pruebas diversas que se realizó se halló tres longitudes distintas debido a que fueron utilizadas técnicas diferentes en cada una de ellas, se observa además que en la tercera prueba es donde se obtiene un margen de error mayor que en las dos anteriores.

4.2.2 Pruebas realizadas con la imagen ideal N° 02:

A continuación se mostraran las diversas pruebas aplicadas a la segunda imagen.

4.2.2.1 Primera prueba realizada:

En la Figura 45 se muestra la imagen original y en la Figura 46 se muestra la imagen original con la distancia calculada. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos.

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Elección del plano azul.
- ✓ Mejora del contraste de la imagen (Corrección gamma).
- ✓ Filtrado de la imagen (Filtro pasa bajos Gaussiano).
- ✓ Umbralización (Método de Otsu).
- ✓ Eliminación de los contornos.
- ✓ Eliminación del ruido en la imagen (Dilatación y erosión).
- ✓ Detección del borde de la imagen (Método Sobel).
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).



Figura 45: Imagen original



Figura 46: Imagen resultante de la primera prueba

4.2.2.2 Segunda prueba realizada:

En la Figura 47 se muestra la imagen original con la distancia calculada para la segunda prueba. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos.

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Elección del plano azul.
- ✓ Mejora del contraste de la imagen (Corrección gamma).
- ✓ Umbralización (Método de Otsu).

- ✓ Relleno de agujeros (Apertura y cierre).
- ✓ Eliminación de los contornos.
- ✓ Eliminación del ruido en la imagen (Dilatación y erosión).
- ✓ Detección del borde de la imagen (Método Sobel).
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).



Figura 47: Imagen resultante de la segunda prueba

4.2.2.3 Tercera prueba realizada:

En la Figura 48 se muestra la imagen original con la distancia calculada para la tercera prueba. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos.

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Elección del plano azul.
- ✓ Filtrado de la imagen (Filtro pasa bajos Gaussiano).
- ✓ Umbralización (Método de Otsu).
- ✓ Detección del borde de la imagen.
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).



Figura 48: Imagen resultante de la tercera prueba

En las pruebas realizadas para la imagen ideal N° 02 se pudo observar que en la tercera prueba también se tiene un mayor margen de error.

4.2.3 Pruebas realizadas con la imagen ideal N° 03:

A continuación se mostraran las diversas pruebas aplicadas a la segunda imagen.

4.2.3.1 Primera prueba realizada:

En la Figura 49 se muestra la imagen original y en la Figura 50 se muestra la imagen original con la distancia calculada. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos.

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Elección del plano rojo.
- ✓ Mejora del contraste de la imagen (Corrección gamma).
- ✓ Filtrado de la imagen (Filtro pasa bajos Gaussiano).
- ✓ Umbralización (Método de Otsu).
- ✓ Eliminación de los contornos.
- ✓ Eliminación del ruido en la imagen (Dilatación y erosión).

- ✓ Detección del borde de la imagen (Método de Sobel).
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).

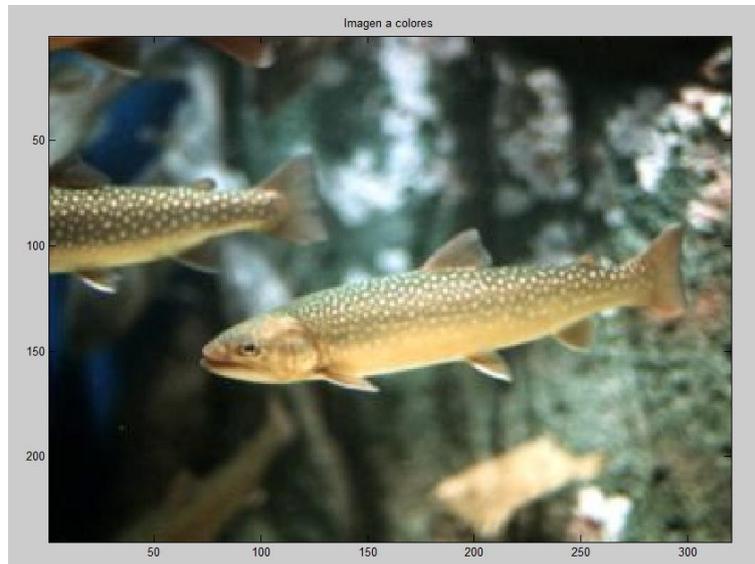


Figura 49: Imagen original



Figura 50: Imagen resultante de la primera prueba

4.2.3.2 Segunda prueba realizada:

En la Figura 51 se muestra la imagen original con la distancia calculada para la segunda prueba. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos.

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Elección del plano azul.

- ✓ Mejora del contraste de la imagen (Corrección gamma).
- ✓ Umbralización (Método de Otsu).
- ✓ Relleno de agujeros (Apertura y cierre)
- ✓ Eliminación de los contornos.
- ✓ Eliminación del ruido en la imagen (Dilatación y erosión).
- ✓ Detección del borde de la imagen (Método Sobel).
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).



Figura 51: Imagen resultante de la segunda prueba

4.2.3.3 Tercera prueba realizada:

En la Figura 52 se muestra la imagen original con la distancia calculada para la tercera prueba. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos.

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Elección del plano azul.
- ✓ Filtrado de la imagen (Filtro pasa bajos Gaussiano).
- ✓ Umbralización (Método de Otsu).
- ✓ Detección del borde de la imagen (Método Sobel)
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).

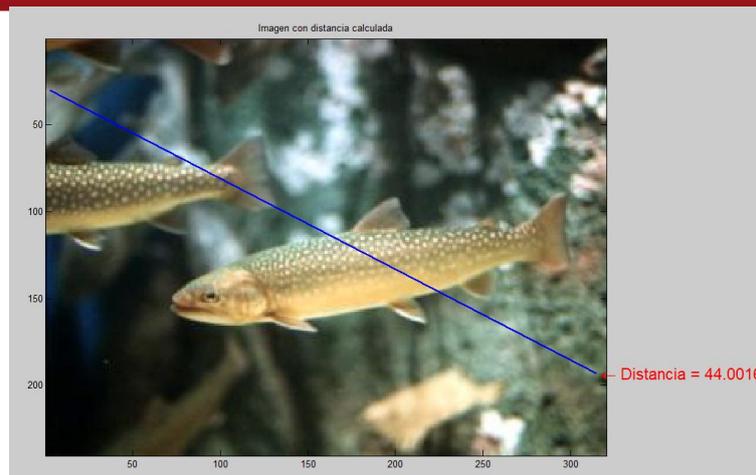


Figura 52: Imagen resultante de la segunda prueba

Como se puede ver en la tercera prueba para la imagen ideal N° 3 se tiene un margen de error muy amplio.

De las tres imágenes tomadas para una prueba inicial y de las nueve diversas pruebas realizadas se observa que en la tercera prueba de cada imagen se tiene un rango de error mayor comparado a las pruebas restantes, por lo tanto se puede hacer un primer descarte y decidir que la combinación de técnicas aplicadas en dicha prueba no es recomendable utilizarlas para nuestro propósito. De las otras pruebas restantes, por las distancias obtenidas, se puede ver que la segunda prueba de todas las imágenes es la que tiene un rango menor de error, mientras que la primera prueba realizada en las imágenes tiene un rango de error un poco mayor que las obtenidas en las segundas pruebas de dichas imágenes. En la Tabla 4 se muestra, en resumen, los porcentajes de error referenciales.

Tabla N° 4

IMAGEN		Prueba N° 01		Prueba N° 02		Prueba N° 03	
Ideal	Long. Real (cm)	Long. Medida (cm)	Porcentaje de error (%)	Long. Medida (cm)	Porcentaje de error (%)	Long. Medida (cm)	Porcentaje de error (%)
01	20.8	21.1944	1.90	21.1064	1.47	17,2568	17.03
02	32	32.4727	1.48	32.0727	0.23	29.7099	7.16
03	28.4	30.3135	6.74	28.6206	0.78	44.0016	54.94

Por lo tanto, para las siguientes pruebas se seguirá el procedimiento de la Prueba 02 ya que con ella se obtiene un rango de error menor comparado con las otras pruebas.

4.3 Pruebas con imágenes obtenidas por las cámaras utilizadas:

Después de realizar pruebas con las “imágenes ideales” procedemos a realizar pruebas con las imágenes experimentales que fueron obtenidas por las cámaras en el centro de cultivo de tilapias ubicado en el Campus Universitario de la PUCP.

4.3.1 Prueba realizada con la imagen experimental N° 01:

En la Figura 53 se muestra la imagen original. En el análisis, como se puede ver, se realiza un cambio en el procedimiento realizado ya que la mejora del contraste se realiza antes de elegir un plano adecuado y esto se debe a que la imagen original tiene demasiado brillo y no se puede distinguir entre el fondo y la imagen a analizar.

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Mejora del contraste de la imagen (Corrección gamma).
- ✓ Elección del plano rojo.
- ✓ Umbralización (Multiumbralización)
- ✓ Dilatación de la imagen.
- ✓ Relleno de agujeros (Apertura y cierre).
- ✓ Eliminación del ruido en la imagen (Dilatación y erosión).
- ✓ Detección del borde de la imagen (Método Sobel).
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).

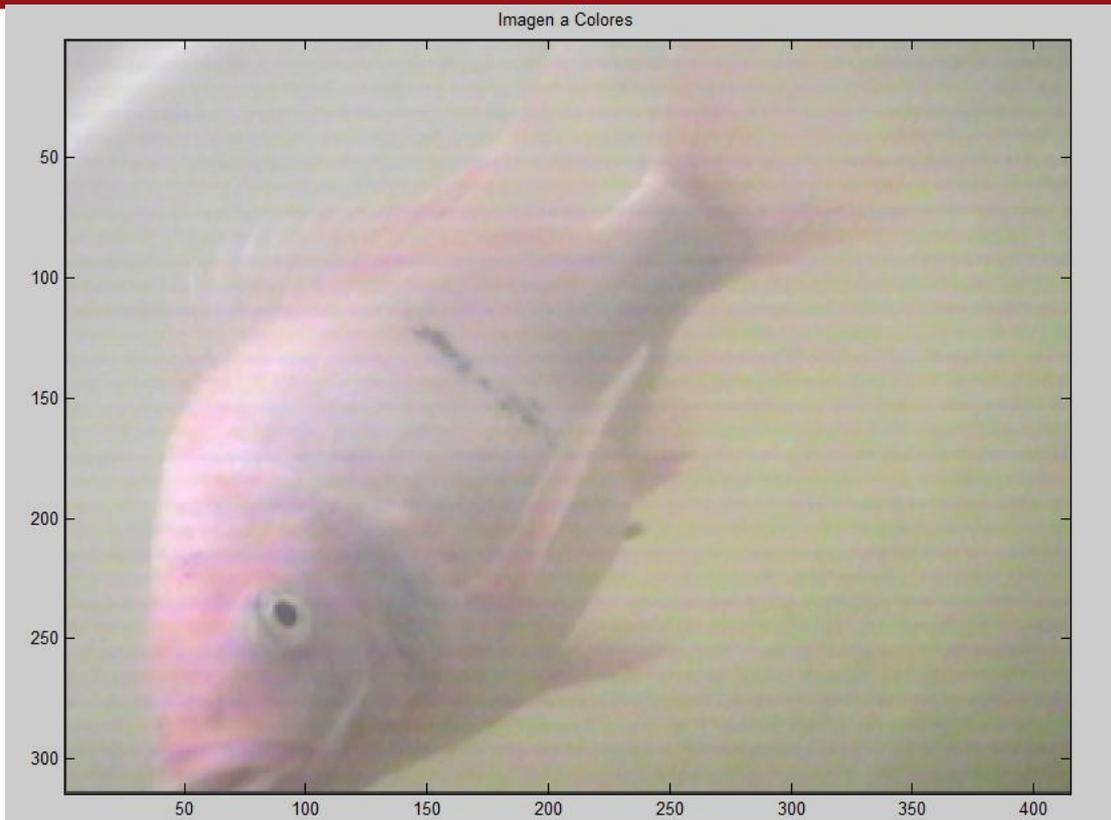


Figura 53: Imagen original

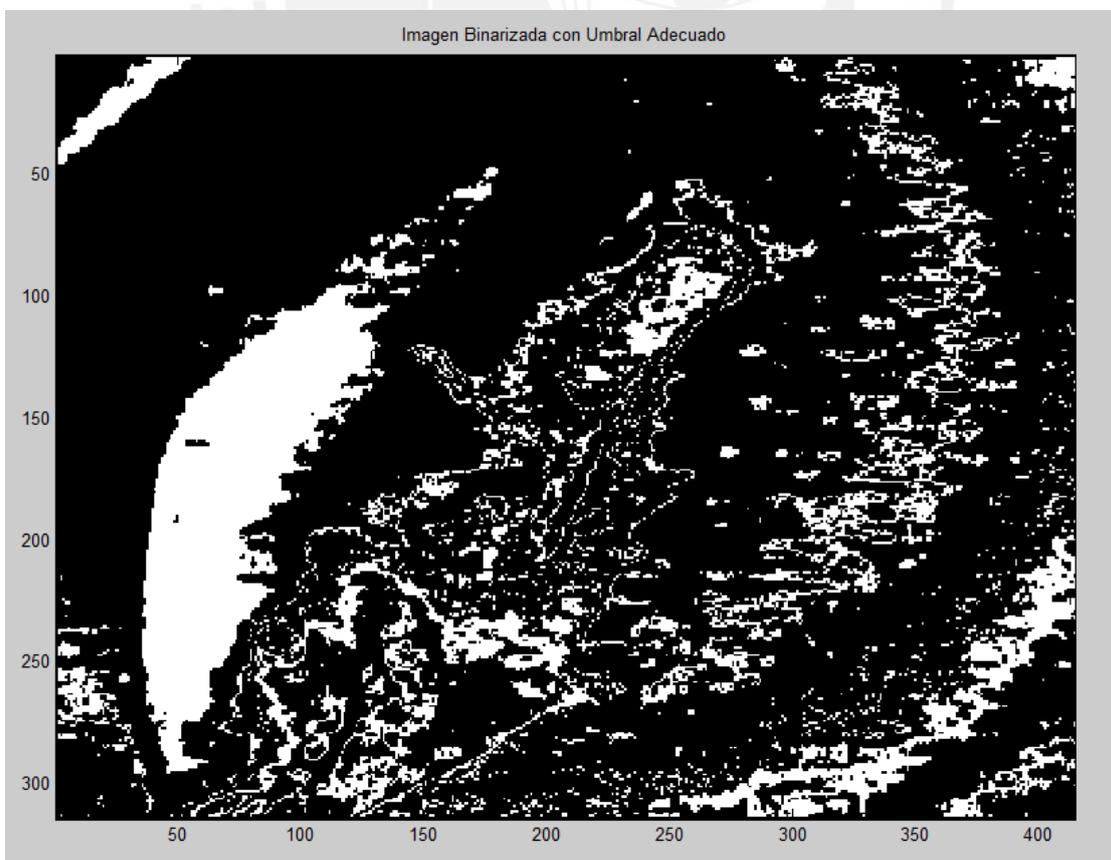


Figura 54: Imagen umbralizada

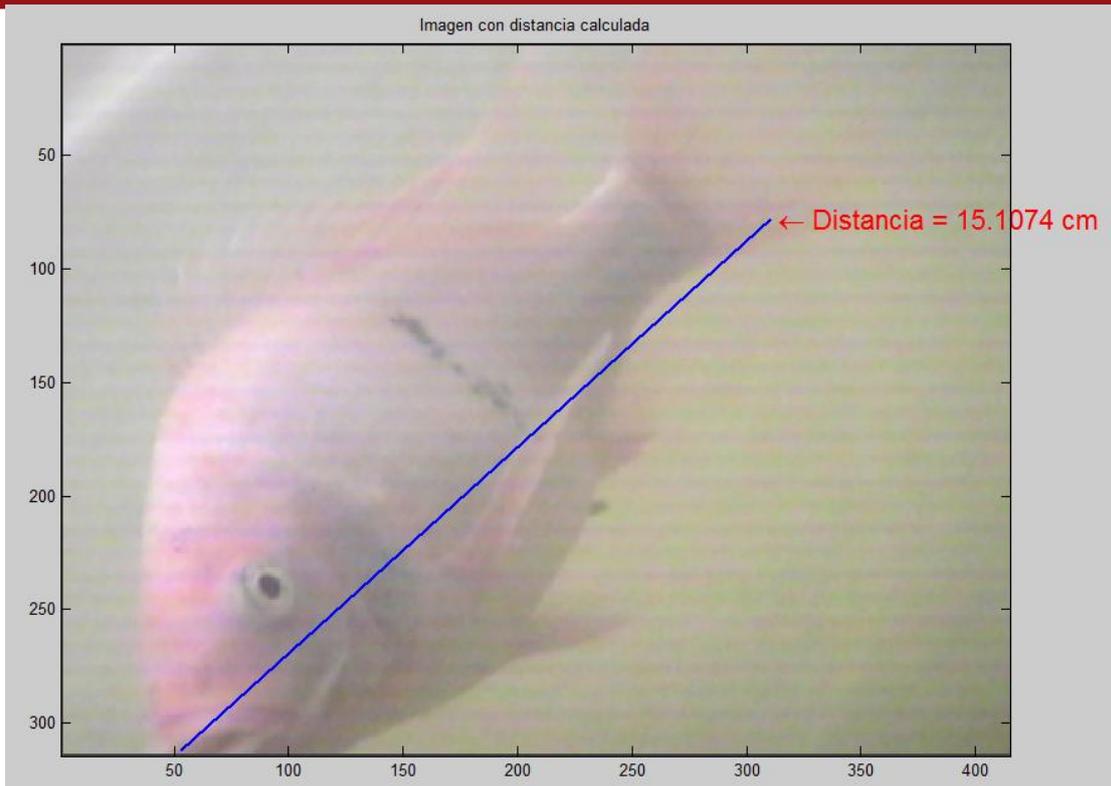


Figura 55: Imagen con distancia calculada

4.3.2 Pruebas realizadas con la imagen experimental N° 02:

En la figura 56 se muestra la imagen original. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos:

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Mejora del contraste de la imagen (Corrección gamma)
- ✓ Elección del plano rojo.
- ✓ Umbralización (Multiumbralización).
- ✓ Dilatación de la imagen.
- ✓ Relleno de agujeros (Apertura y cierre).
- ✓ Eliminación del ruido en la imagen (Dilatación y erosión).
- ✓ Detección del borde de la imagen (Método Sobel).
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).

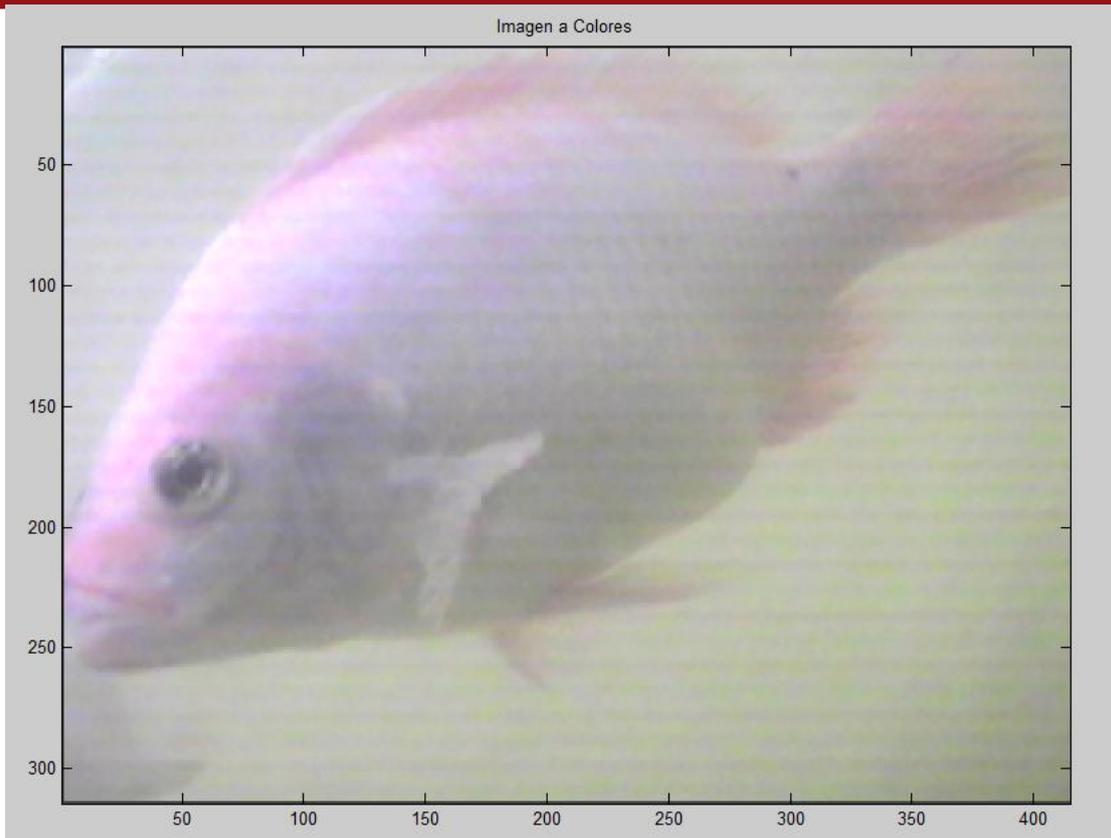


Figura 56: Imagen original



Figura 57: Imagen umbralizada

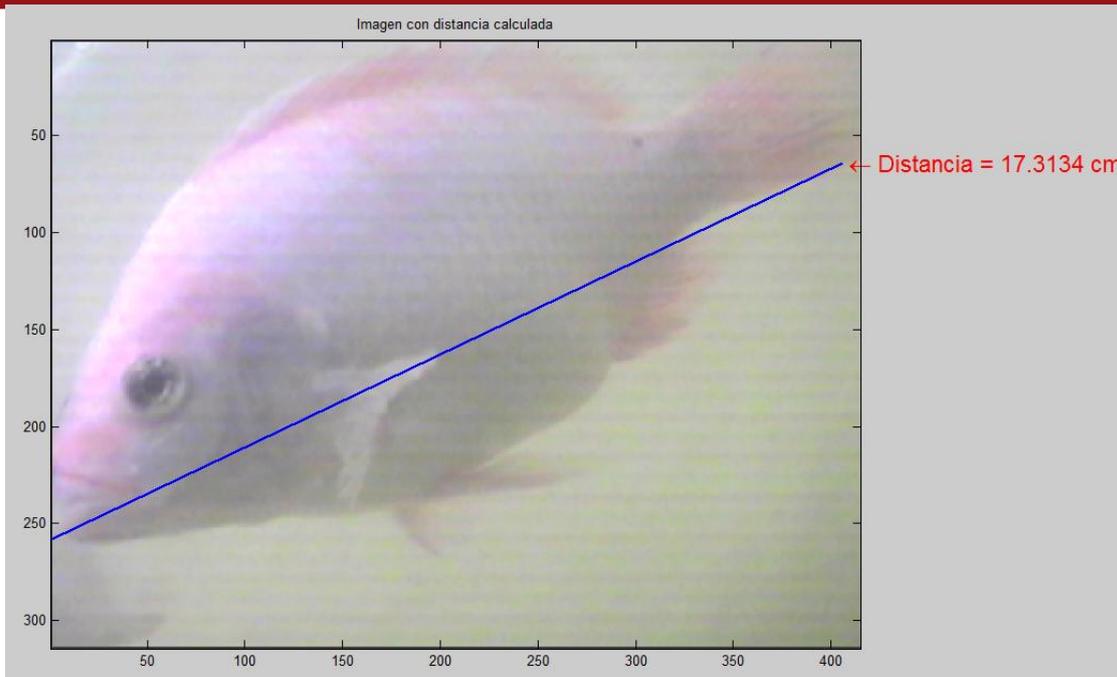


Figura 58: Imagen con distancia calculada

4.3.3 Pruebas realizadas con la imagen experimental N° 03:

En la figura 59 se muestra la imagen original. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos:

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Mejora del contraste de la imagen (Corrección gamma).
- ✓ Elección del plano rojo.
- ✓ Umbralización (Multiumbralización).
- ✓ Dilatación de la imagen.
- ✓ Relleno de agujeros (Apertura y cierre).
- ✓ Eliminación del ruido en la imagen (Dilatación y erosión).
- ✓ Detección del borde de la imagen (Método Sobel).
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado)

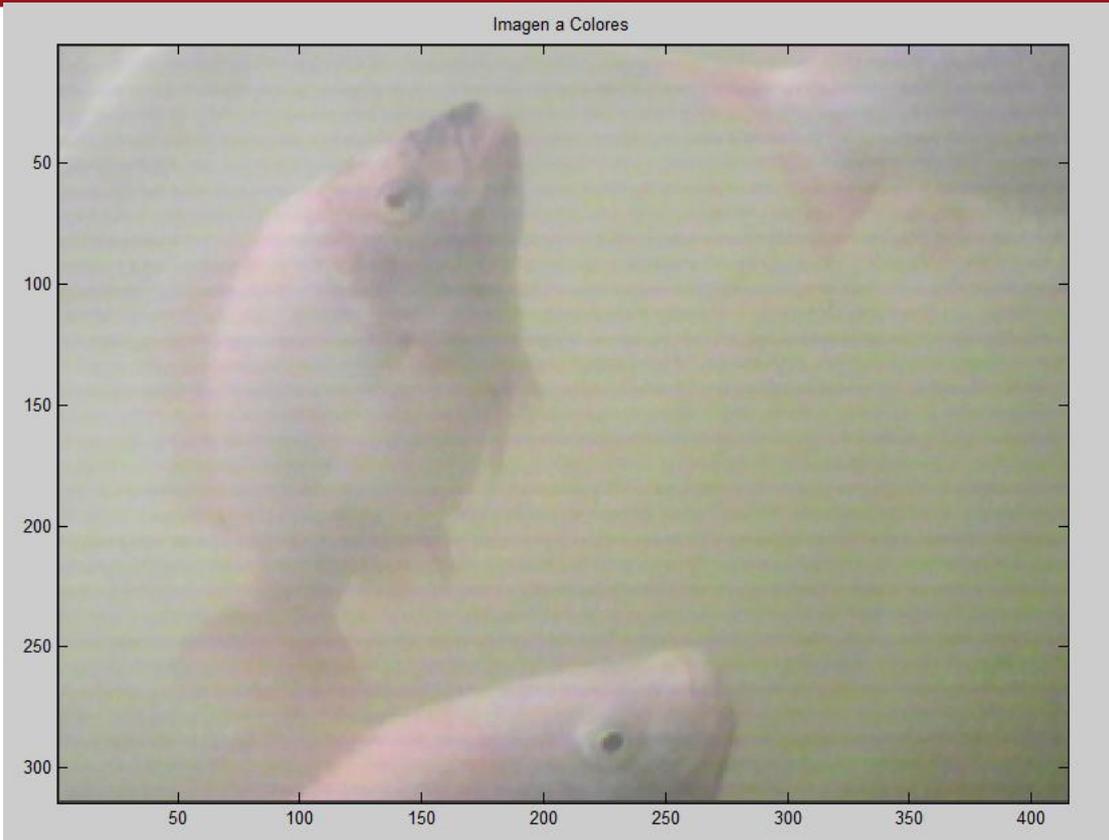


Figura 59: Imagen original

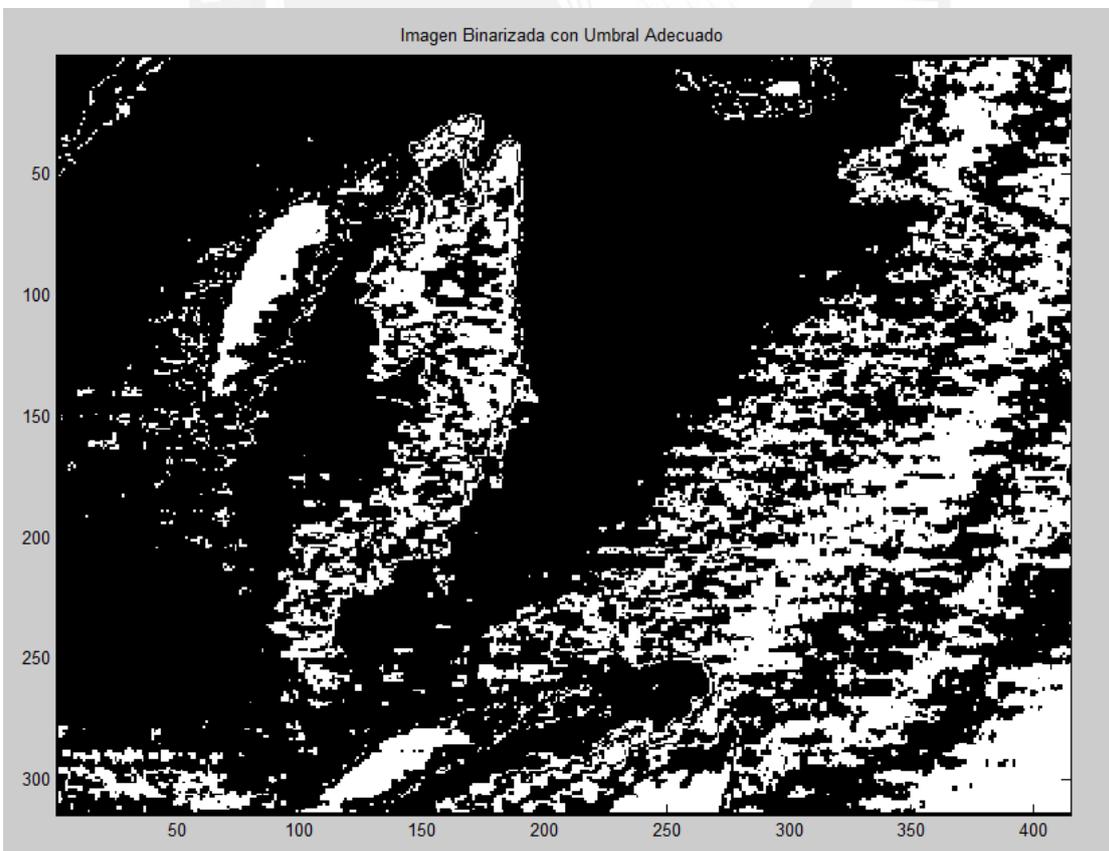


Figura 60: Imagen umbralizada

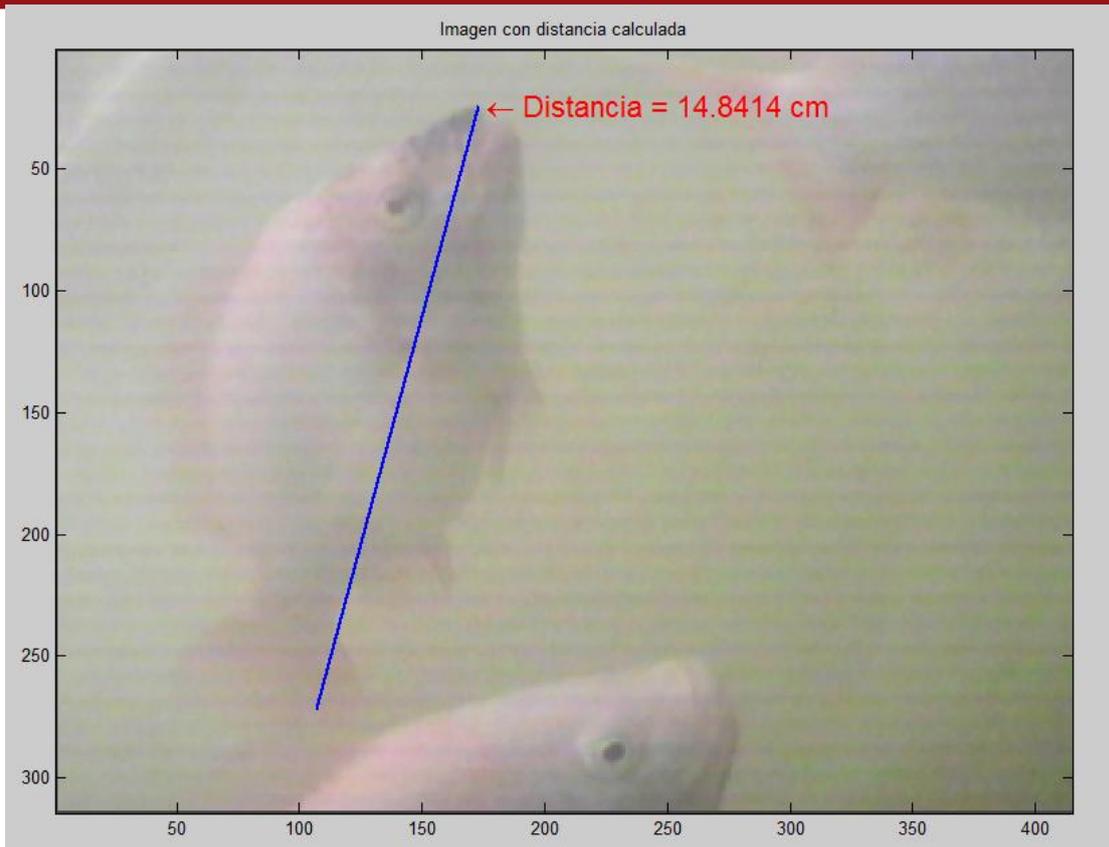


Figura 61: Imagen con distancia calculada

4.3.4 Pruebas realizadas con la imagen experimental N° 04:

En la figura 62 se muestra la imagen original. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos:

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Mejora del contraste de la imagen (Corrección gamma)
- ✓ Elección del plano rojo.
- ✓ Umbralización (Multiumbralización)
- ✓ Dilatación de la imagen.
- ✓ Relleno de agujeros (Apertura y cierre)
- ✓ Eliminación del ruido en la imagen (Dilatación y erosión)
- ✓ Detección del borde de la imagen (Método Sobel).
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).

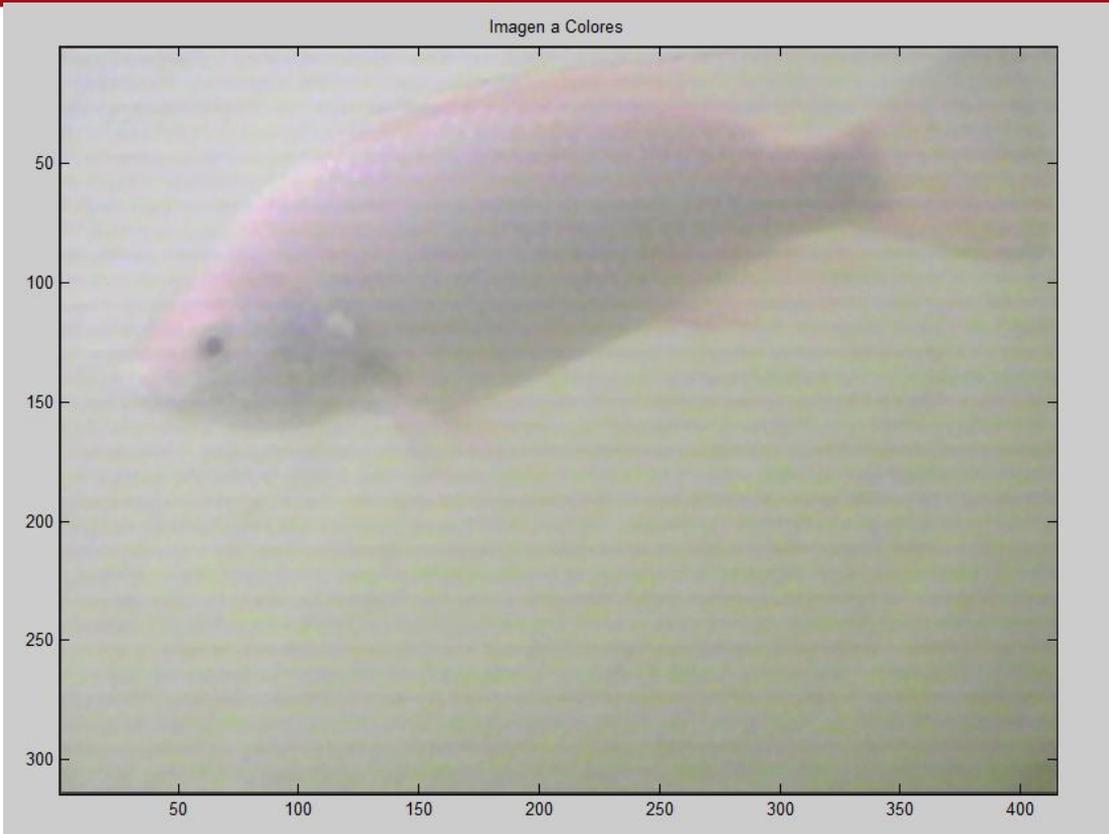


Figura 62: Imagen original

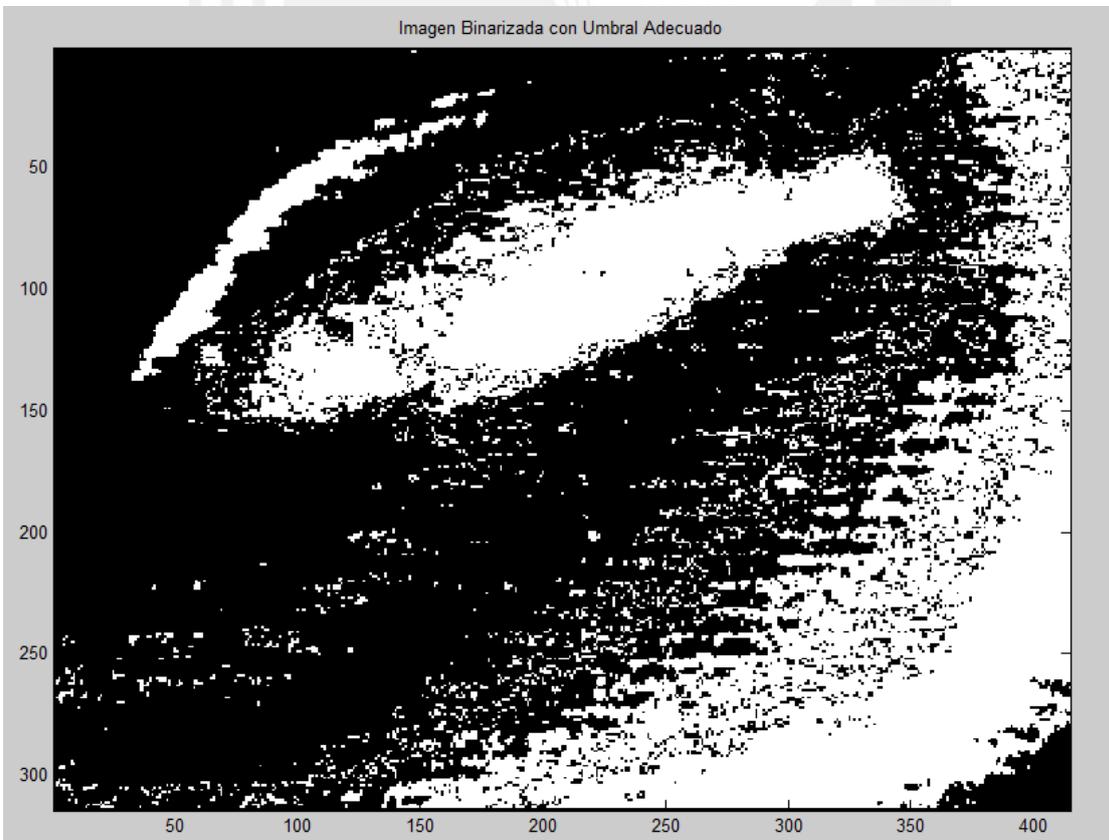


Figura 63: Imagen umbralizada

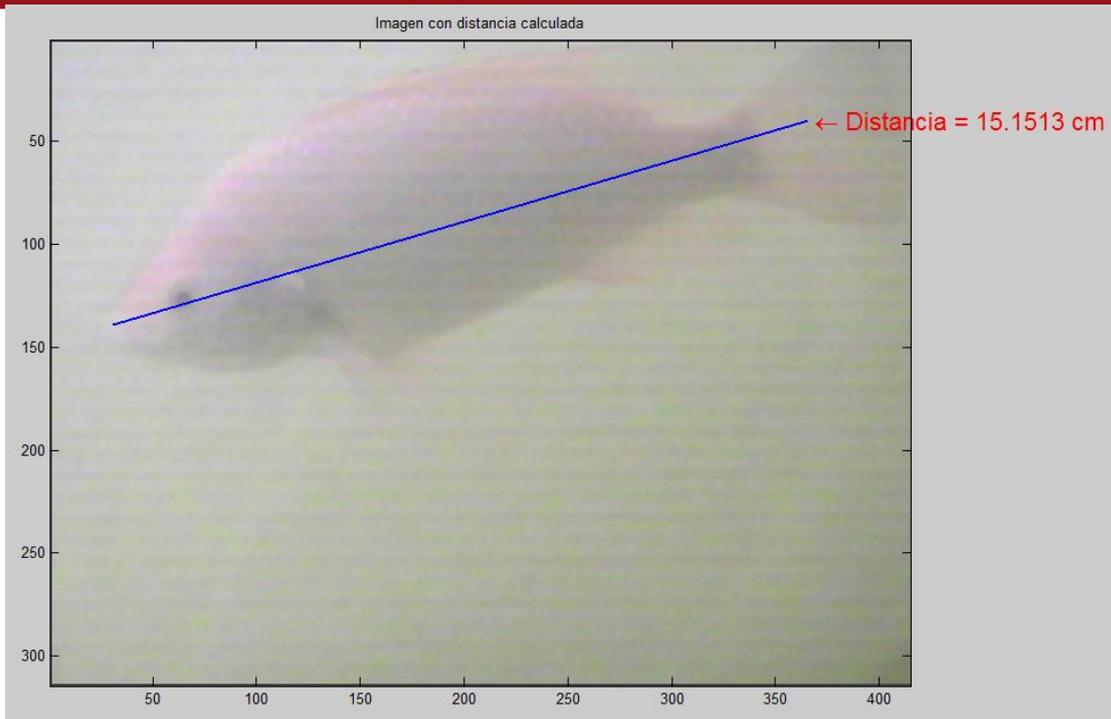


Figura 64: Imagen con distancia calculada

4.3.5 Pruebas realizadas con la imagen experimental N° 05:

En la figura 65 se muestra la imagen original. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos:

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Mejora del contraste de la imagen (Corrección gamma)
- ✓ Elección del plano rojo.
- ✓ Umbralización (Multiumbralización)
- ✓ Dilatación de la imagen.
- ✓ Relleno de agujeros (Apertura y cierre)
- ✓ Eliminación del ruido en la imagen (Dilatación y erosión)
- ✓ Detección del borde de la imagen (Método Sobel).
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).

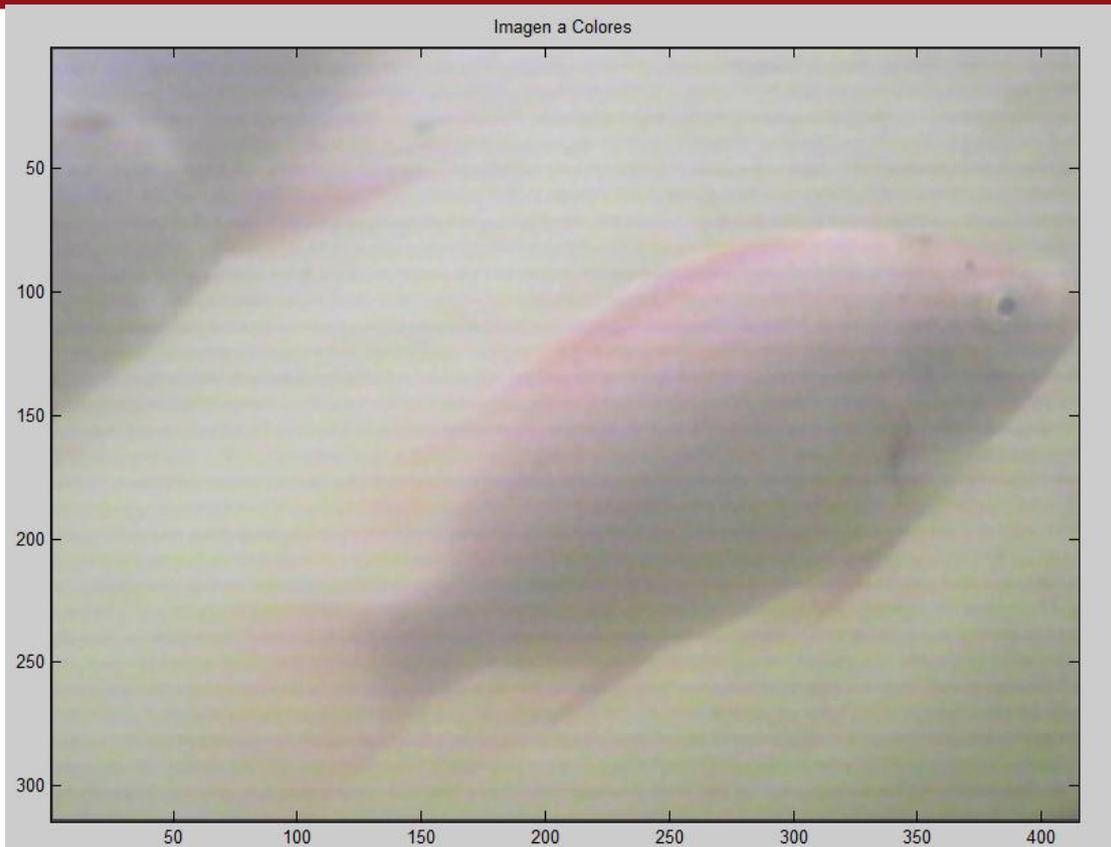


Figura 65: Imagen original

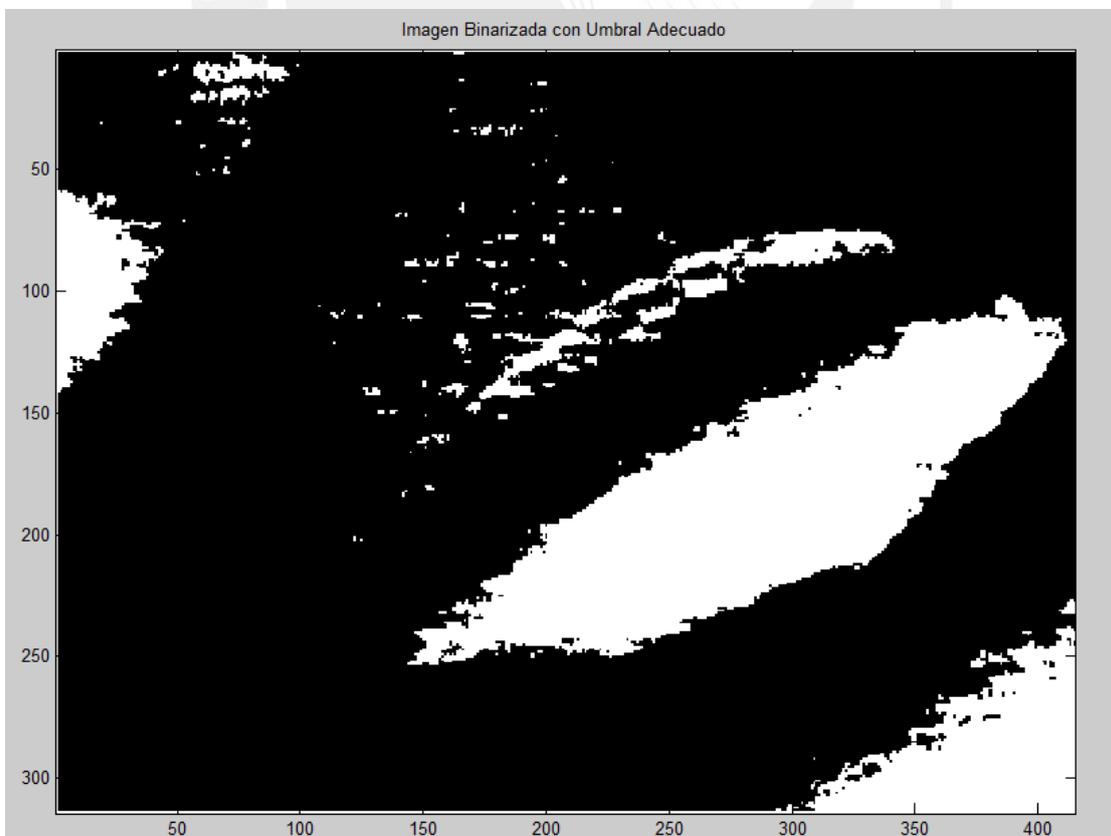


Figura 66: Imagen umbralizada

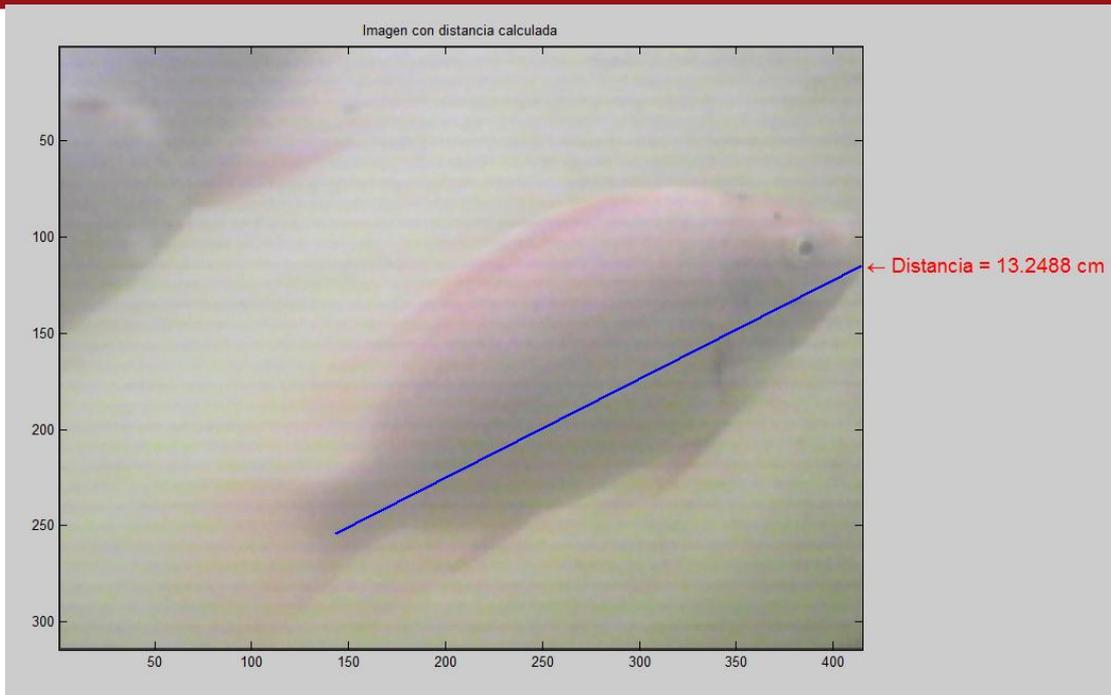


Figura 67: Imagen con distancia calculada

4.3.6 Pruebas realizadas con la imagen experimental N° 06:

En la figura 68 se muestra la imagen original. En este análisis se siguió los siguientes procedimientos:

- ✓ Captura de la imagen.
- ✓ Mejora del contraste de la imagen (Corrección gamma)
- ✓ Elección del plano rojo.
- ✓ Umbralización (Multiumbralización)
- ✓ Dilatación de la imagen.
- ✓ Relleno de agujeros (Apertura y cierre)
- ✓ Eliminación del ruido en la imagen (Dilatación y erosión)
- ✓ Detección del borde de la imagen (Método Sobel).
- ✓ Cálculo de la longitud del pez (Algoritmo desarrollado).

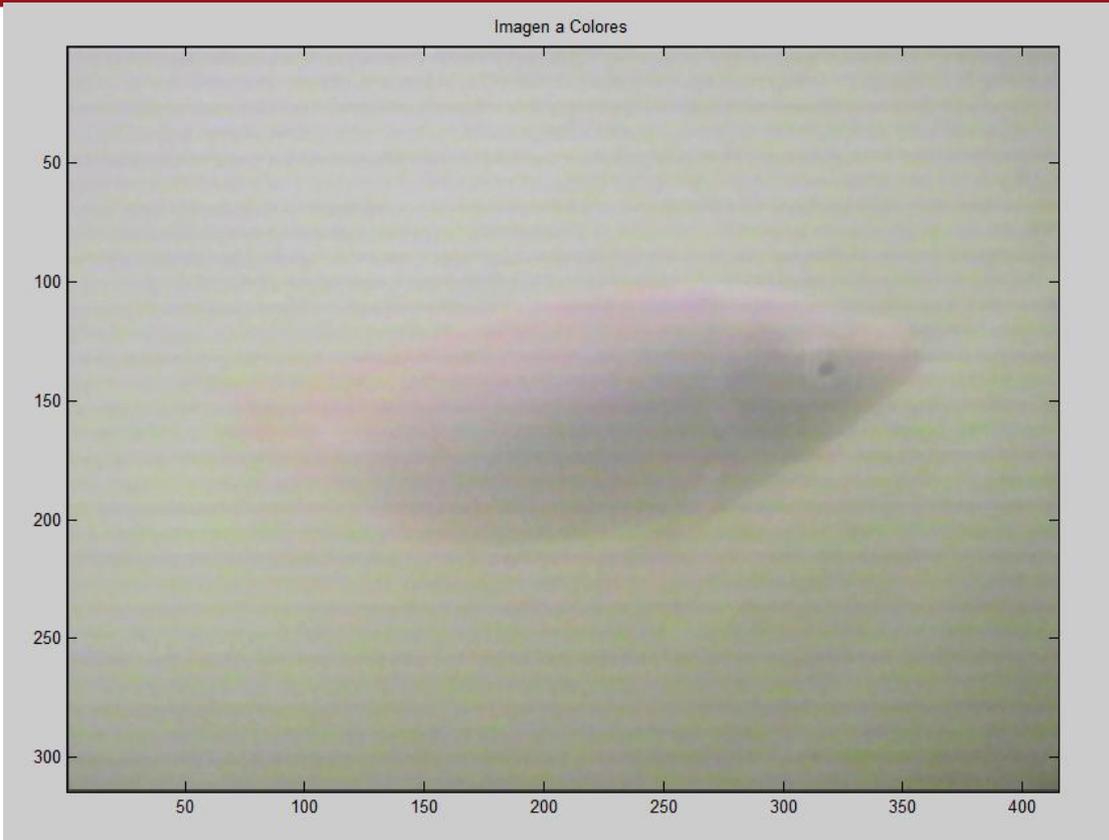


Figura 68: Imagen original

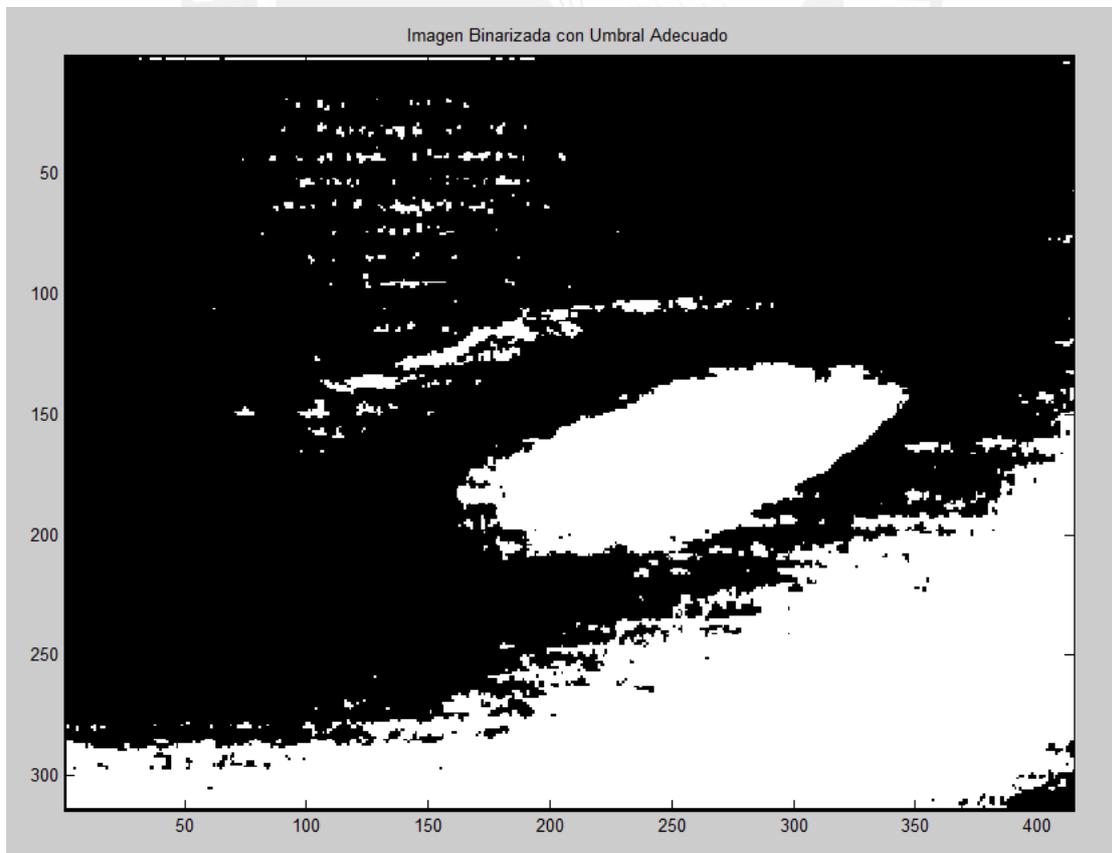


Figura 69: Imagen umbralizada

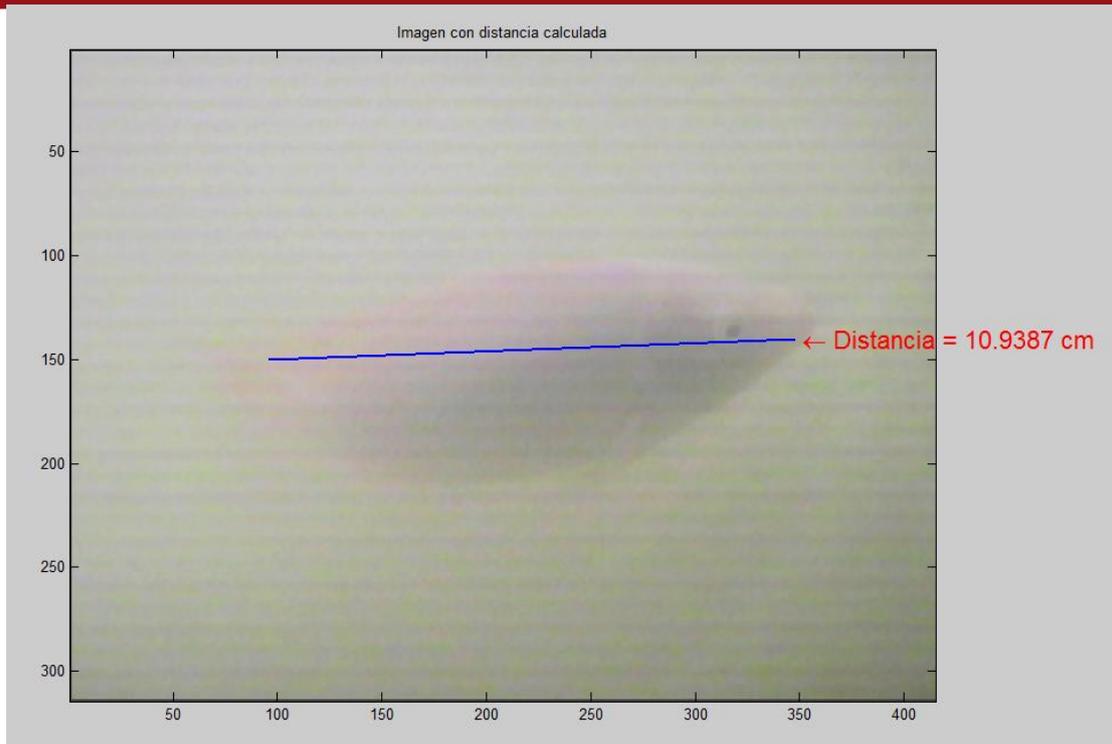


Figura 70: Imagen con distancia calculada

En la Tabla 5 se muestra los porcentajes de error de las imágenes experimentales.

Tabla N° 5

IMAGEN		Prueba Experimental	
Experimental	Longitud Real ^(*) (cm)	Longitud Medida ^(**) (cm)	Porcentaje de error (%)
01	16.0	15,1074	5.58
02	16.5	17,3134	4.93
03	15.5	14,8414	4.25
04	16.0	15.1513	5.30
05	14.0	13.2488	5.37
06	12.0	10.9387	8.84

^(*)Las mediciones de las longitudes reales de las “imágenes experimentales” tienen un margen de error de ± 0.5 cm.

^(**)Según la experiencia de los biólogos y acuicultores el rango de error máximo válido para que la selección sea adecuada debe ser 2 cm.

4.4 Costos de implementación:

Para la implementación del presente trabajo, es necesario el siguiente costo de inversión, tal como se muestra en la Tabla 6.

Tabla N° 6

Cantidad	Descripción	Costo (\$)
1	Computadora personal Pentium IV con 512 Mb de memoria RAM, tarjeta de video AGPx8 y sistema operativo Windows XP.	400.00
1	Cámara CCD - AVC 527 LN/F40.	250.00
1	Software Witness AS/ASE/HS/RD/DX/U XP con su respectiva tarjeta de adquisición CP-1400AS-(T).	255.00
1	Software MATLAB® versión 7.1.0.246 (R14) Service Pack 3	2400.00
2	Toolbox de MatLab (Signal Processing and Image Processing) para el procesamiento de las imágenes.	500.00
1	Adaptador de RCA a BNC.	0.35
1	Cable de audio/video tipo RCA.	0.75
1	Materiales para la cubierta de la cámara (Tubo PVC, lunas y pegamento)	5.00
1	Costo de ingeniería.	500.00
	TOTAL:	4311.10

CONCLUSIONES:

- Finalmente después de las pruebas realizadas se puede concluir que el rango de error es menor al 10%, lo cual indica que la aproximación realizada está dentro del rango permitido para una correcta selección de los peces.
- Por otra parte el algoritmo desarrollado, para el procesamiento, es versátil ya que puede ser utilizado para diversos tamaños de peces, además puede ser utilizado para diversos tipos de peces.
- La iluminación que fue implementada con la ayuda de las cámaras de visión nocturna no fueron las adecuadas ya que las imágenes tomadas no se diferencian mucho del fondo por lo cual el procesamiento tuvo que ser más detallado.
- El método de umbralización utilizada inicialmente en las llamadas “imágenes ideales” no fue eficiente al tratar de utilizarlas en las “imágenes experimentales” debido a los factores de iluminación, es por ello que se tuvo que hallar los umbrales a partir del histograma de la imagen en plano elegido; además no solo se tomó un umbral sino se tuvo que tomar varios rangos como umbrales para poder diferenciar la imagen a ser analizada del fondo.
- El realizar inicialmente pruebas con las llamadas “imágenes ideales” permitió obtener una referencia para poder aplicar los métodos más adecuados, de toda la gama de técnicas conocidas en procesamiento de imágenes, en las imágenes que fueron llamadas como “imágenes experimentales”.
- Por otra parte si el pez se mueve rápidamente y la cámara toma una imagen desenfocada, el análisis es el mismo ya que no es importante tener detalladamente

el cuerpo del pez, pues lo que finalmente importa es obtener sólo el borde del pez para hallar su longitud; sin embargo, dicho desenfoque afecta en el cálculo de la longitud del pez ya que se presenta una variación.

- Al utilizar en el procesamiento un filtro pasa bajos, indirectamente se obtiene una imagen desenfocada y por las pruebas realizadas con las llamadas “imágenes ideales”, el porcentaje de error, también, es menor del 10 %.



RECOMENDACIONES:

- Para obtener imágenes con mejor contraste es necesario utilizar una mejor iluminación a parte de la iluminación que la cámara pueda proveer.
- Si se requiere automatizar el algoritmo, se puede implementar una función que elija adecuadamente los umbrales a partir de una fórmula de recurrencia.
- Si se quiere tener un factor de conversión más preciso sería recomendable utilizar dos cámaras lo cual es visión estereoscópica, con ello incluso se puede estimar el peso del pez, ya que con la visión estéreo se puede obtener información de volumen.
- Se recomienda capturar las imágenes antes de alimentar a los peces, ya que de esa manera las imágenes obtenidas serán más claras y, por lo tanto, más fáciles de procesar, pues si se capturan imágenes después que los peces fueron alimentados el agua se enturbiará por los restos de comidas y heces de los animales y por lo tanto las imágenes serán de mala calidad.
- Para poder seleccionar de manera física el pez, una vez obtenido la longitud adecuada por software, se puede enviar una señal de control a través de la computadora por una interfaz hacia un hardware que permita activar motores que abran o cierren compuertas para la selección o no de dichos peces.

FUENTES

- Abdi, H.
 1992 A neural network primer. 2a. ed. Journal of Biological Systems. pp. 247 – 283.
- Asociación Empresarial de Productores de Cultivos Marinos (APROMAR).
 2004 La acuicultura en el mundo. [En línea].
 <<http://www.cca.ufsc.br/~jff/disciplinas/cultivodemoluscos/pdf/acuicultura%20Mundo%202004.pdf>>
- AQUAHOY
 2007 Perú: Creciente demanda mundial es una oportunidad para el desarrollo de acuicultura. [En línea].
 <http://www.aquahoy.com/index.php?option=com_content&task=view&id=1332>
- BANCOMEX
 2006 Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Suprema en trucha arco iris. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Beddow, T.A. et al.
 1996 Predicting salmon biomass remotely using a digital stereo-imaging technique. Aquaculture 146 (3 – 4), 189-203.
- Brager, S. y Chong A.K.
 1999 An application of close range photogrammetry in dolphin studies. Photogramm. Record 17 (93), 503-517.
- Costa, C. et al.
 2005 Extracting fish size using dual underwater camera. Elsevier B.V. AQUE-1401, pp. 1-10.
- Dapena, A.
 2002 Técnicas de procesamiento de imagen. [En línea]

<[http://www.des.udc.es/~adriana/TercerCiclo/Cursolmagen/curso/web/T
ransf_Int_Func.html](http://www.des.udc.es/~adriana/TercerCiclo/Cursolmagen/curso/web/Transf_Int_Func.html)>

- Dirección Nacional De Acuicultura - Viceministerio de Pesquería.
2003 Cartilla del acuicultor.
Perú: Ministerio de la Producción
- Dirección Nacional De Acuicultura - Viceministerio de Pesquería.
2004 Piscicultura de la trucha.
Perú: Ministerio de la Producción
- Done, T.J.
1981 Photogrammetry in coral reef ecology: a technique for the study of change in coral reef communities, 2. In: Proceedings of the Fourth International Coral Reef Symposium, Manila, pp. 315-320.
- Fernández, A.
1981 Automatización del proceso de ensamblaje del soporte del sensor de lluvia en parabrisas de automóviles. [En línea].
< <http://sauron.etse.urv.es/public/propostes/pub/pdf/766pub.pdf>>
- González, R.
2004 Digital image processing using MATLAB. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Harvey, E.S. et al.
2001a A comparison of the precision and accuracy of estimates of reef-fish length made by divers and stereo-video system. Fish. Bull. 99 (1), 63-71.
2001b Improving the statistical power of visual length estimates of reef fish: a comparison of divers and stereo-video. Fish. Bull. 99 (1), 72-80.
2001c Estimation of reef fish length by divers and by stereo-video. A first comparison of the accuracy and precision in the field on living fish under operational conditions. Fisheries Research, 57: pp. 255-265.

- Harvey, E.S. et al.
2003 The accuracy and precision of underwater measurements of length and maximum body depth of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) with a stereo-video camera system. *Fisheries Research*, 63: pp. 315-326.
- Hockaday, S et al.
2000 Using truss networks to estimate the biomass of *Oreochromis niloticus*, and to investigate shape characteristics. *J. Fish Biol.* 57, 981-1000.
- Ibarra, J. M.
2005 Visión artificial para robots. España. Departamento de control automático del centro de investigación y de estudios avanzados del IPN.
- Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE).
2004 Visión por computadora. [En línea]
<<http://ccc.inaoep.mx/~labvision/index.htm>>
- Martínez de Dios, J.L. et al.
2003 Computer vision and robotics techniques in fish farms. *Robotica* 21, 233-243.
- Martínez, V.
1997 Objetivos de mejoramiento y criterios selección en salmones y truchas. *Tecnovet* [En línea], 7 (1). Marzo [Consultado 2007/04/21]
<http://www.tecnovet.uchile.cl/CDA/tecnovet_articulo/0,1409,SCID%253D8986%2526ISID%253D447,00.html>
- Naiberg, A. et al.
1993 Non-invasive fish size assessment method for tanks and sea cages using stereo-video. In: Wang, J.K. (ed.), *Techniques for Modern Aquaculture*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, M.I., pp. 372-381.

- Rochet, M. J. et al.
2004 Precision and accuracy of fish length measurements obtained with two visual underwater methods. Fish. Bull. 104 (1), 1-9.
- Schierwagen, A.
2001 Vision as computation, or: Does a computer vision system really assign meaning to images?. Berlin: Springer-Verlag.
- Stickney, R. R.
1994 Principles of aquacultural.
New York: John Wiley & Sons.
- Swann, LaDon
1994 A Basic Overview of Aquaculture. Technical Bulletin Series # 102.
United States: Department of Agriculture.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN - CENTRO ING. ROBERTO HERRERA
2006 Control automático y control de procesos. Perspectiva histórica. [En línea].
< <http://www.herrera.unt.edu.ar/controldeprocesos/Regimen/Tp0a.pdf>>
- UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES – FACULTAD DE INGENIERÍA
2006 Introducción al control automático. [En línea].
< <http://www.fi.uba.ar/materias/6653/material/02Introduccion.pdf>>
- Vega, J.
1998 Visión por computadora. México: Facultad de Ingeniería UACH. pp. 1-2
- Yuras, G.
1998 Introducción a la percepción remota del océano. [En línea].
<<http://www.profc.udec.cl/~gabriel/tutoriales/curso/cap06-%20imagenes%20digitales.PDF>>

ANEXOS

A continuación se muestran las imágenes obtenidas por la cámara y las obtenidas con el procesamiento.

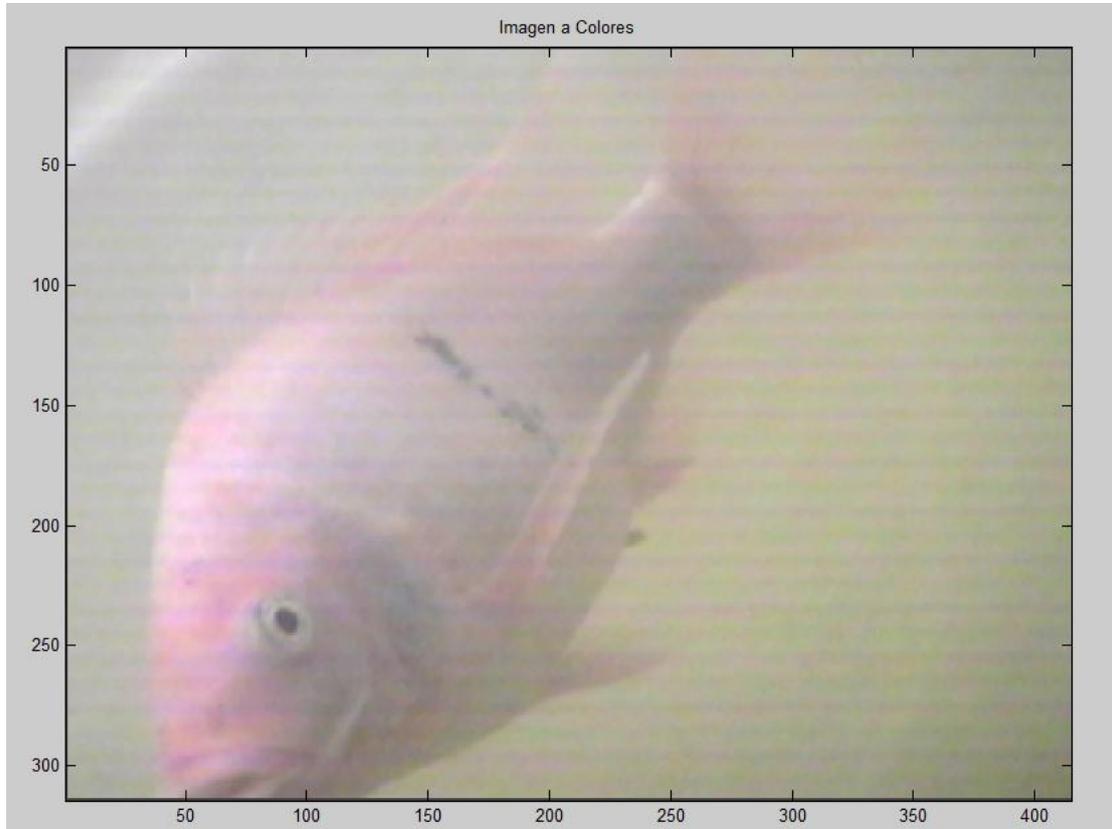


Figura 1: Imagen experimental N° 01

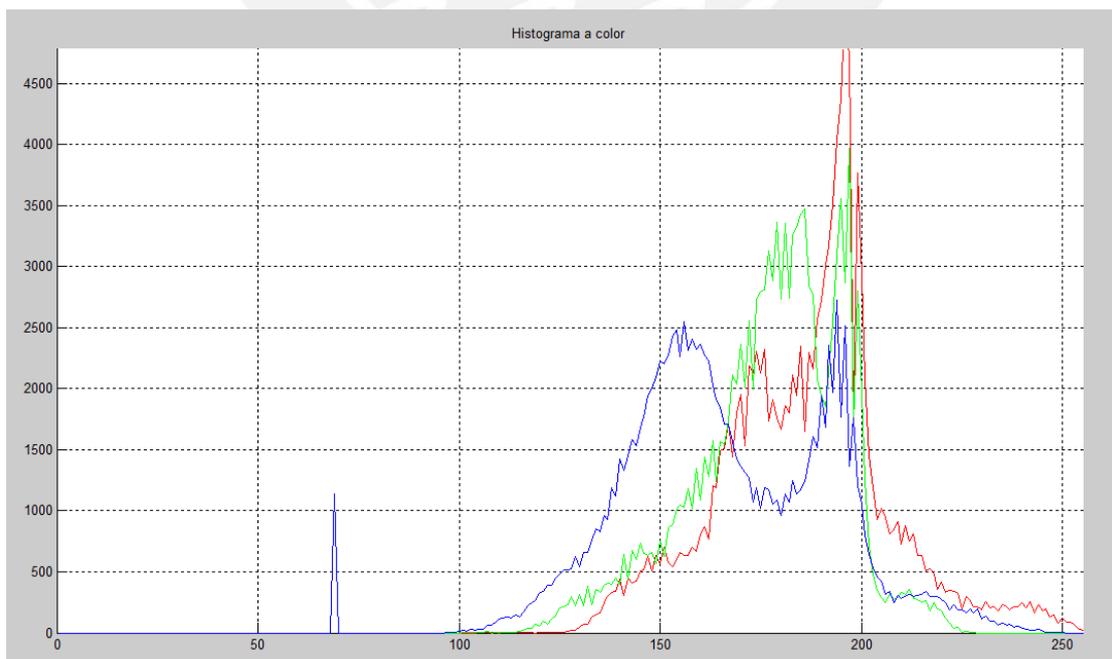


Figura 2: Histograma de la imagen experimental N° 01



Figura 3: Imagen contrastada

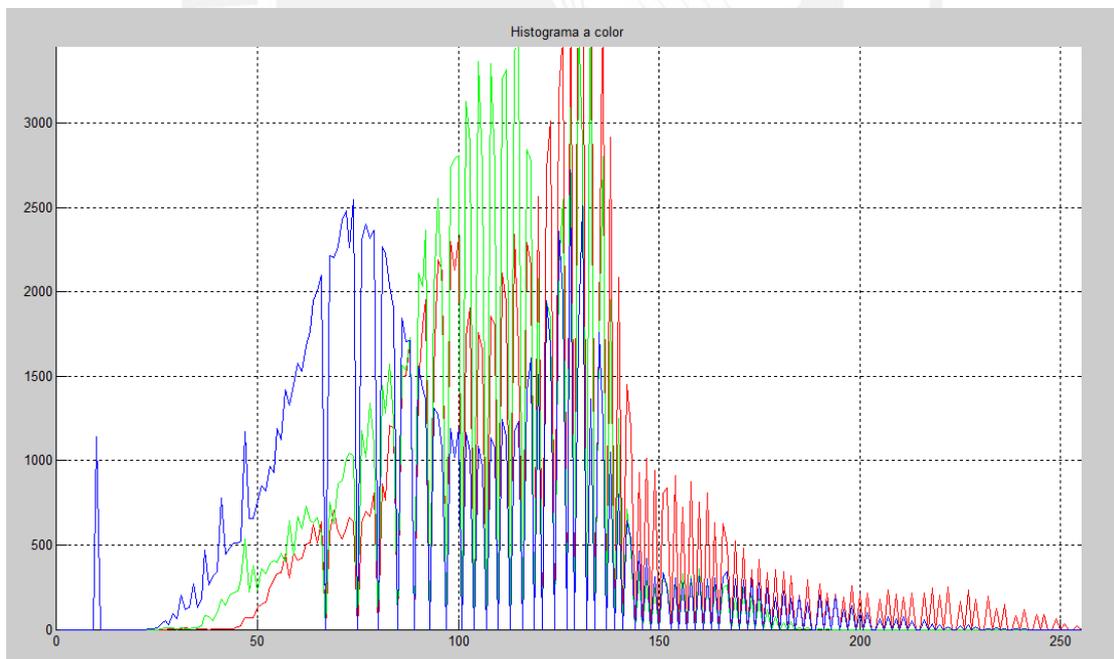


Figura 4: Histograma de la imagen contrastada

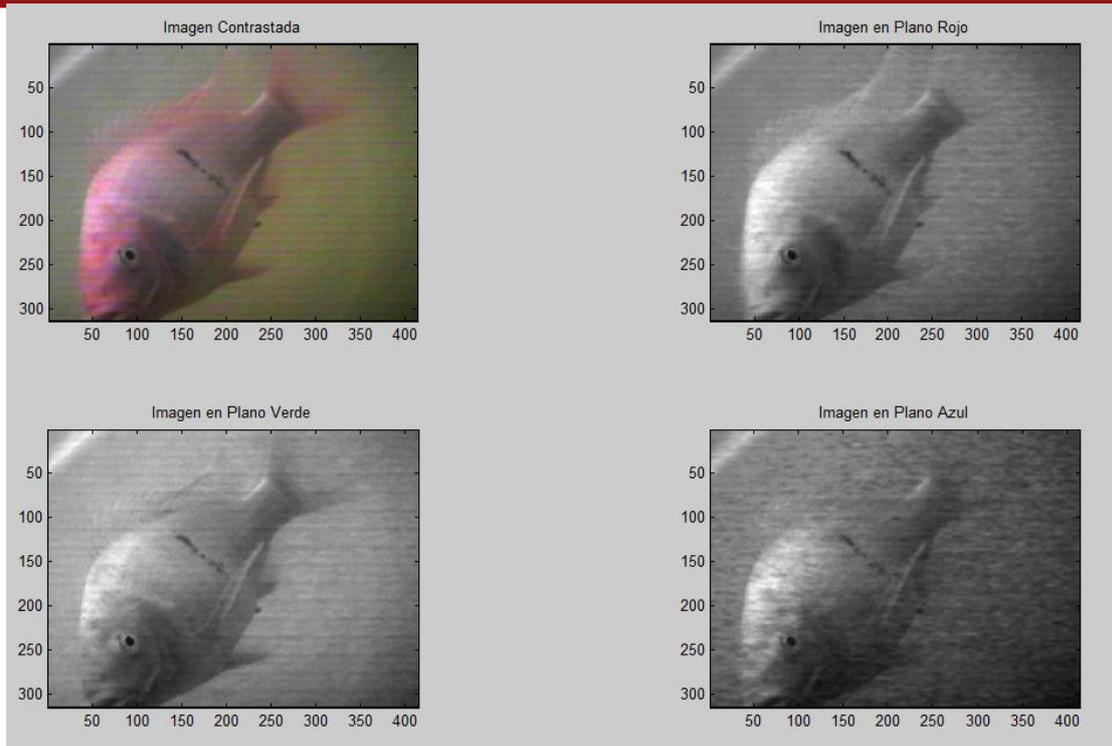


Figura 5: Imagen contrastada con sus diversos planos de color

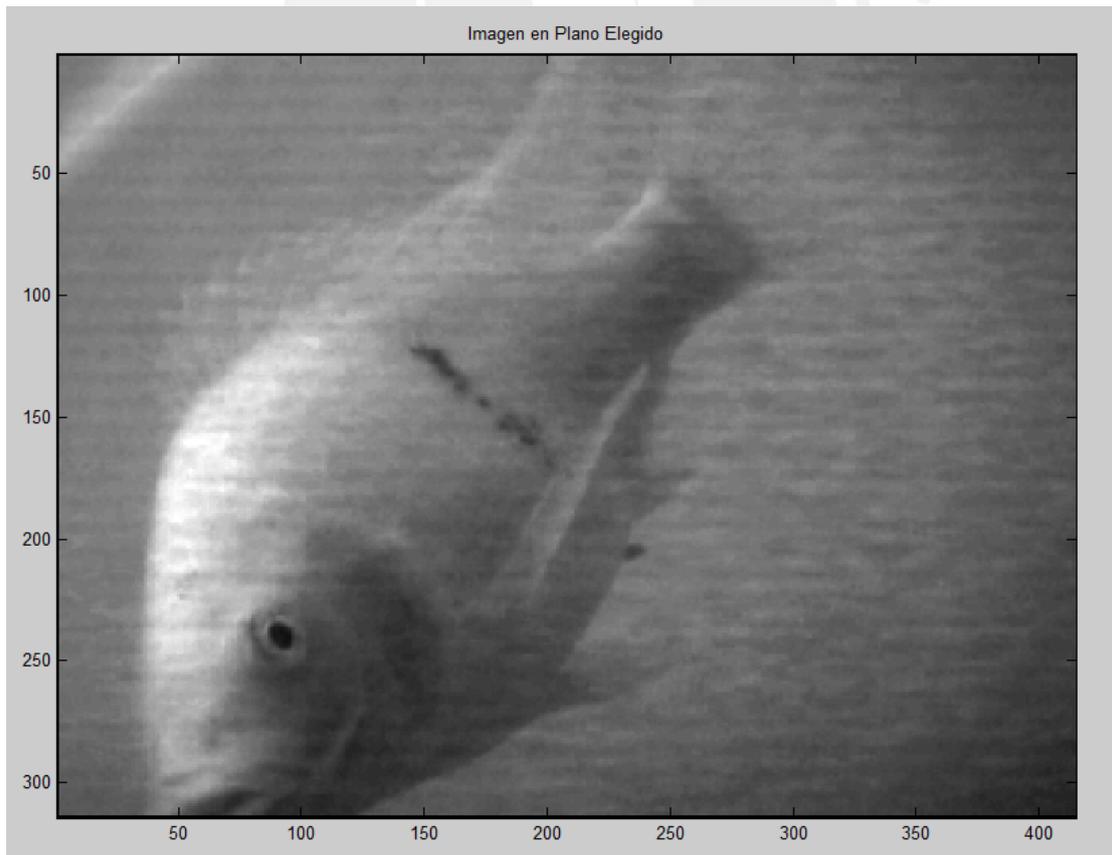


Figura 6: Imagen contrastada en el plano elegido

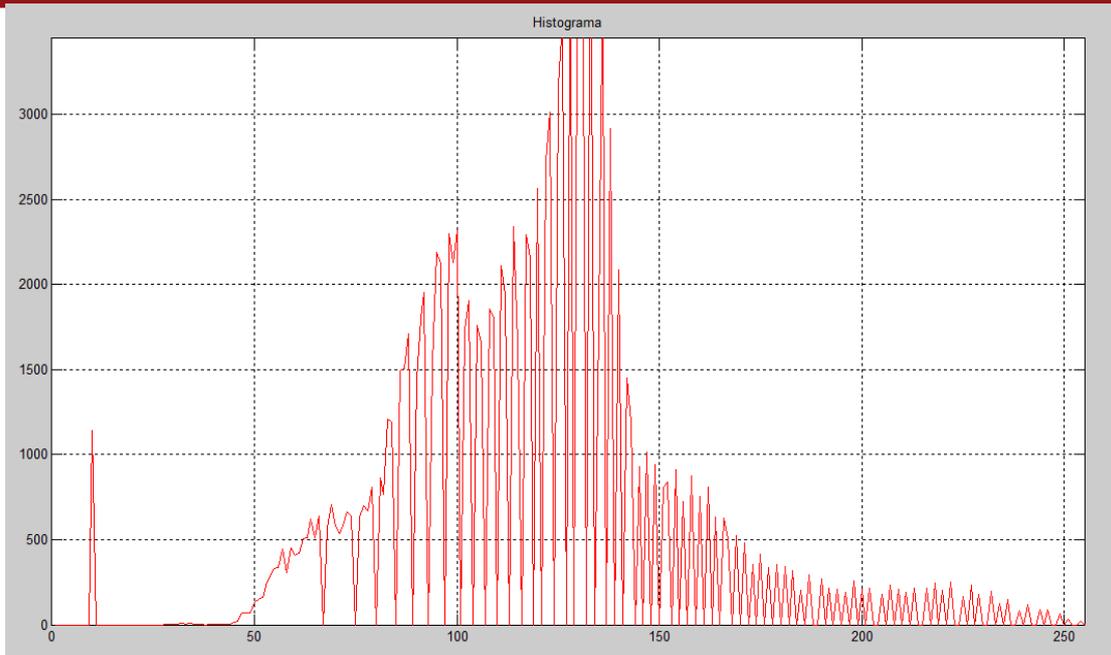


Figura 7: Histograma del plano elegido

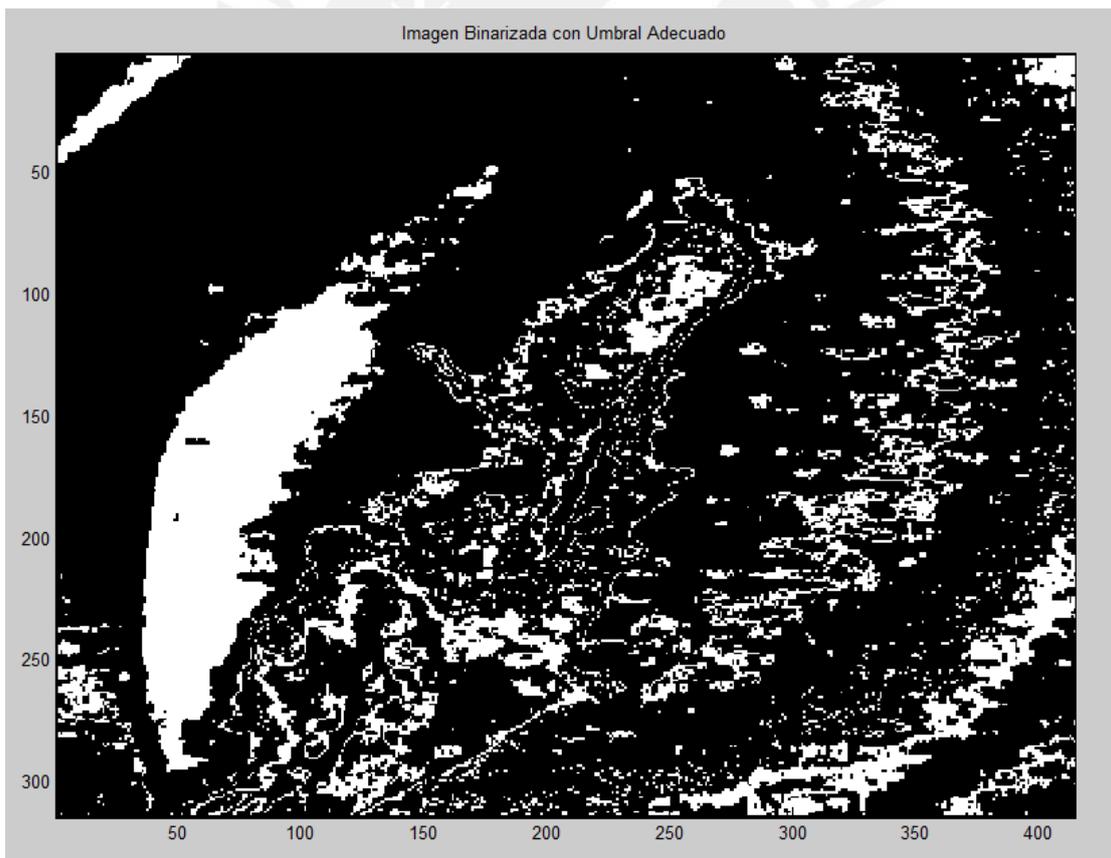


Figura 8: Imagen binarizada con umbrales adecuados

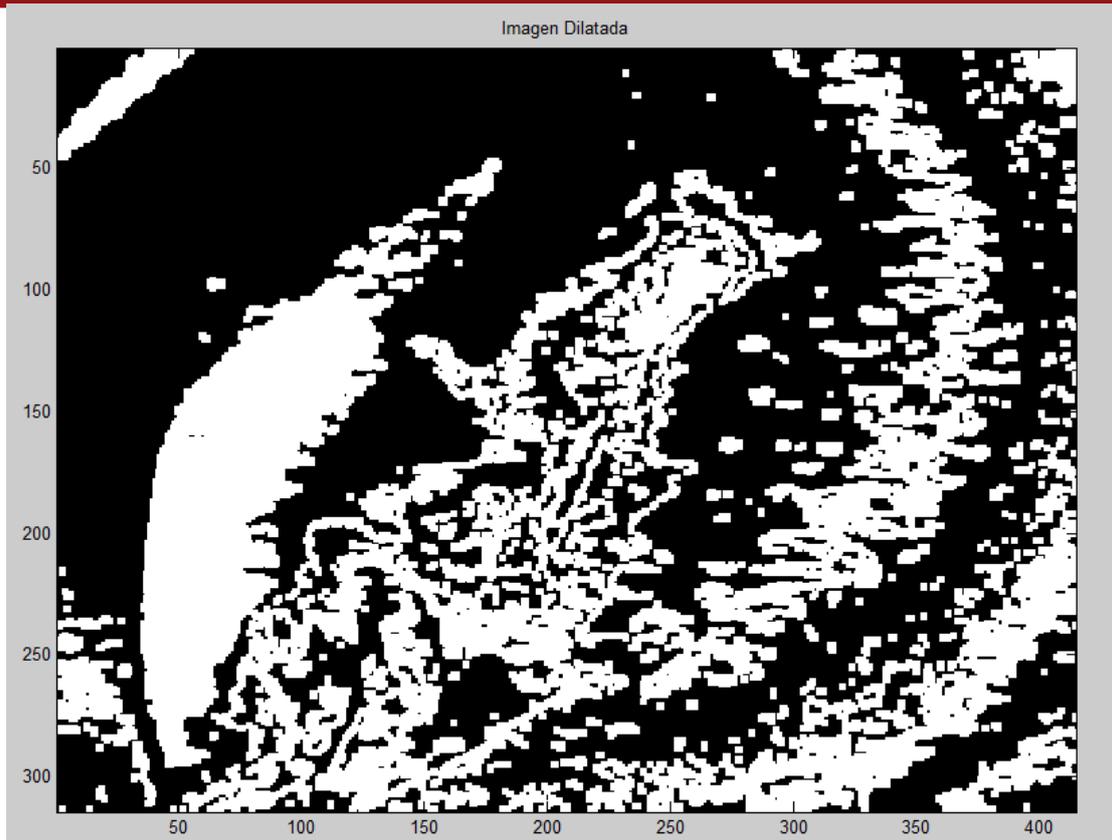


Figura 9: Imagen dilatada

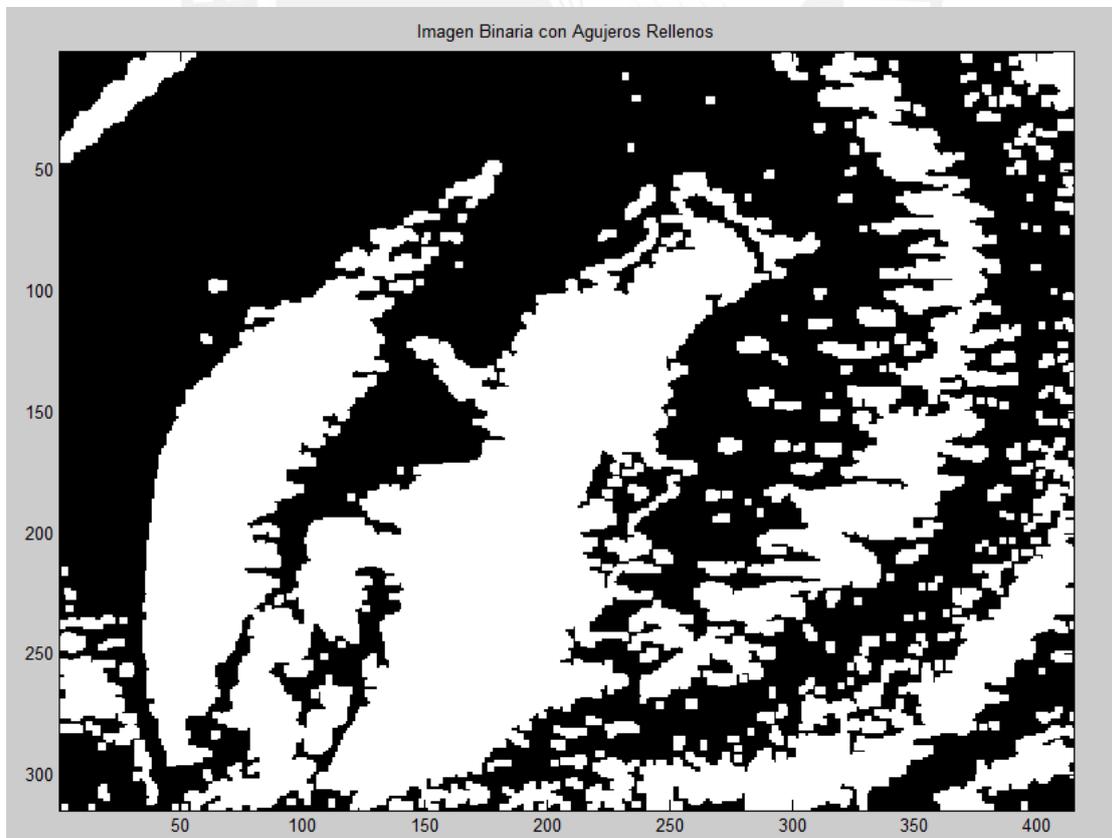


Figura 10: Imagen con relleno de agujeros

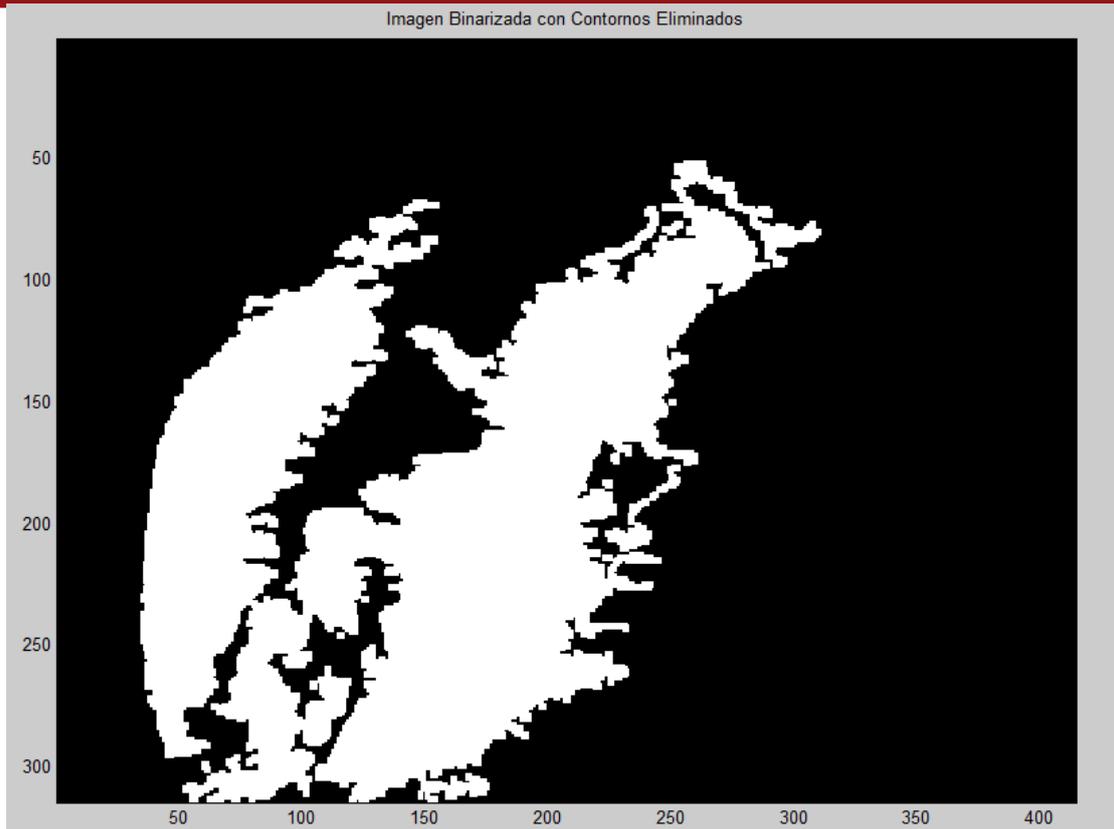


Figura 11: Imagen con contornos eliminados

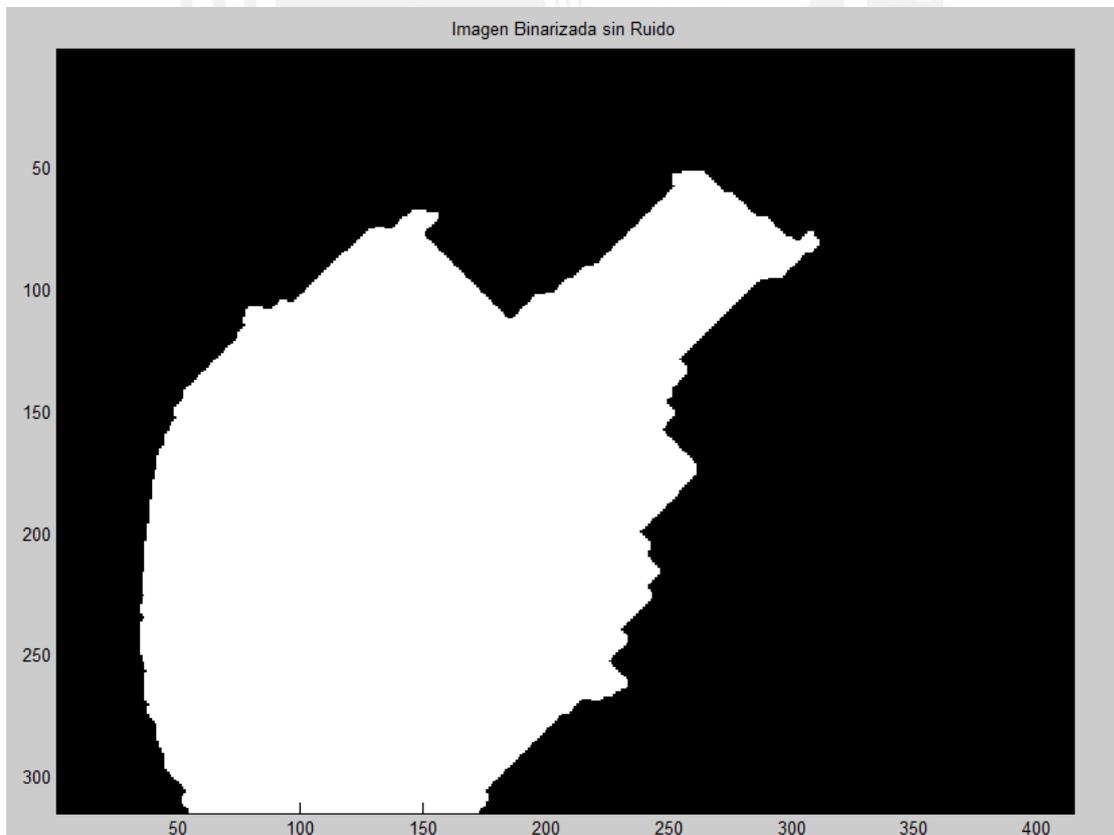


Figura 12: Imagen binarizada sin ruido

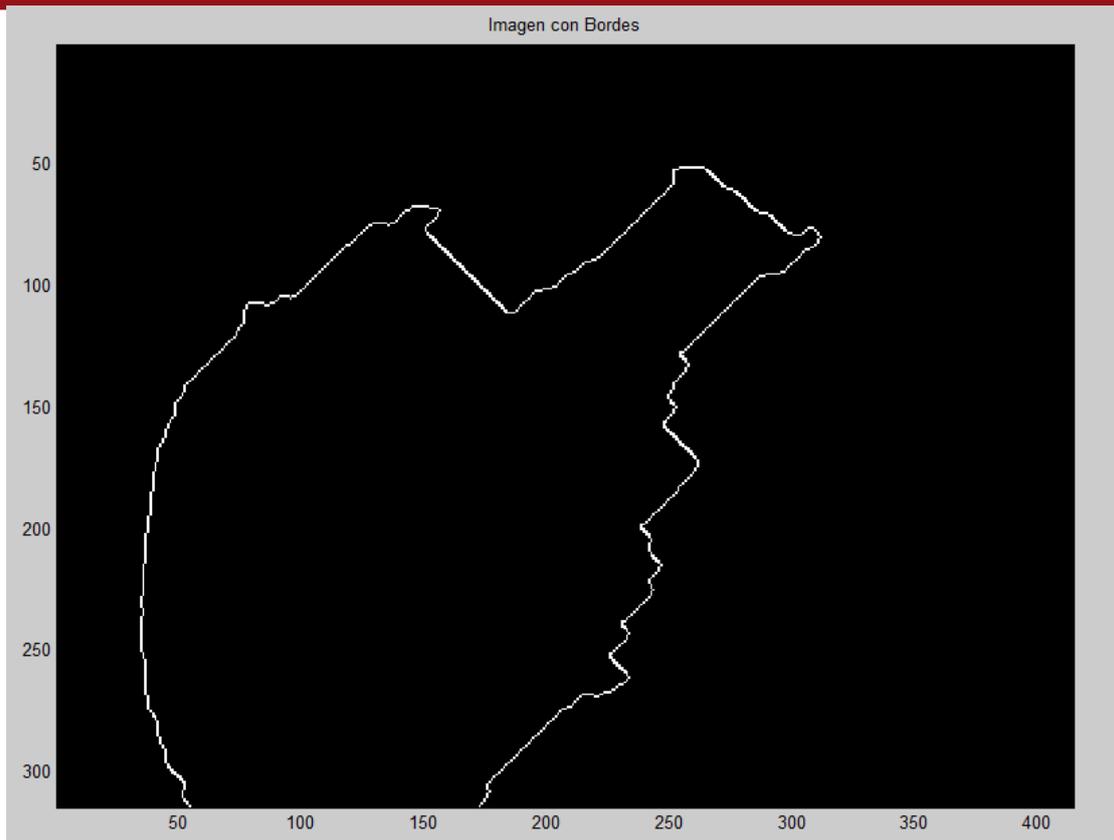


Figura 13: Imagen con bordes

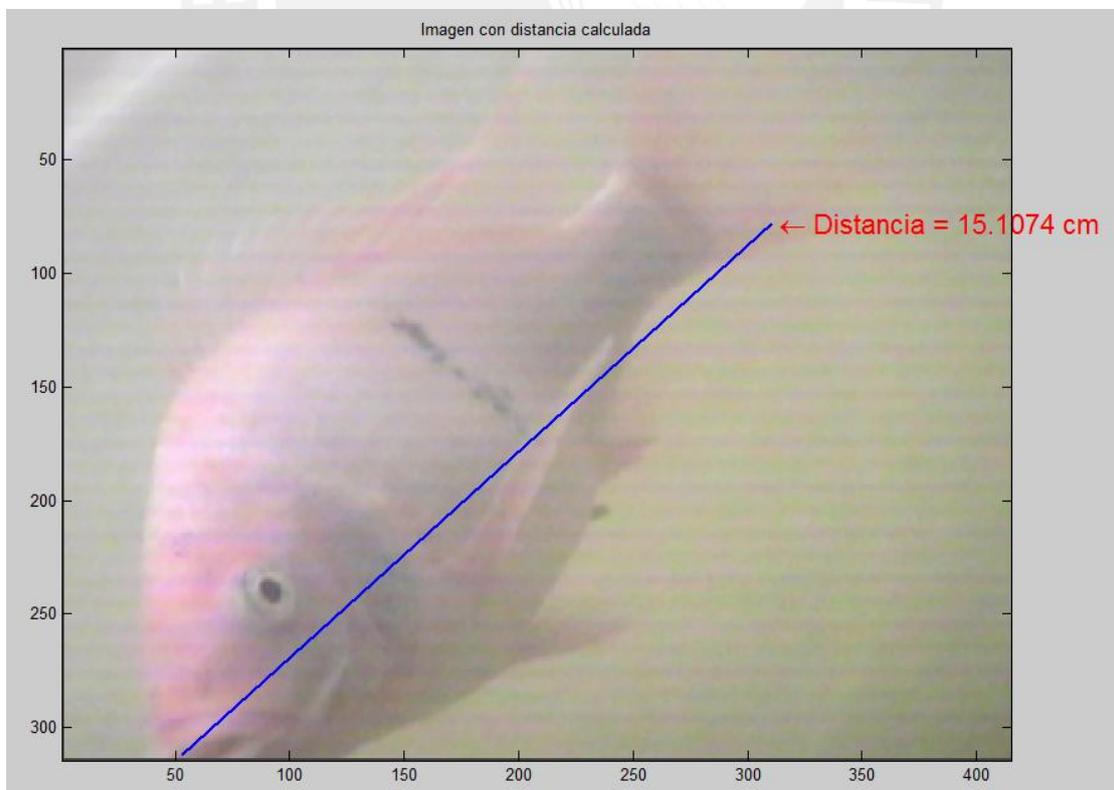


Figura 14: Imagen con distancia calculada

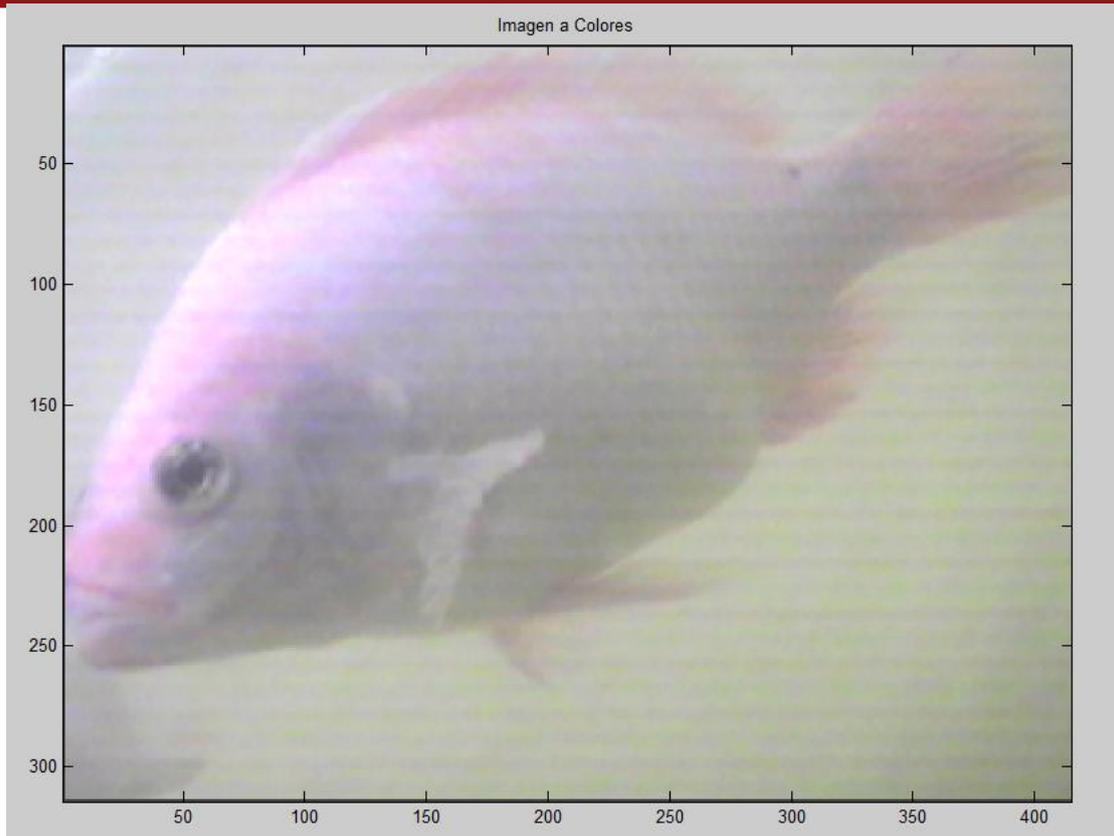


Figura 15: Imagen experimental N° 02

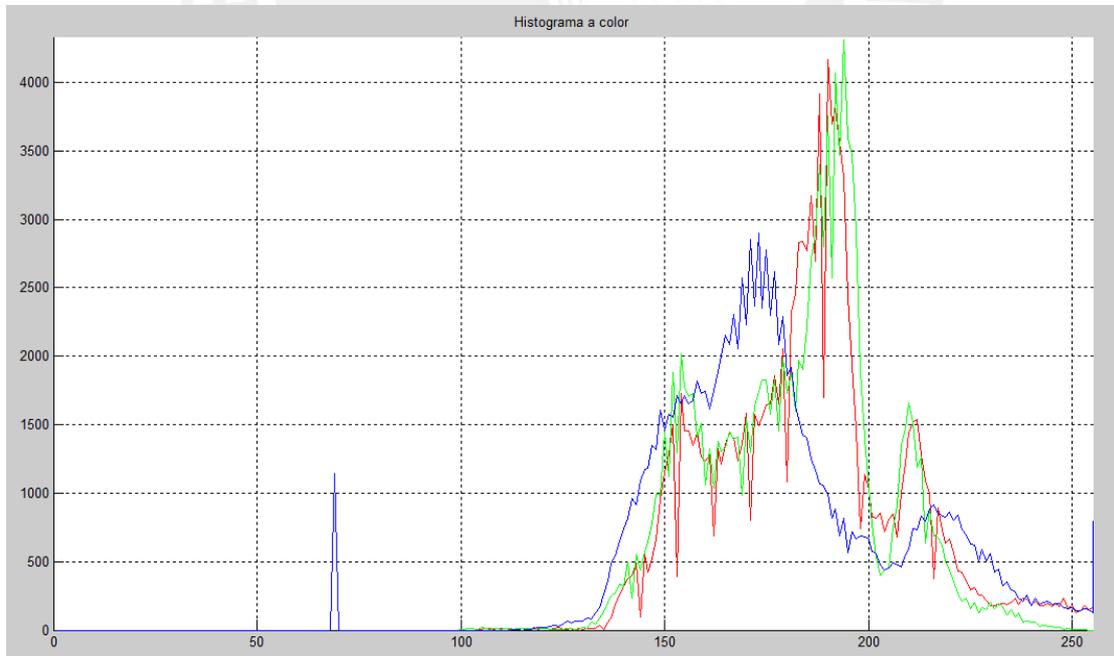


Figura 16: Histograma de la imagen experimental N° 02

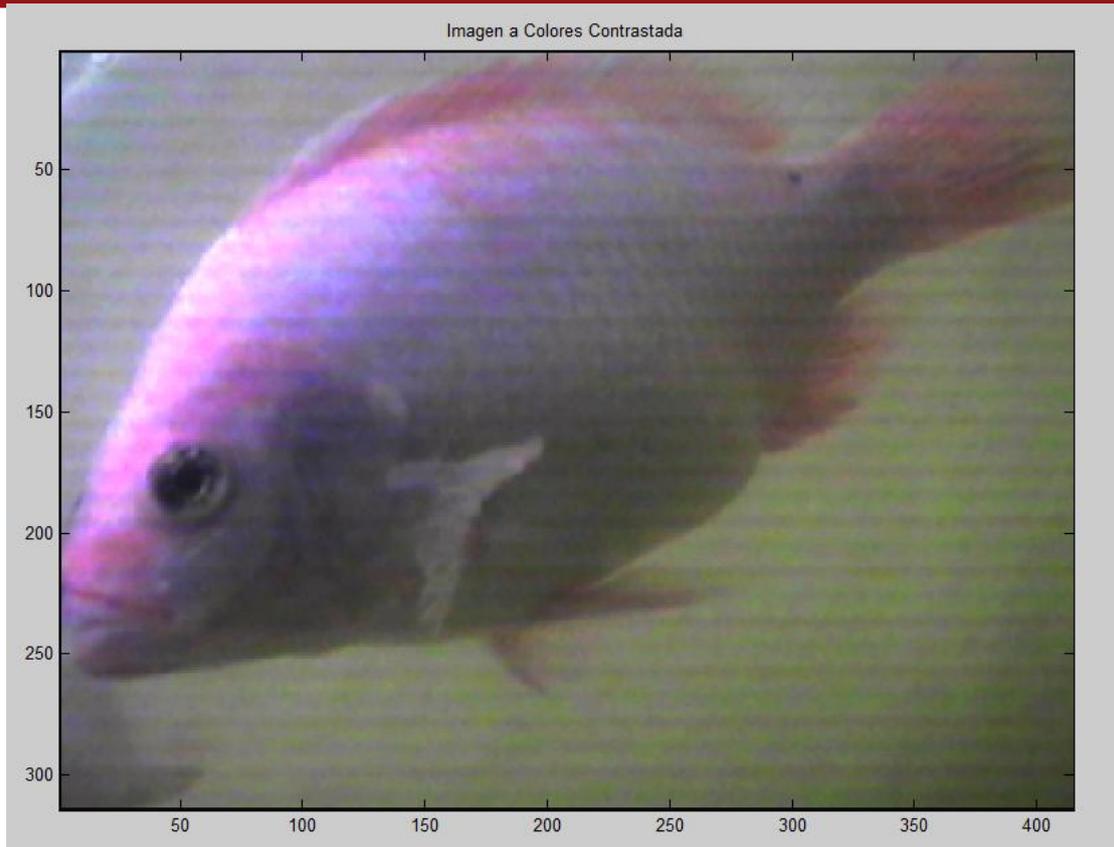


Figura 17: Imagen contrastada

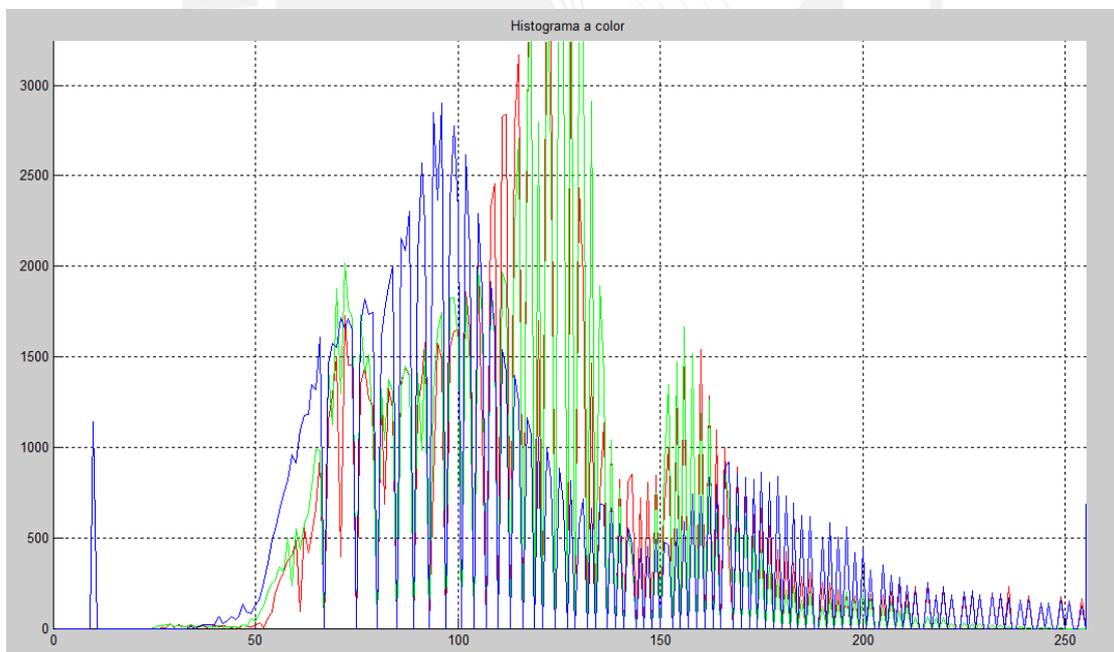


Figura 18: Histograma de la imagen contrastada

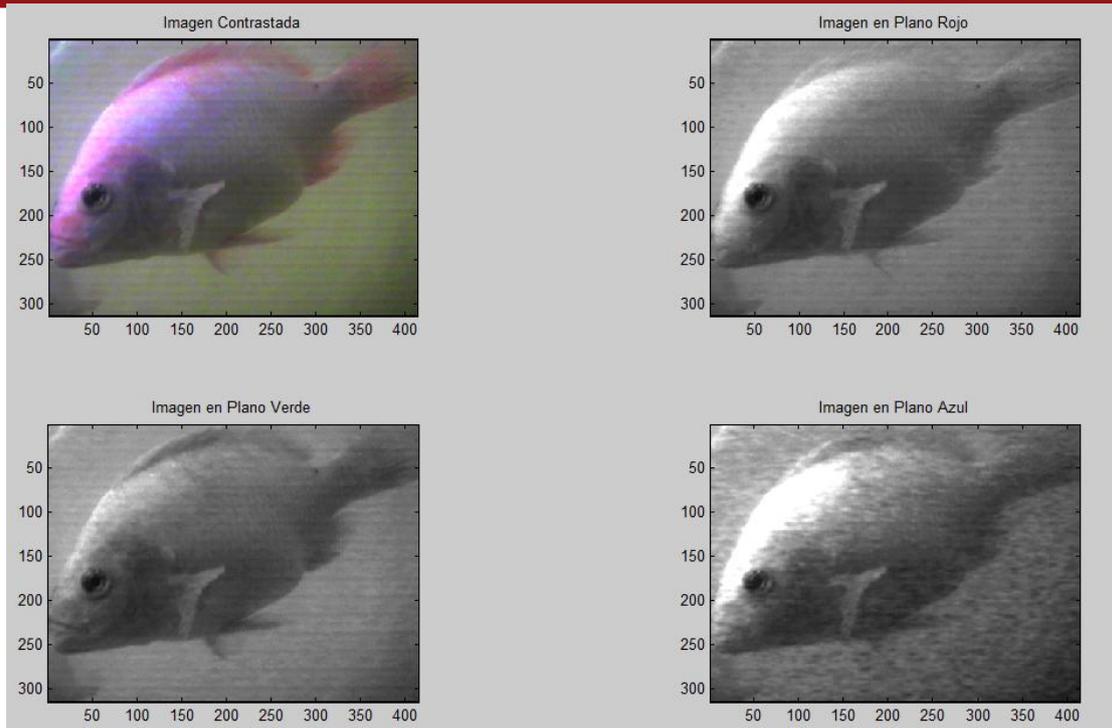


Figura 19: Imagen contrastada con sus diversos planos de color

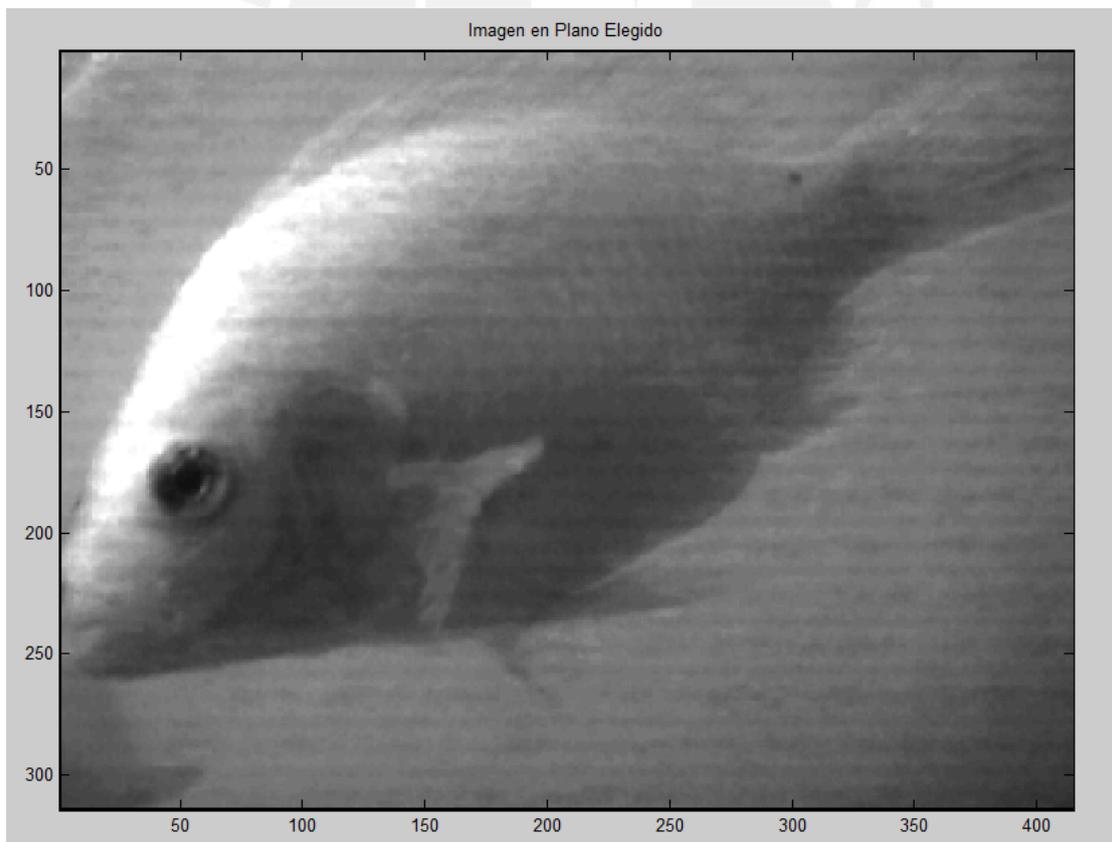


Figura 20: Imagen contrastada en el plano elegido

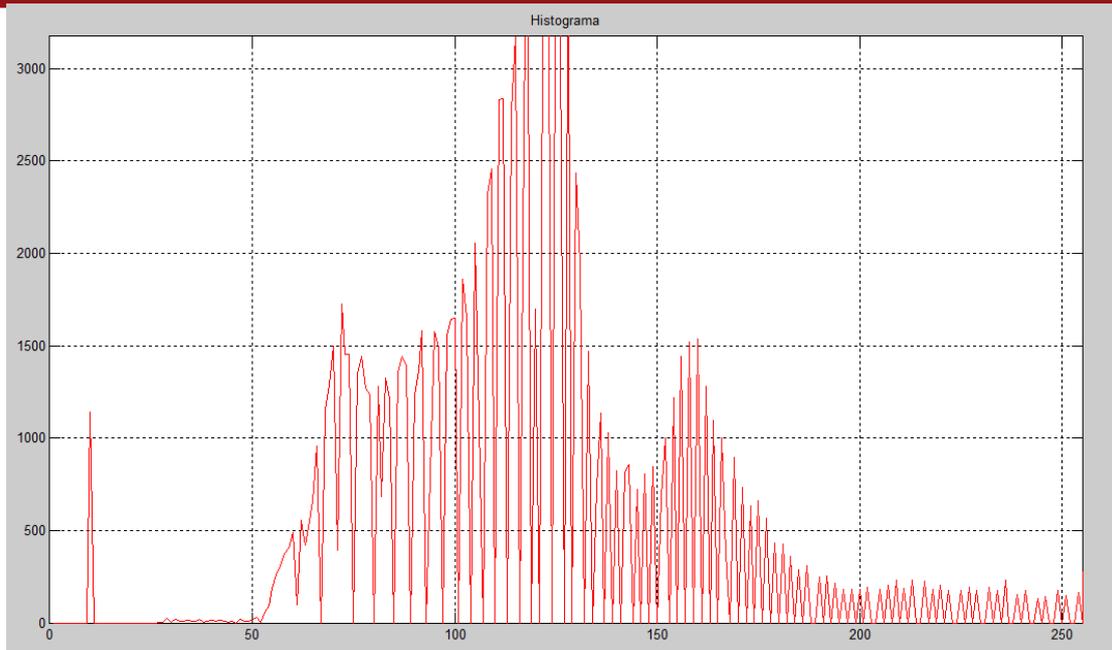


Figura 21: Histograma del plano elegido



Figura 22: Imagen binarizada con umbrales adecuados



Figura 23: Imagen dilatada



Figura 24: Imagen con relleno de agujeros

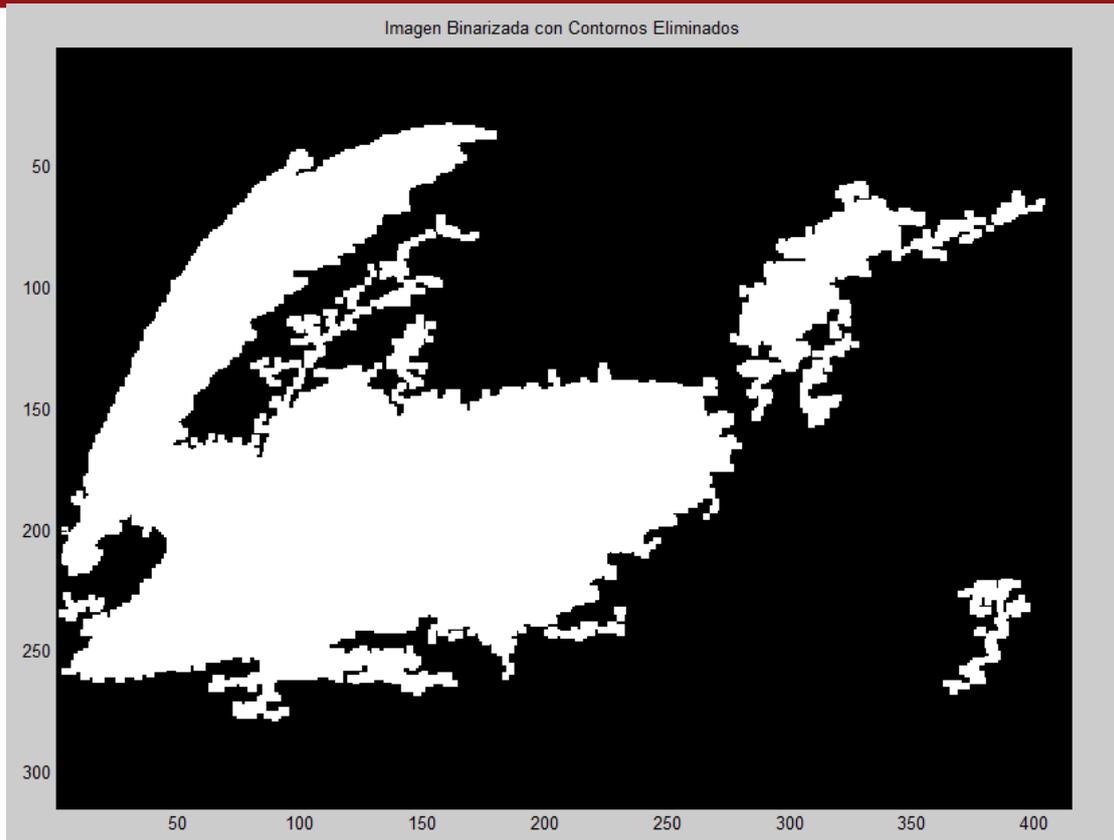


Figura 25: Imagen con contornos eliminados

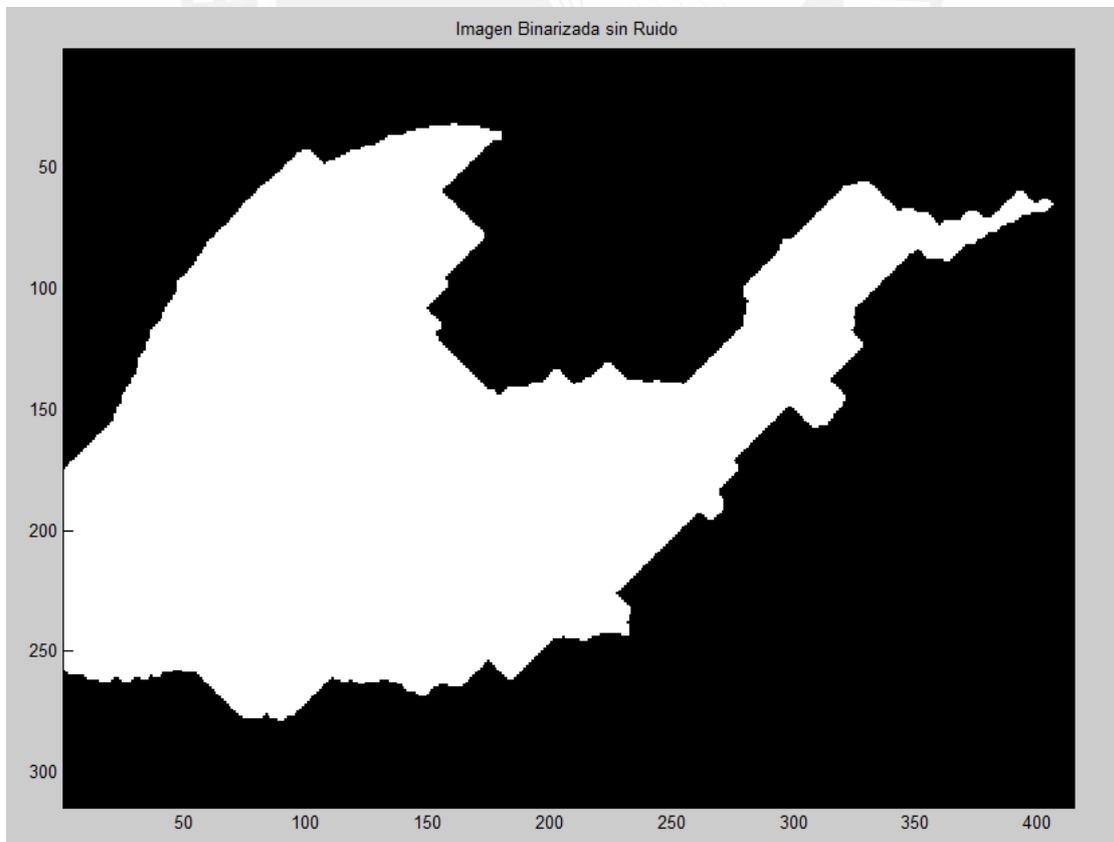


Figura 26: Imagen binarizada sin ruido

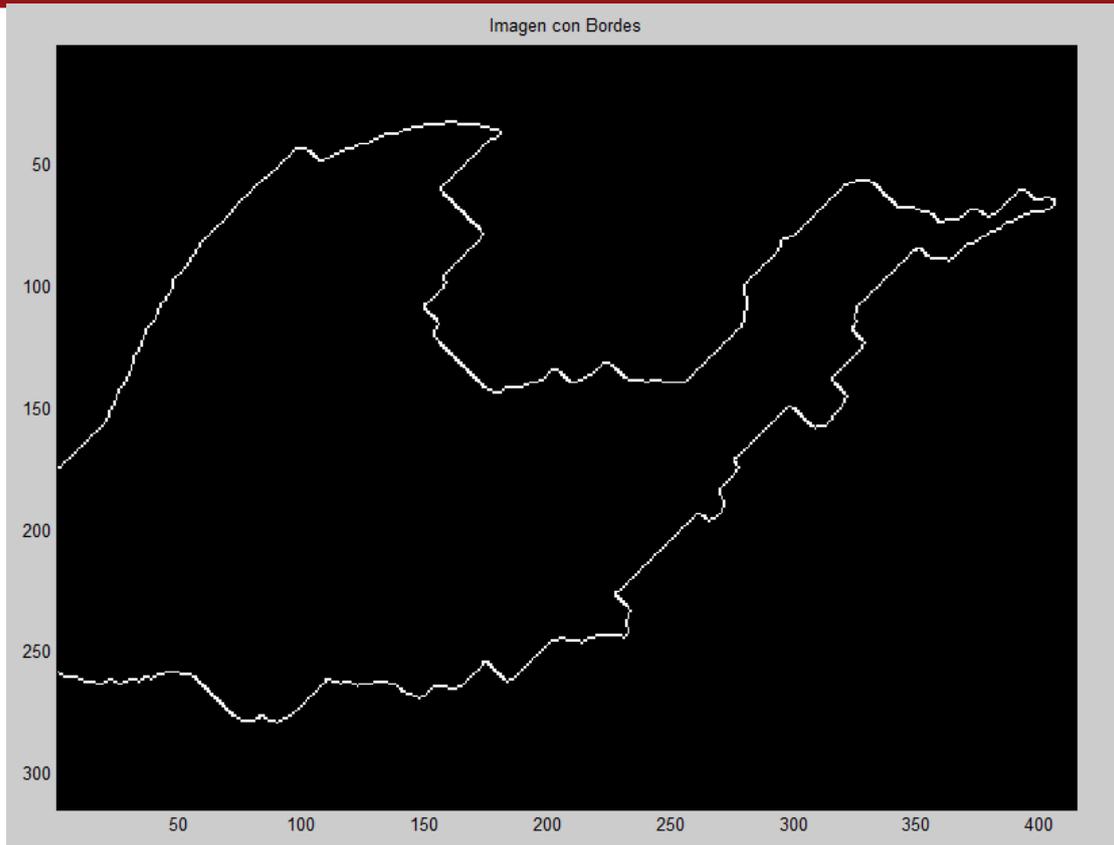


Figura 27: Imagen con bordes

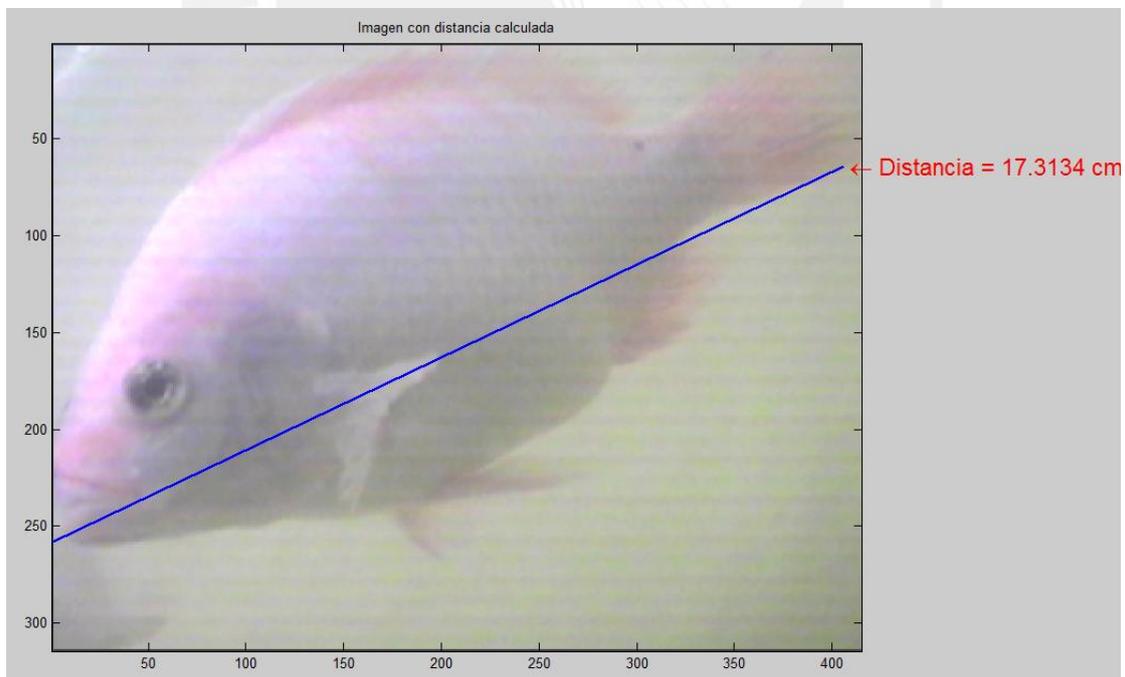


Figura 28: Imagen con distancia calculada

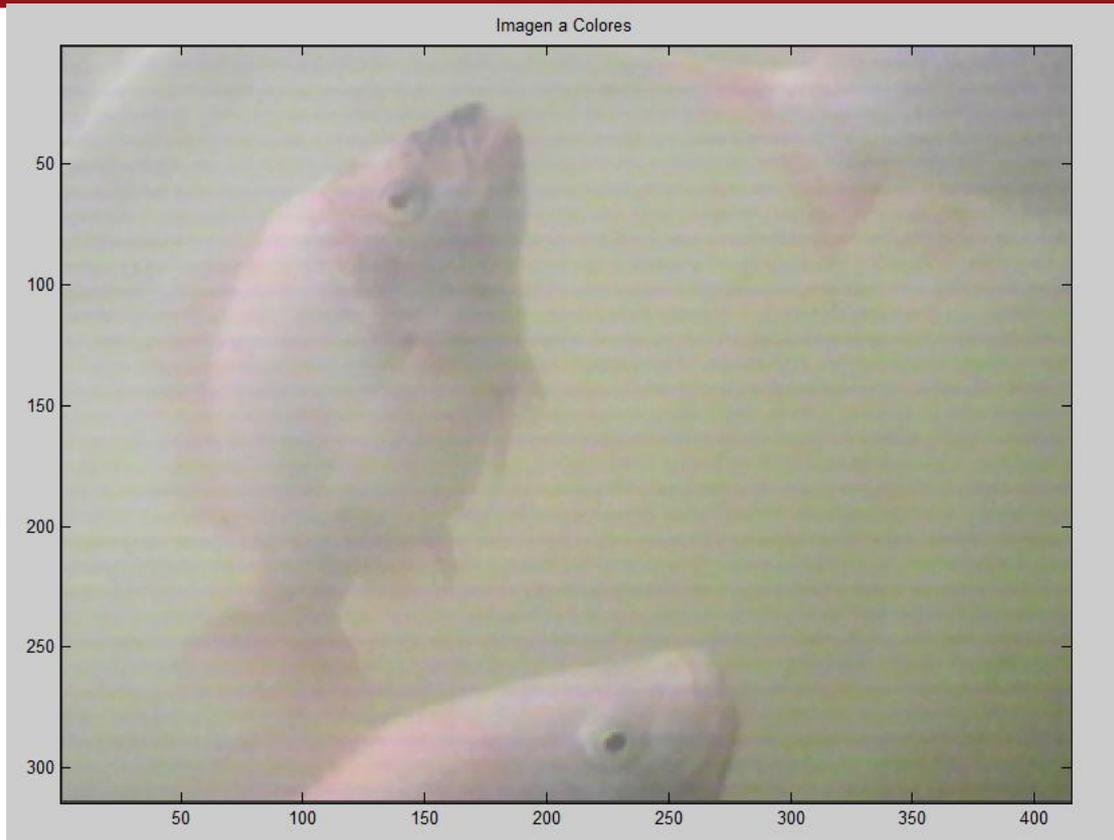


Figura 29: Imagen experimental N° 03

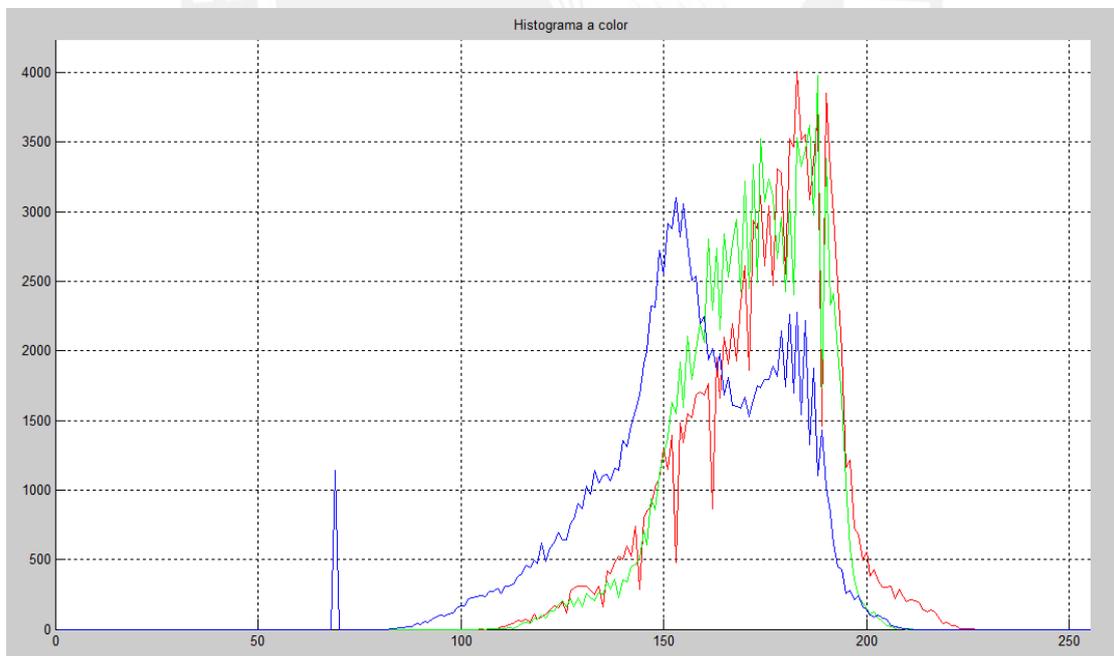


Figura 30: Histograma de la imagen experimental N° 03



Figura 31: Imagen contrastada

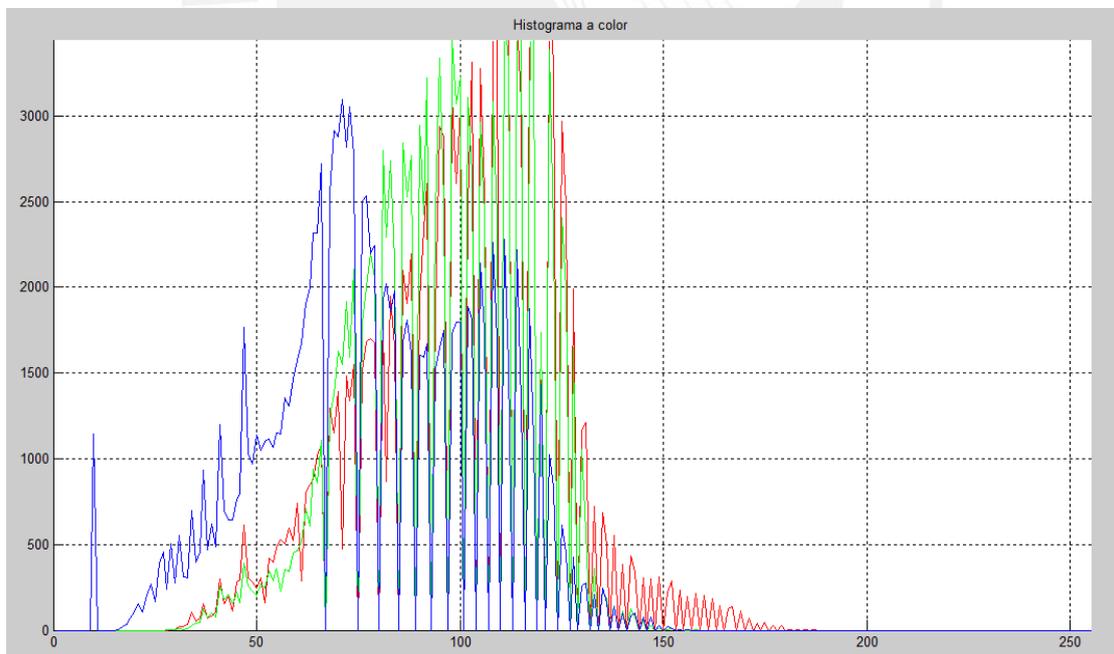


Figura 32: Histograma de la imagen contrastada

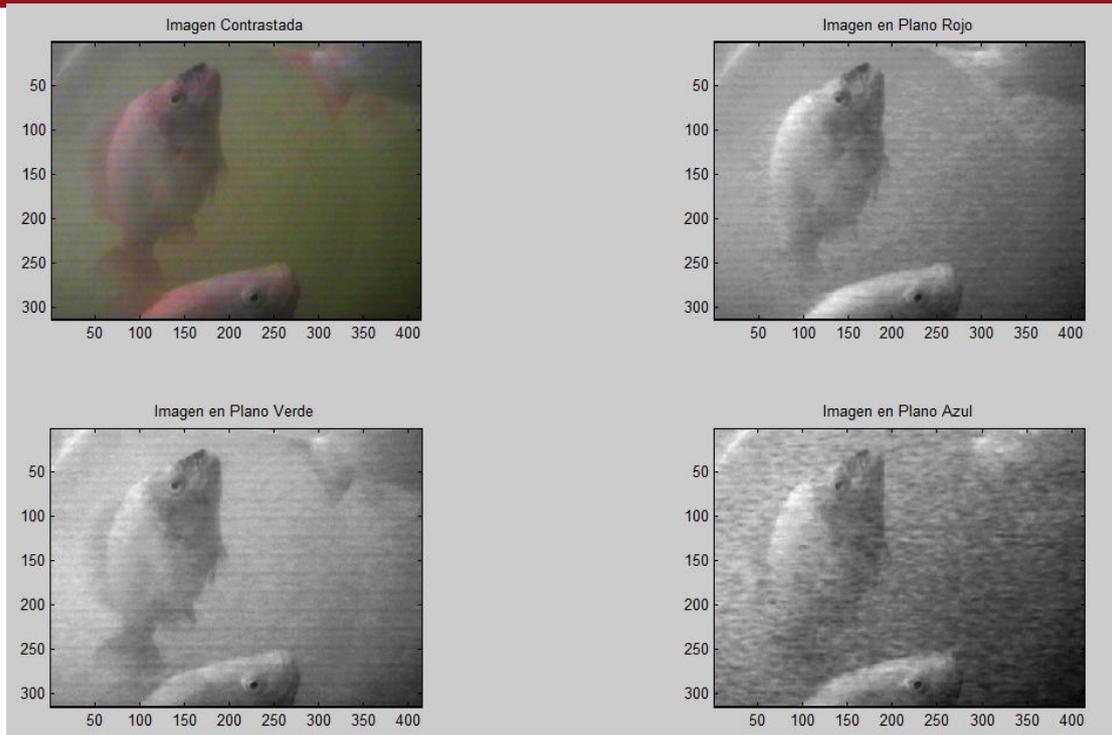


Figura 33: Imagen contrastada con sus diversos planos de color

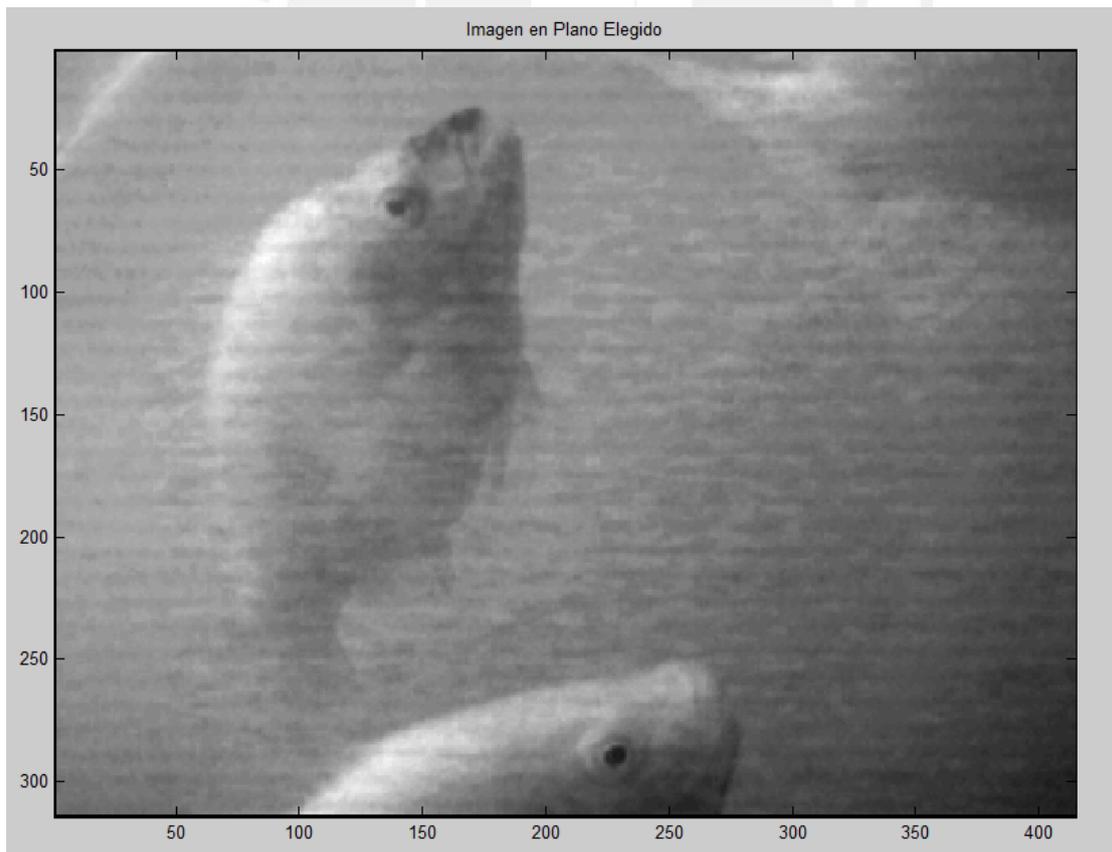


Figura 34: Imagen contrastada en el plano elegido

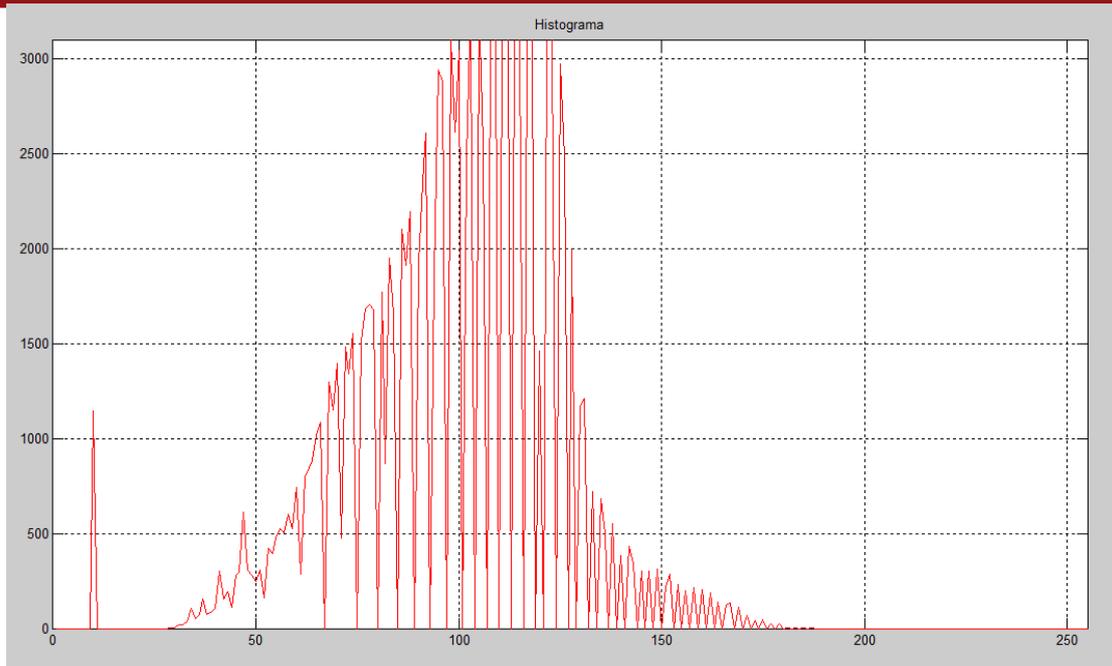


Figura 35: Histograma del plano elegido

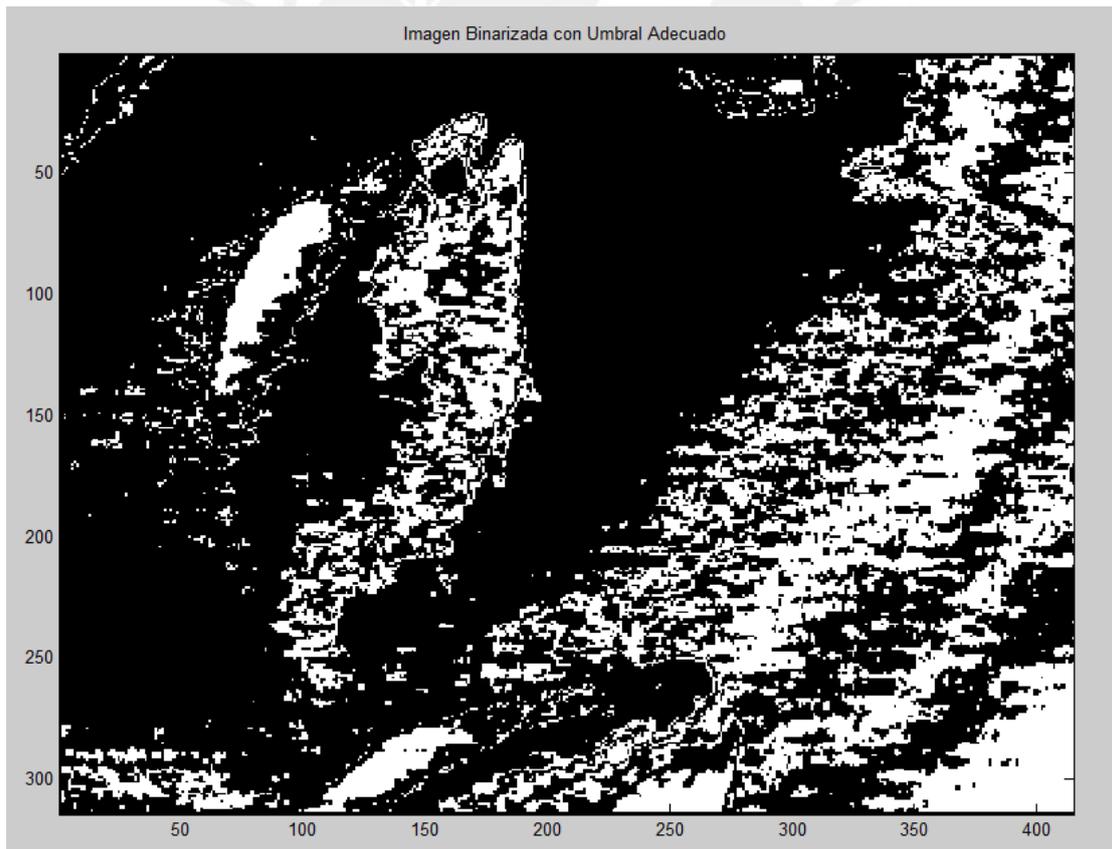


Figura 36: Imagen binarizada con umbrales adecuados

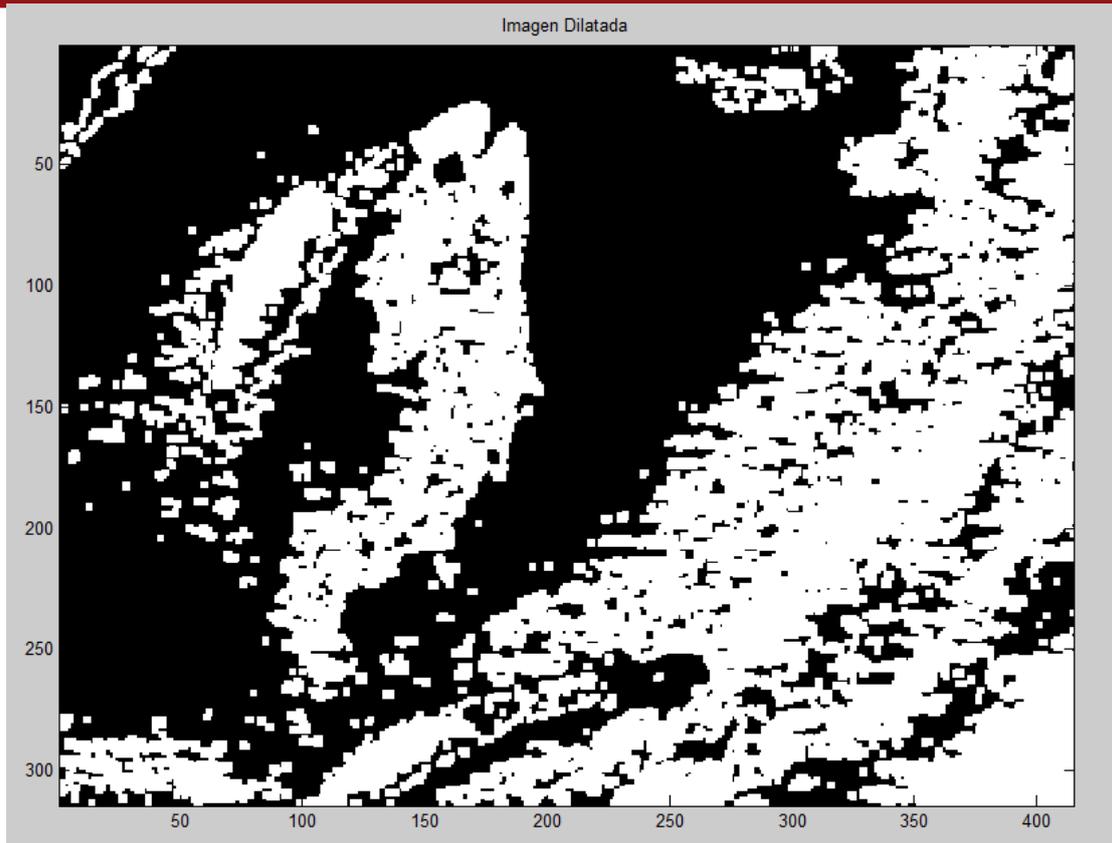


Figura 37: Imagen dilatada

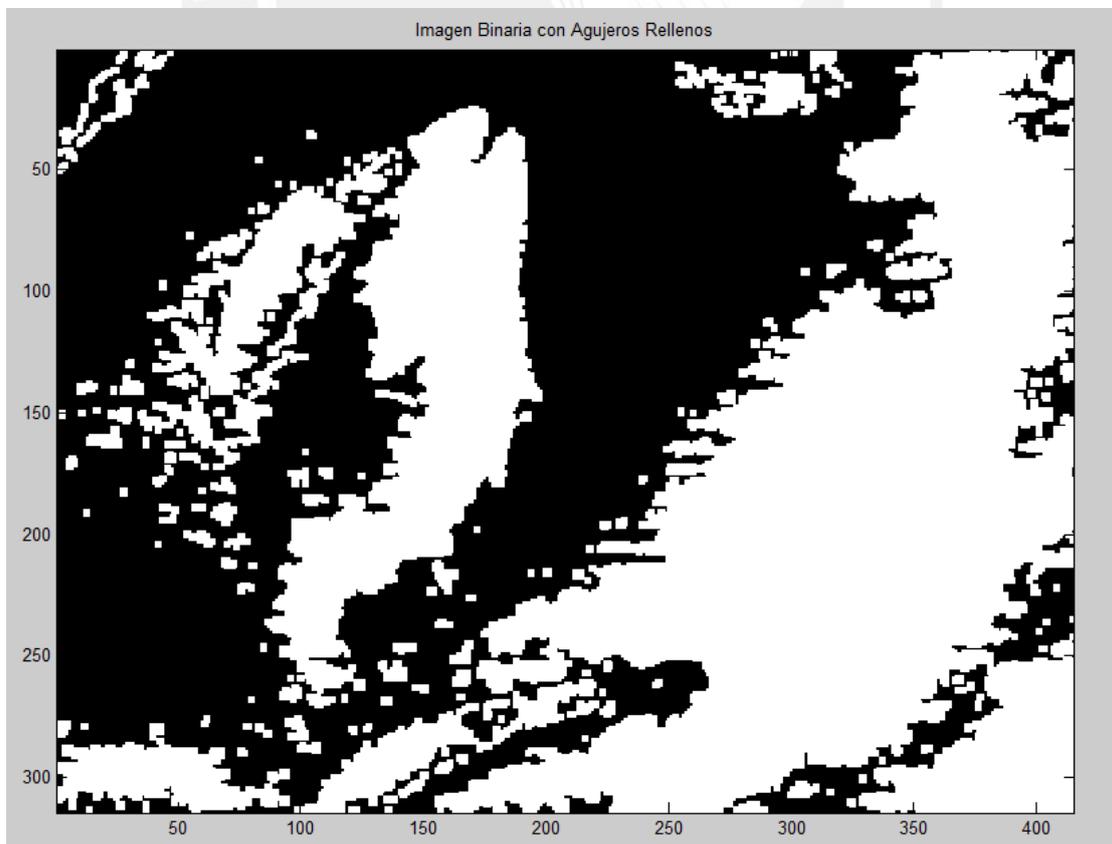


Figura 38: Imagen con relleno de agujeros

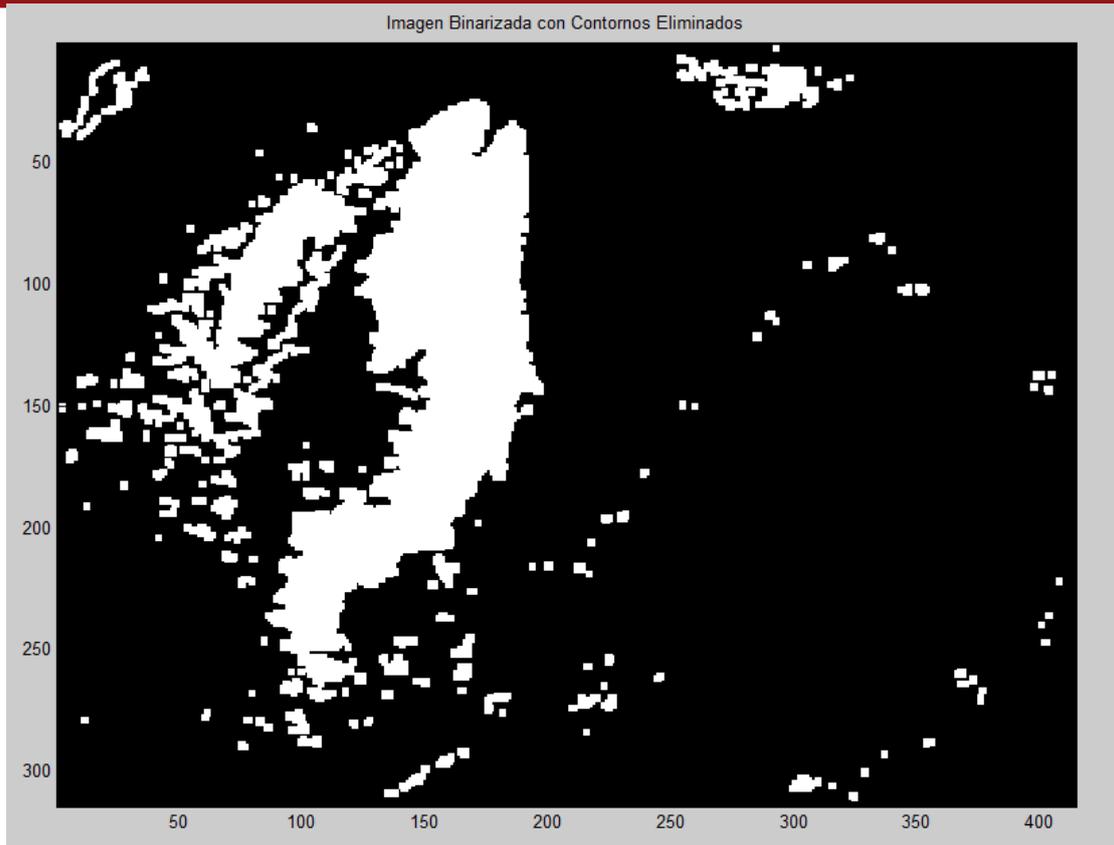


Figura 39: Imagen con contornos eliminados

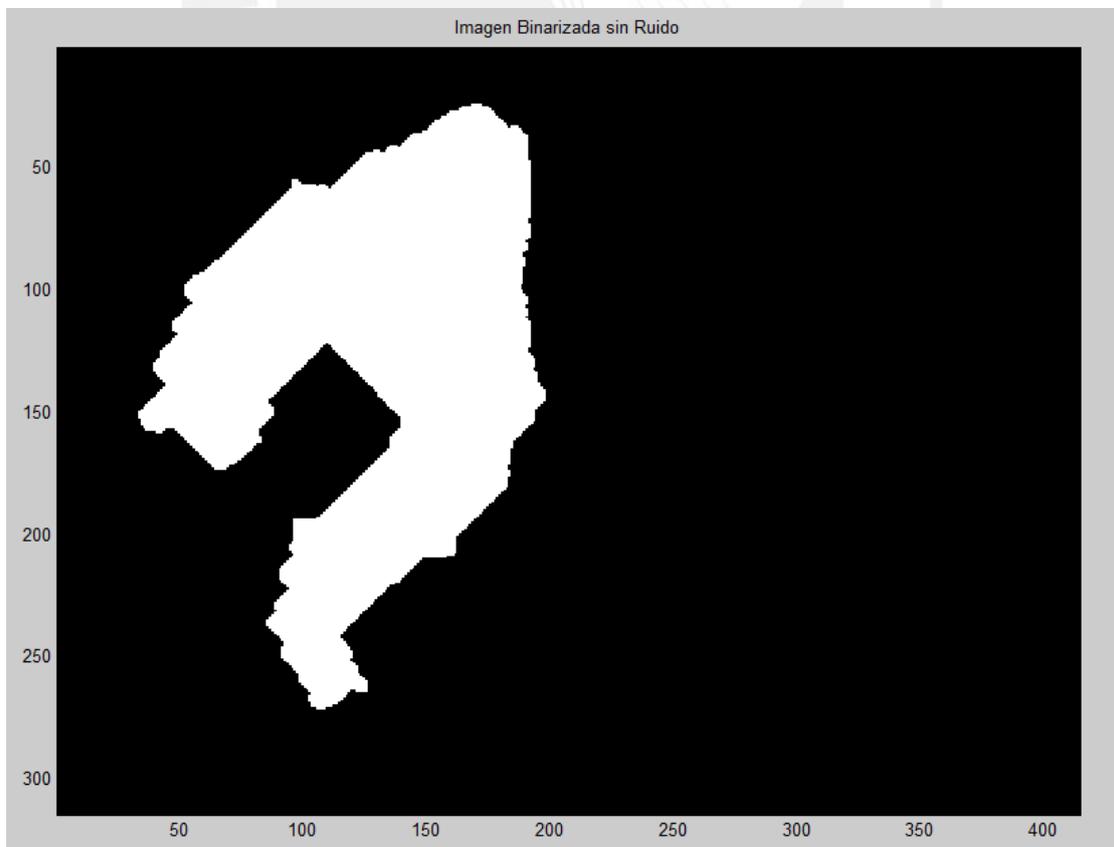


Figura 40: Imagen binarizada sin ruido

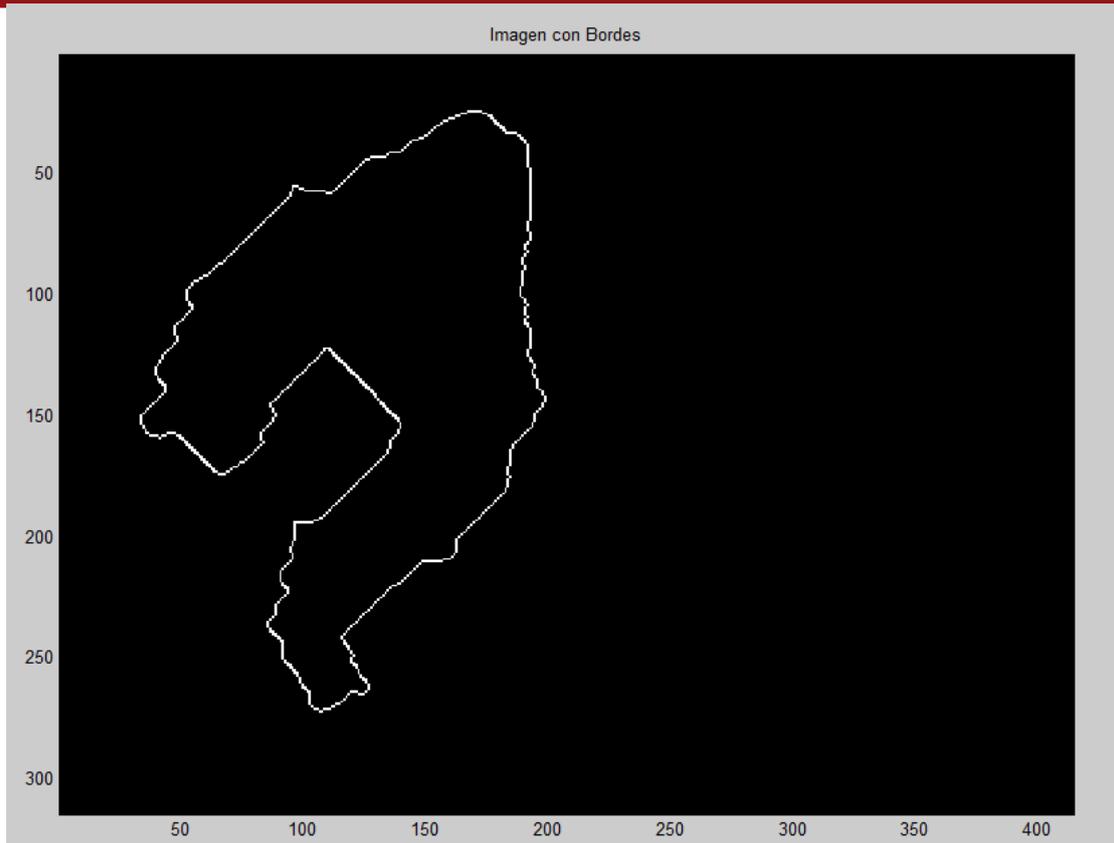


Figura 41: Imagen con bordes

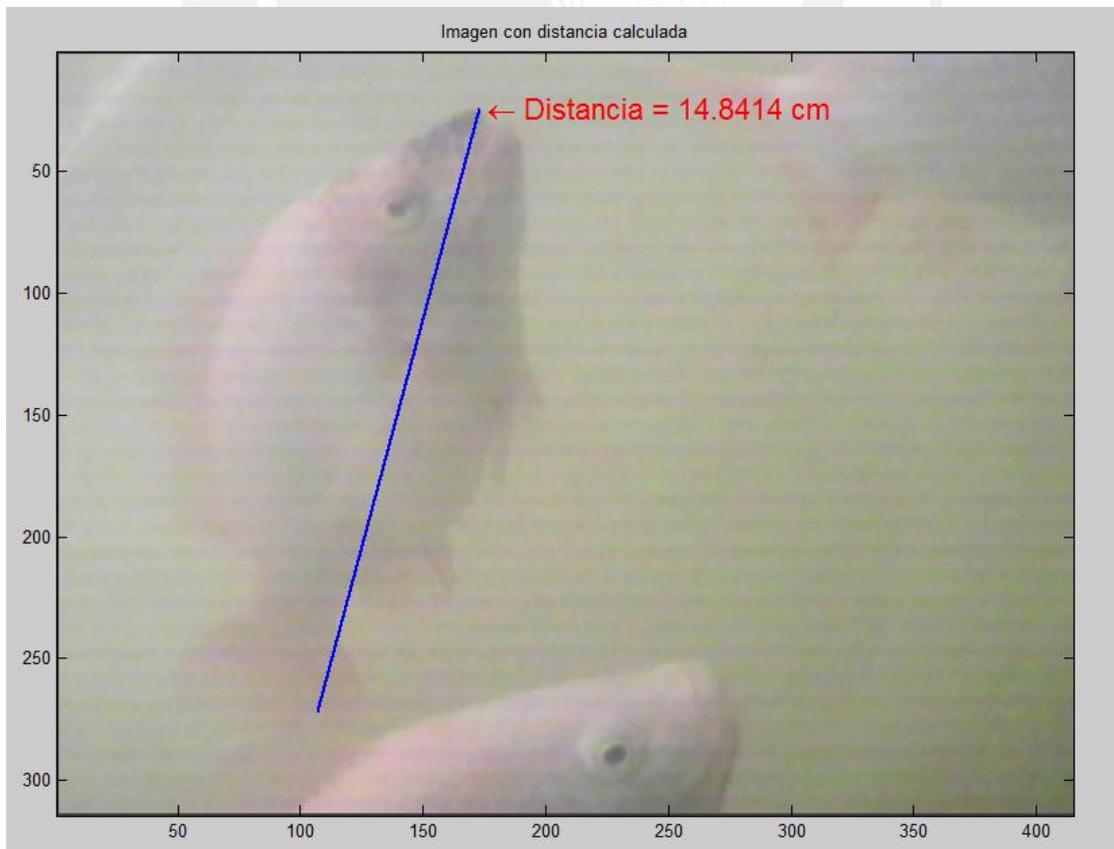


Figura 42: Imagen con distancia calculada

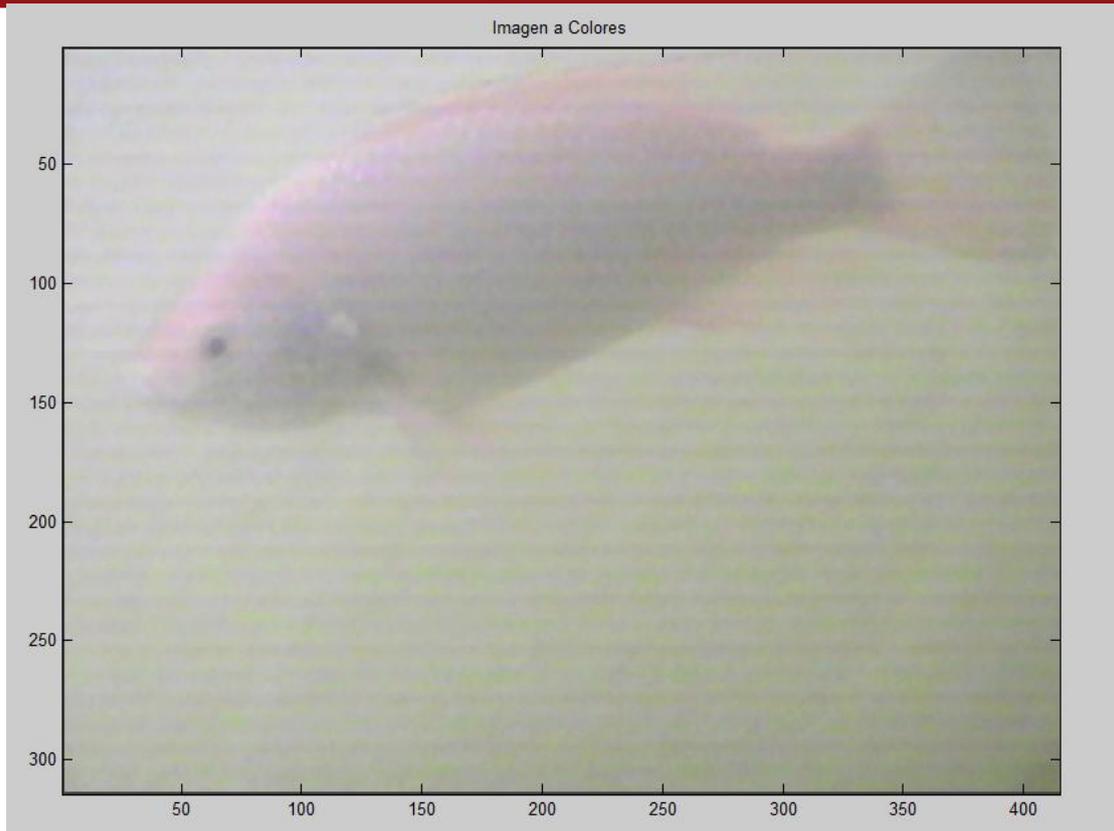


Figura 43: Imagen experimental N° 04

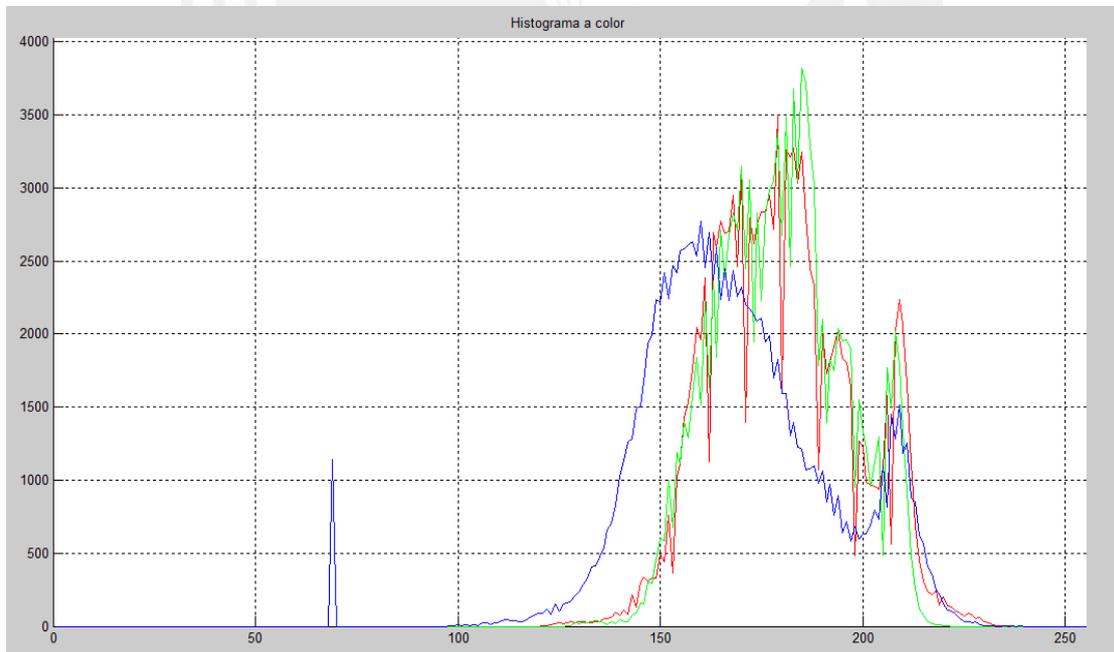


Figura 44: Histograma de la imagen experimental N° 04



Figura 45: Imagen contrastada

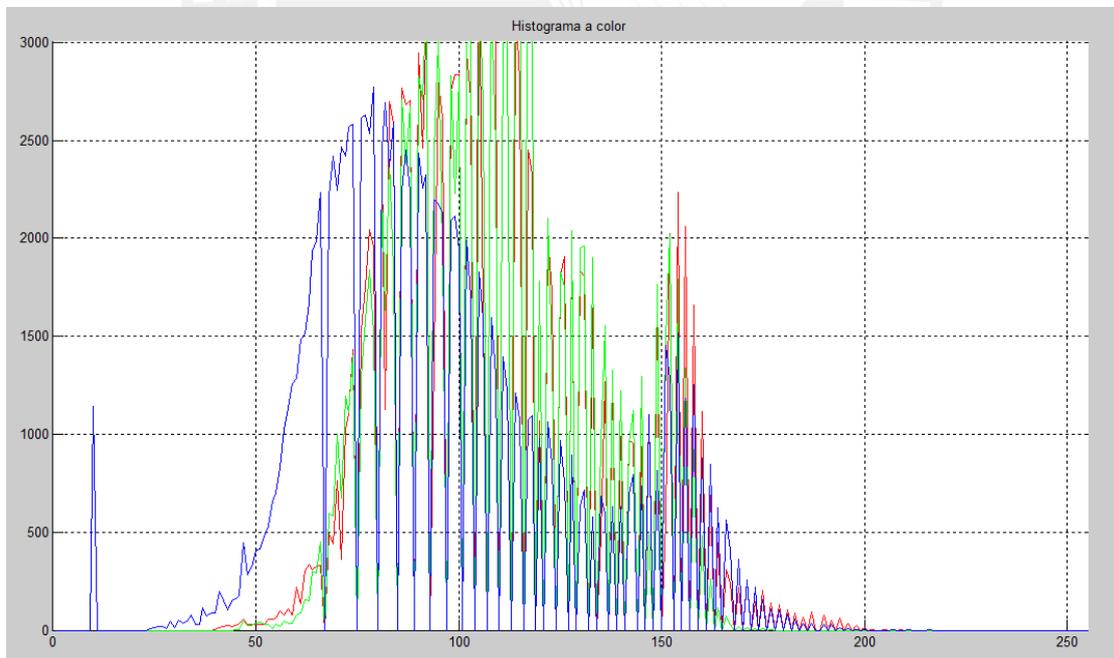


Figura 46: Histograma de la imagen contrastada

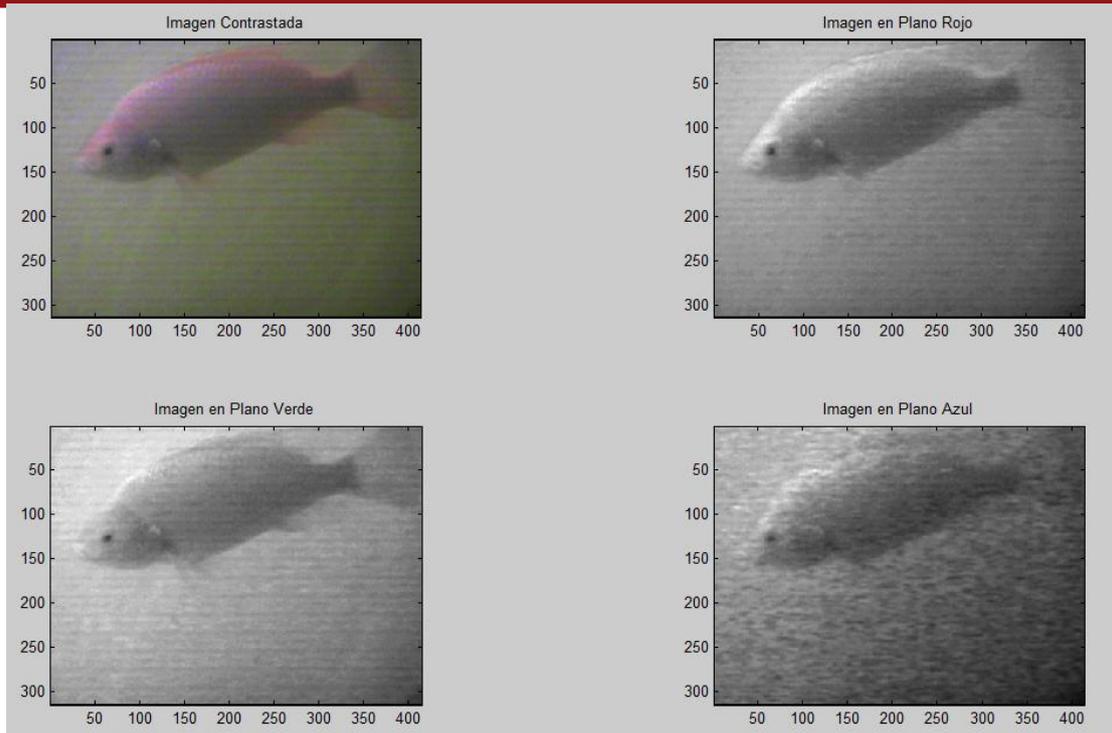


Figura 47: Imagen contrastada con sus diversos planos de color

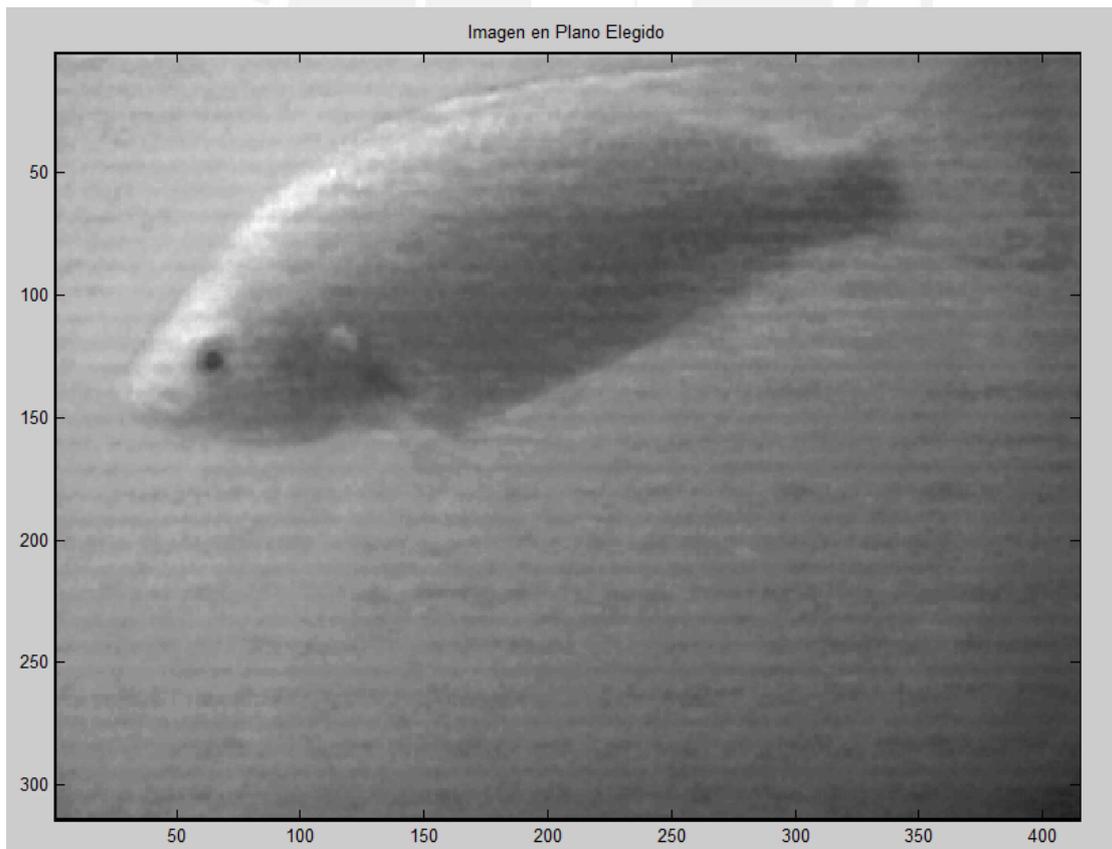


Figura 48: Imagen contrastada en el plano elegido

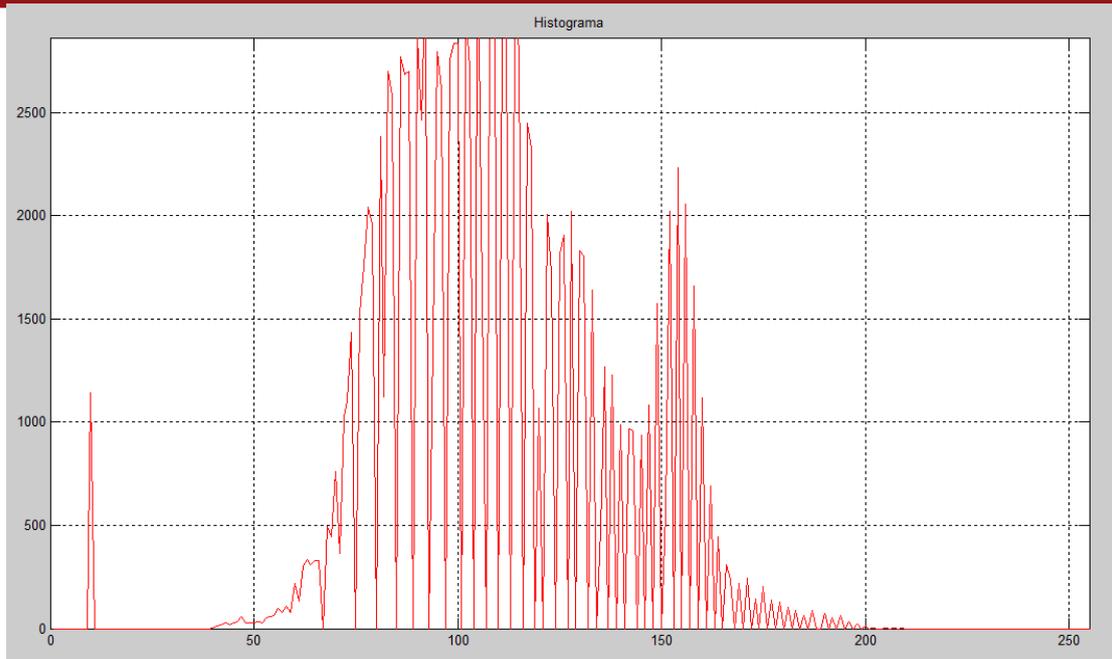


Figura 49: Histograma del plano elegido

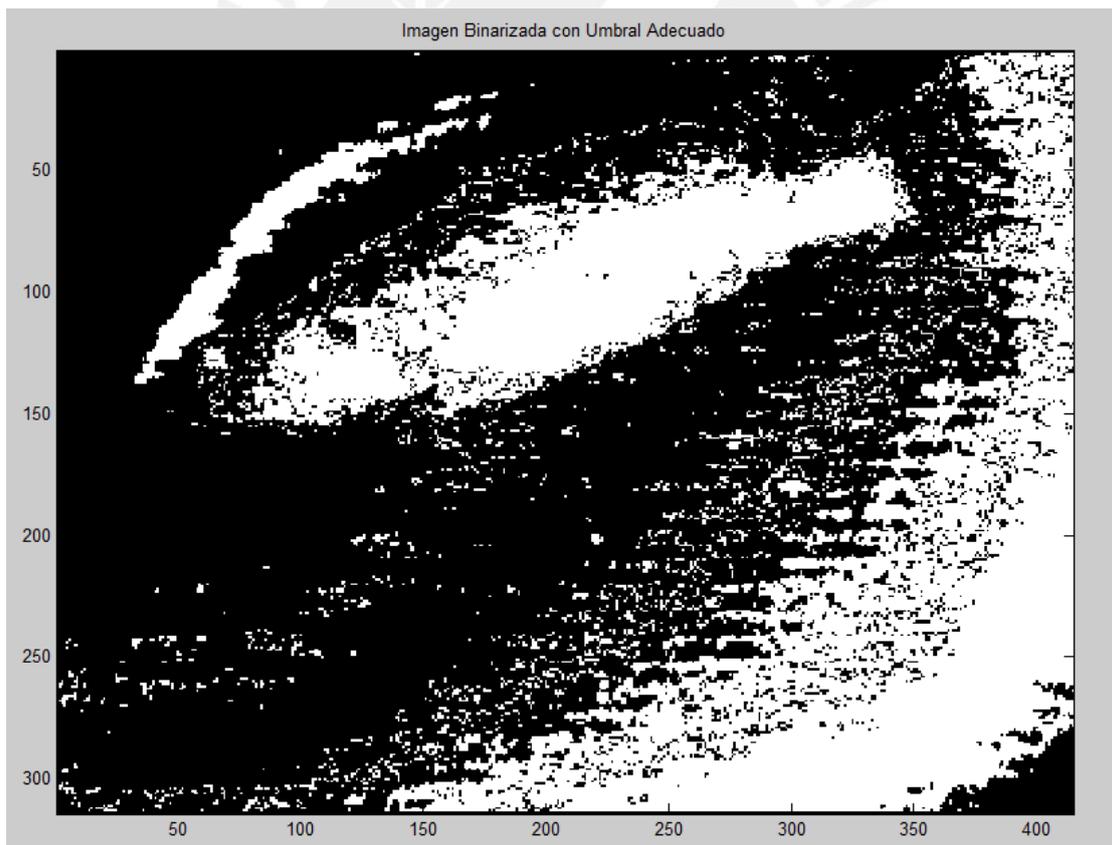


Figura 50: Imagen binarizada con umbrales adecuados

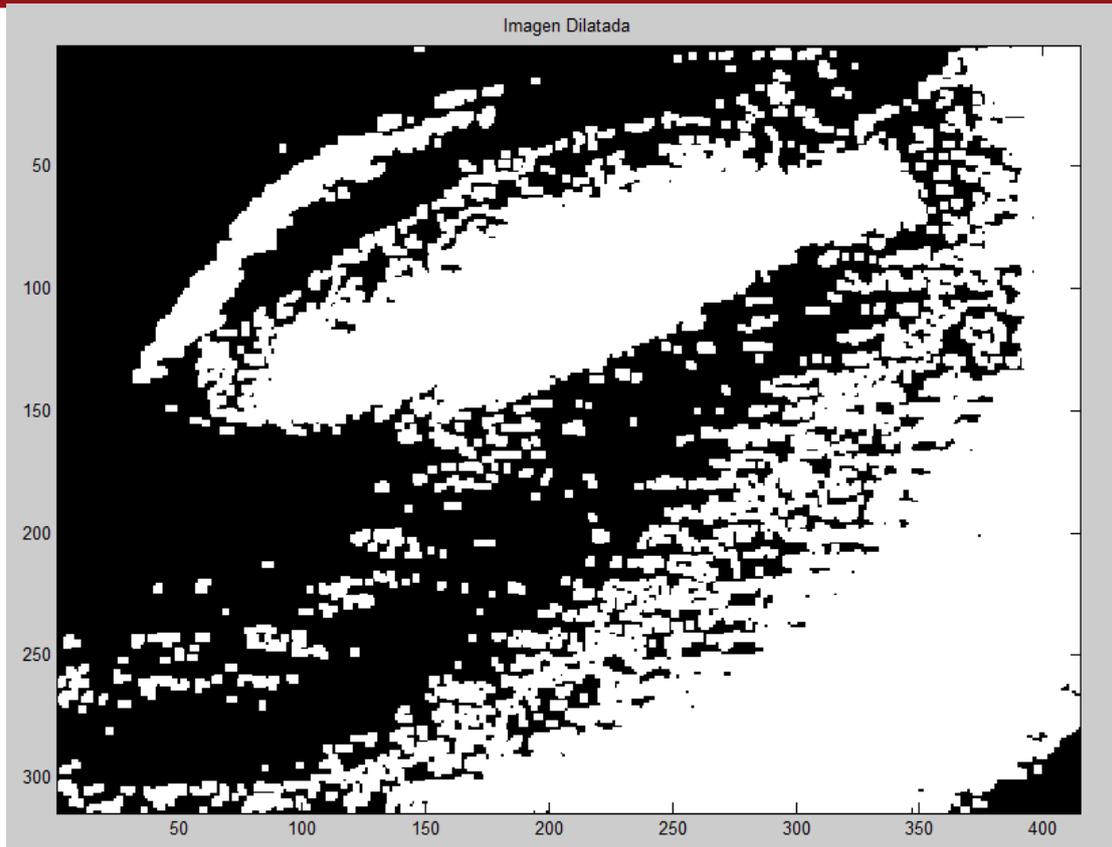


Figura 51: Imagen dilatada

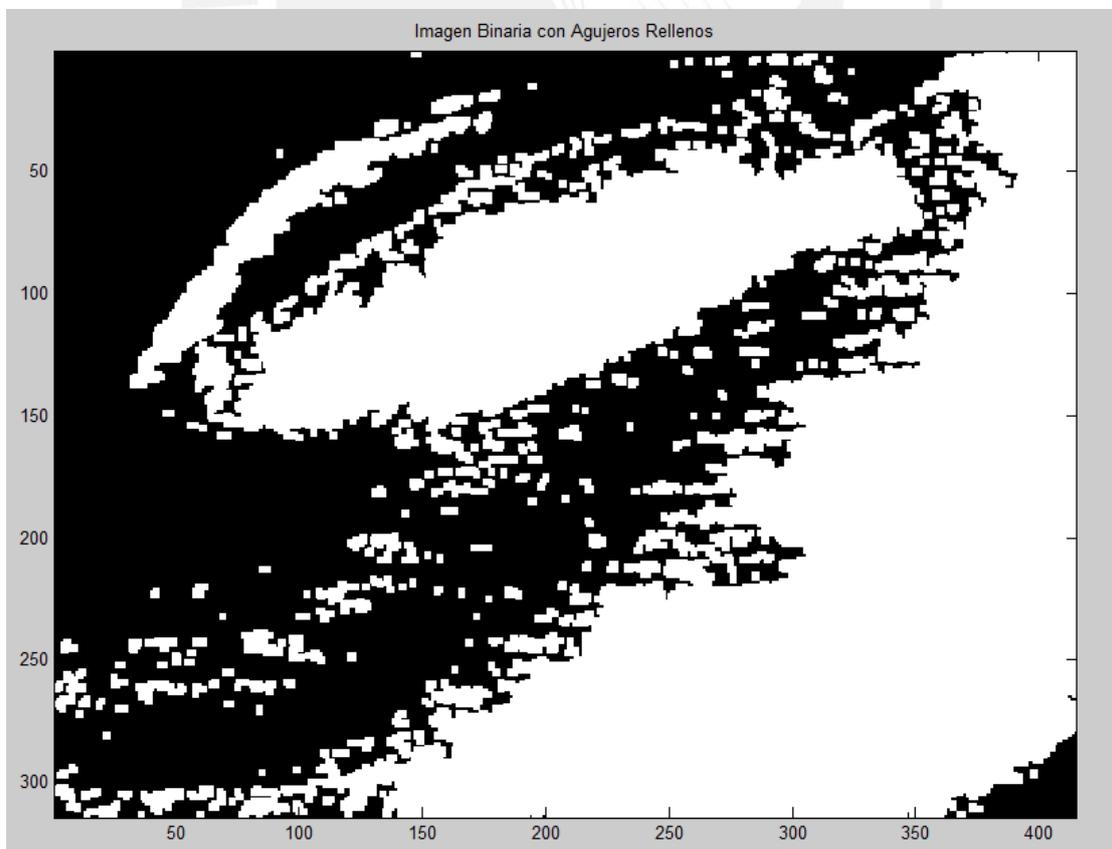


Figura 52: Imagen con relleno de agujeros

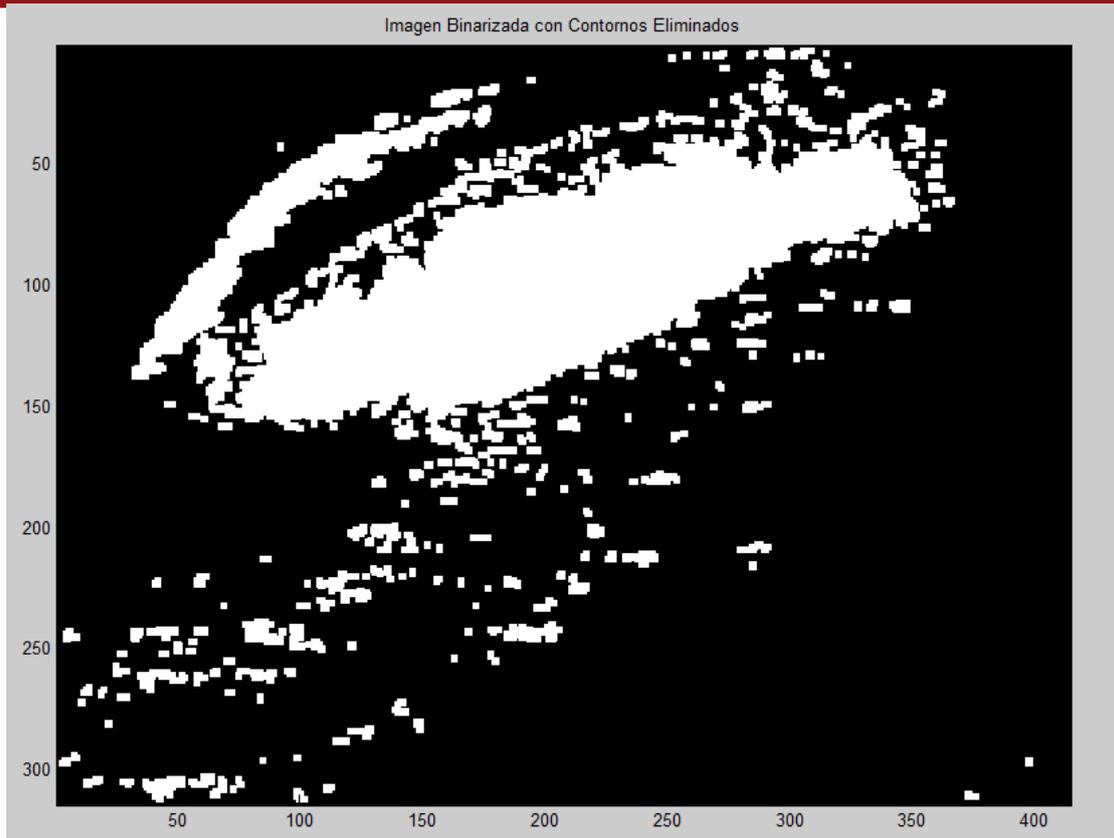


Figura 53: Imagen con contornos eliminados

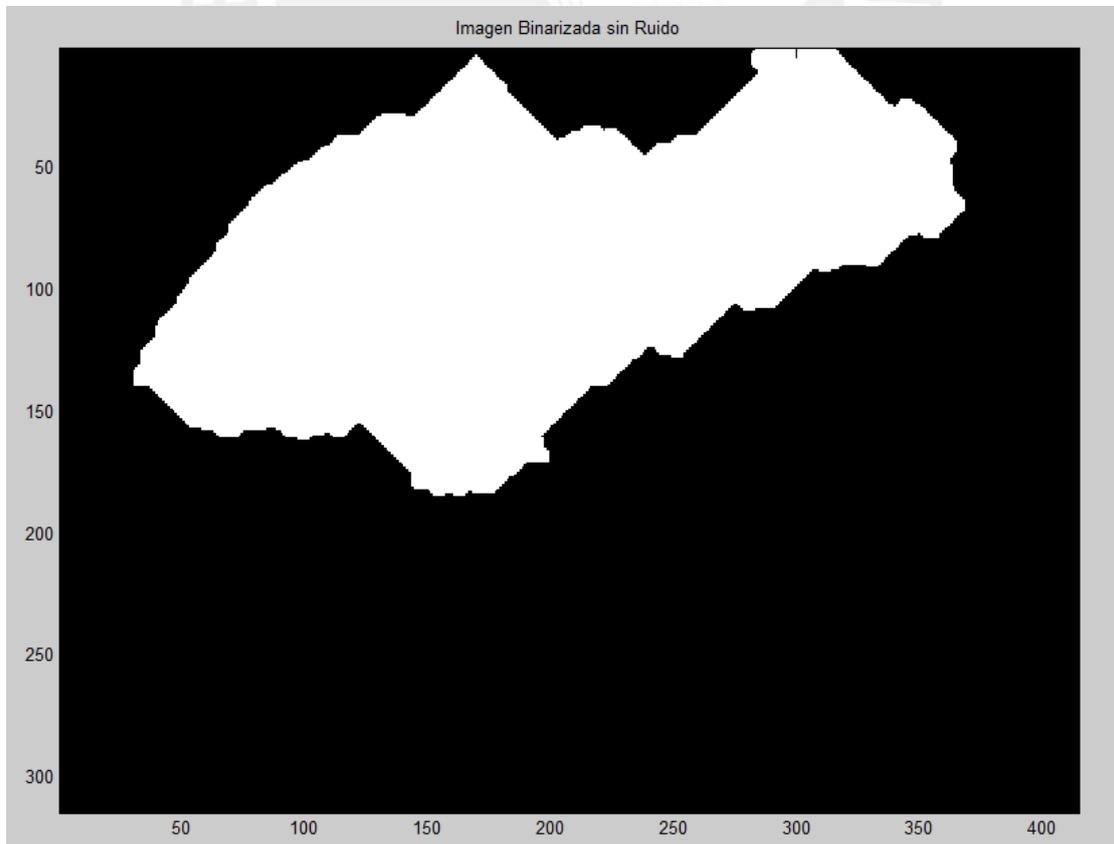


Figura 54: Imagen binarizada sin ruido

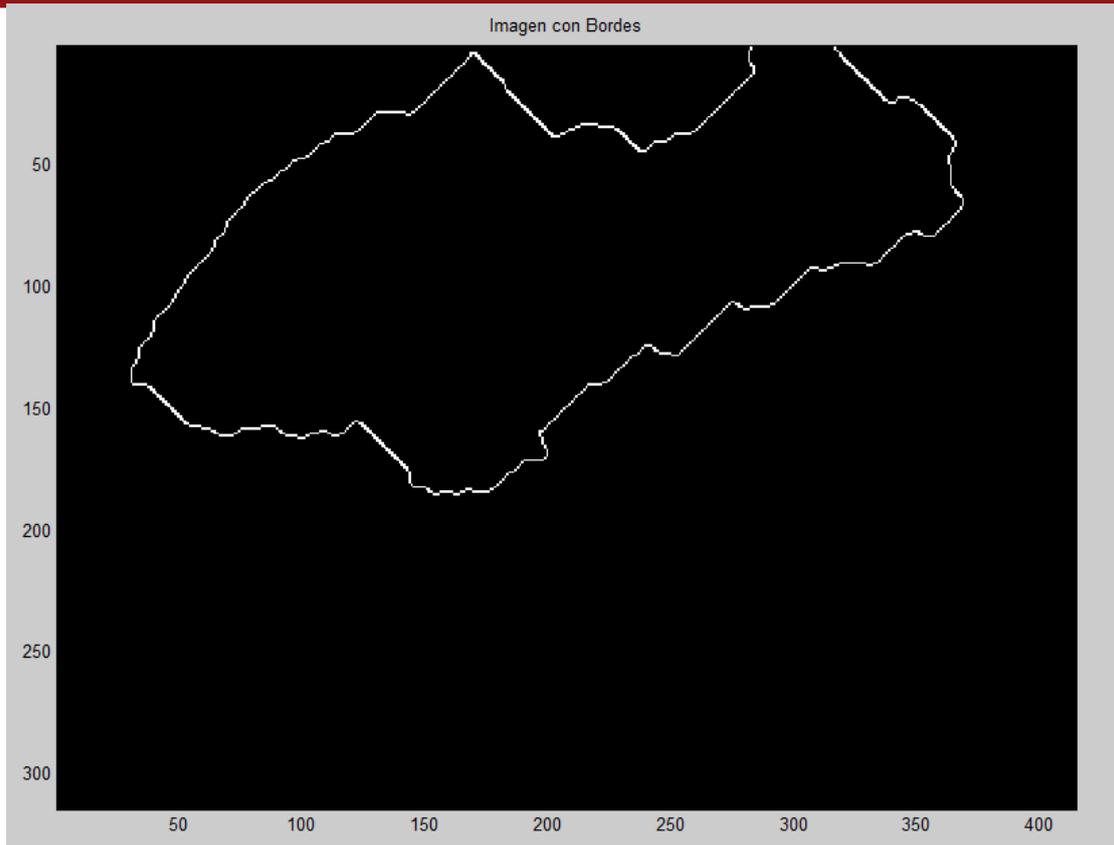


Figura 55: Imagen con bordes

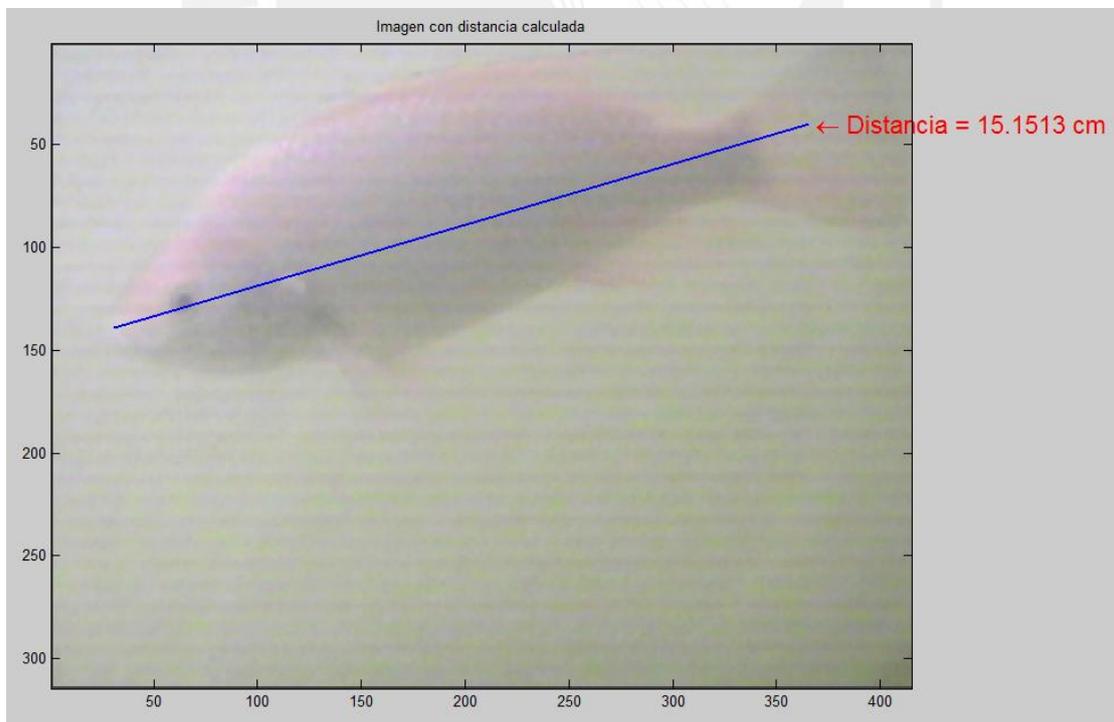


Figura 56: Imagen con distancia calculada

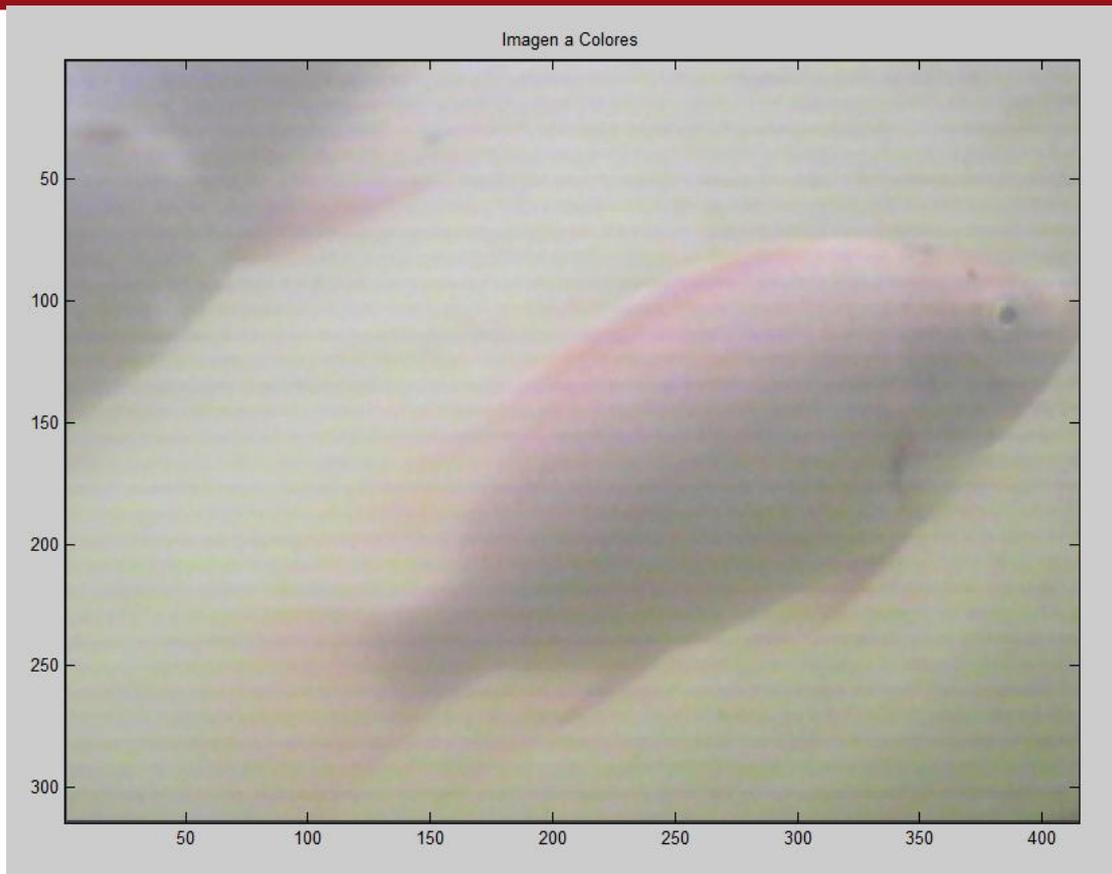


Figura 57: Imagen experimental N° 05

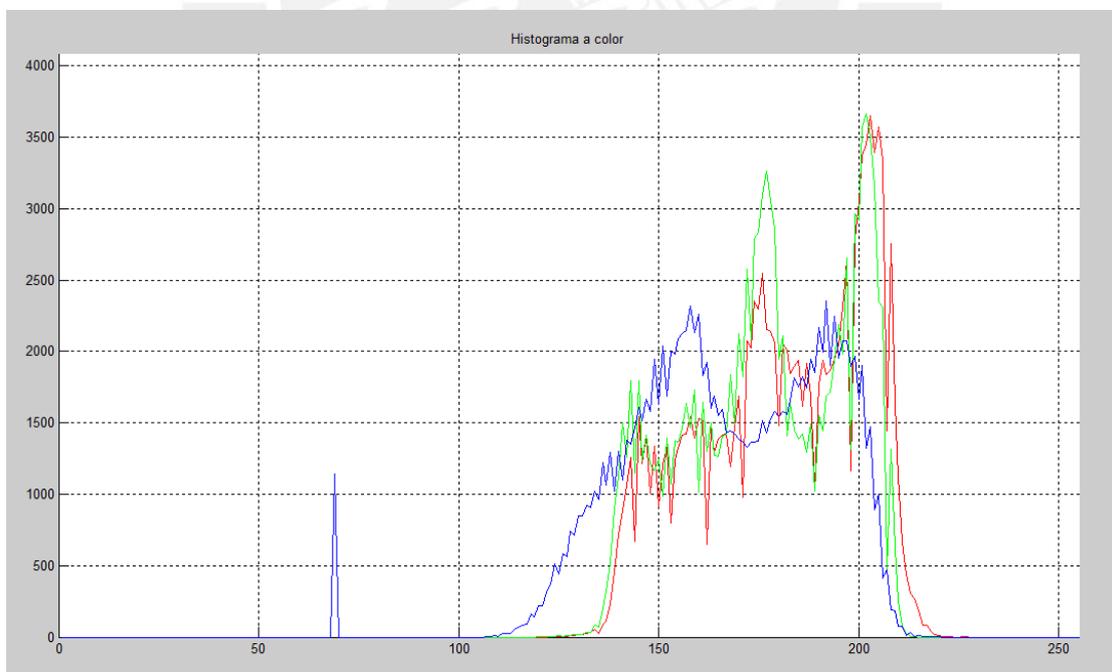


Figura 58: Histograma de la imagen experimental N° 05

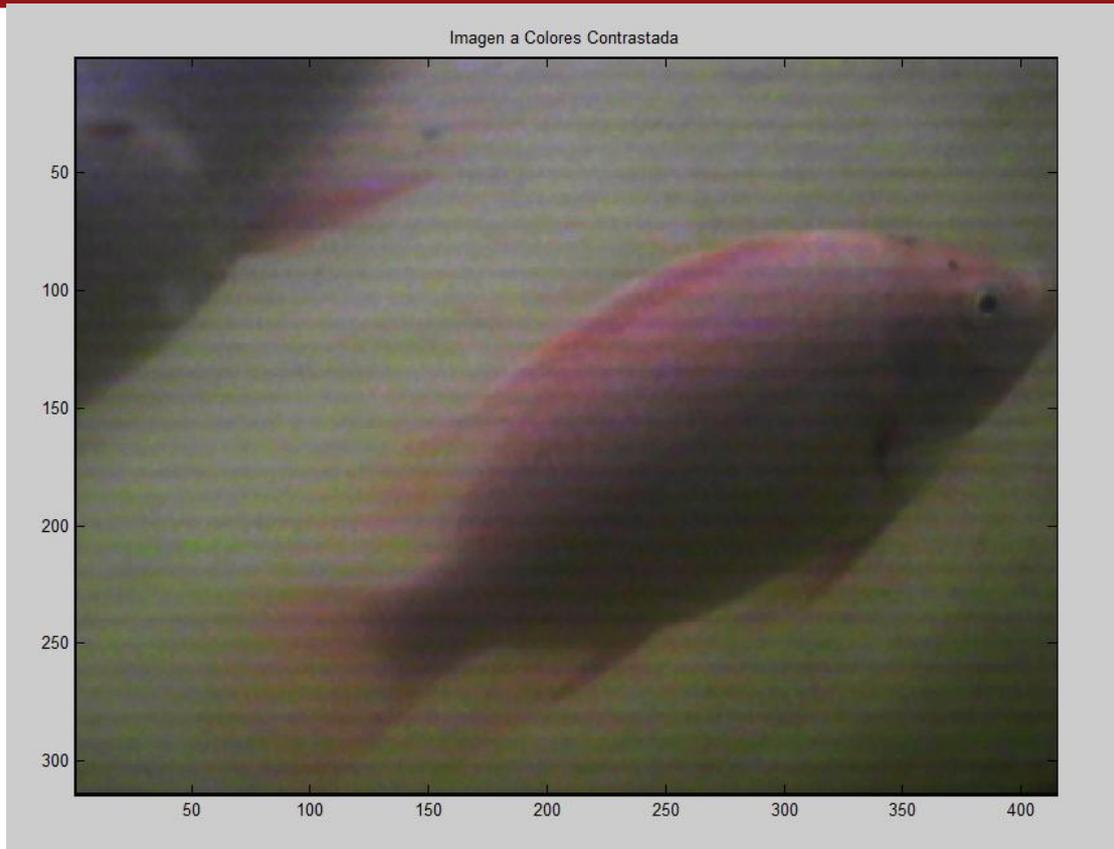


Figura 59: Imagen contrastada



Figura 60: Histograma de la imagen contrastada

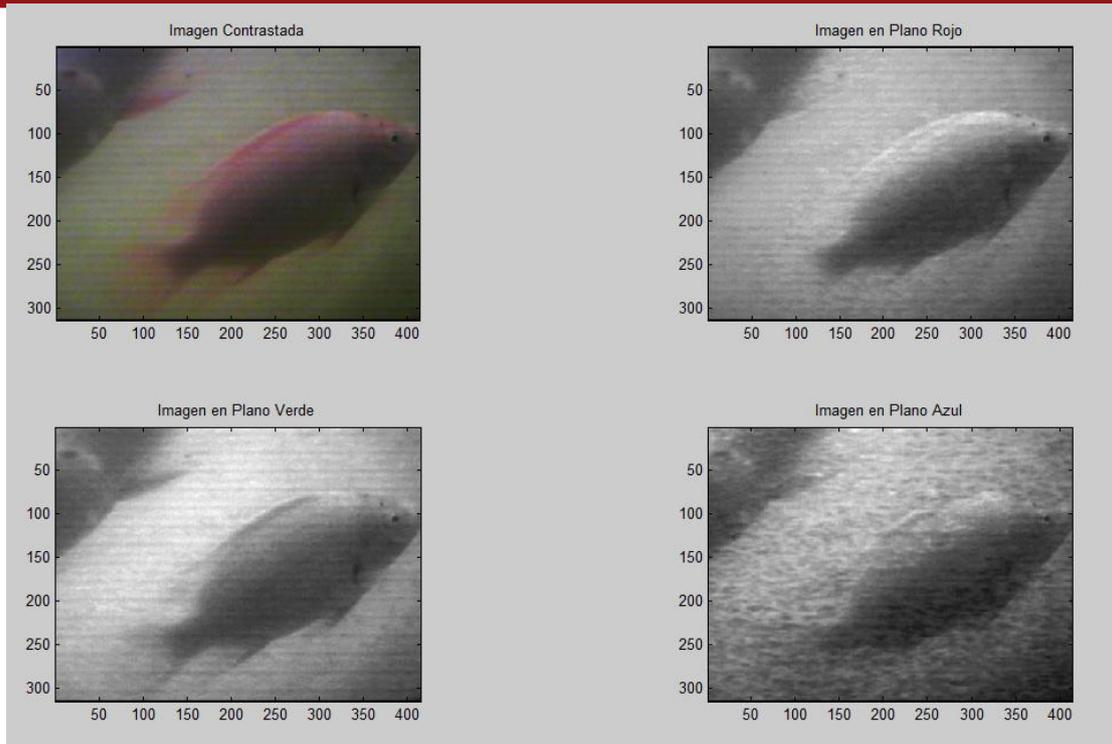


Figura 61: Imagen contrastada con sus diversos planos de color

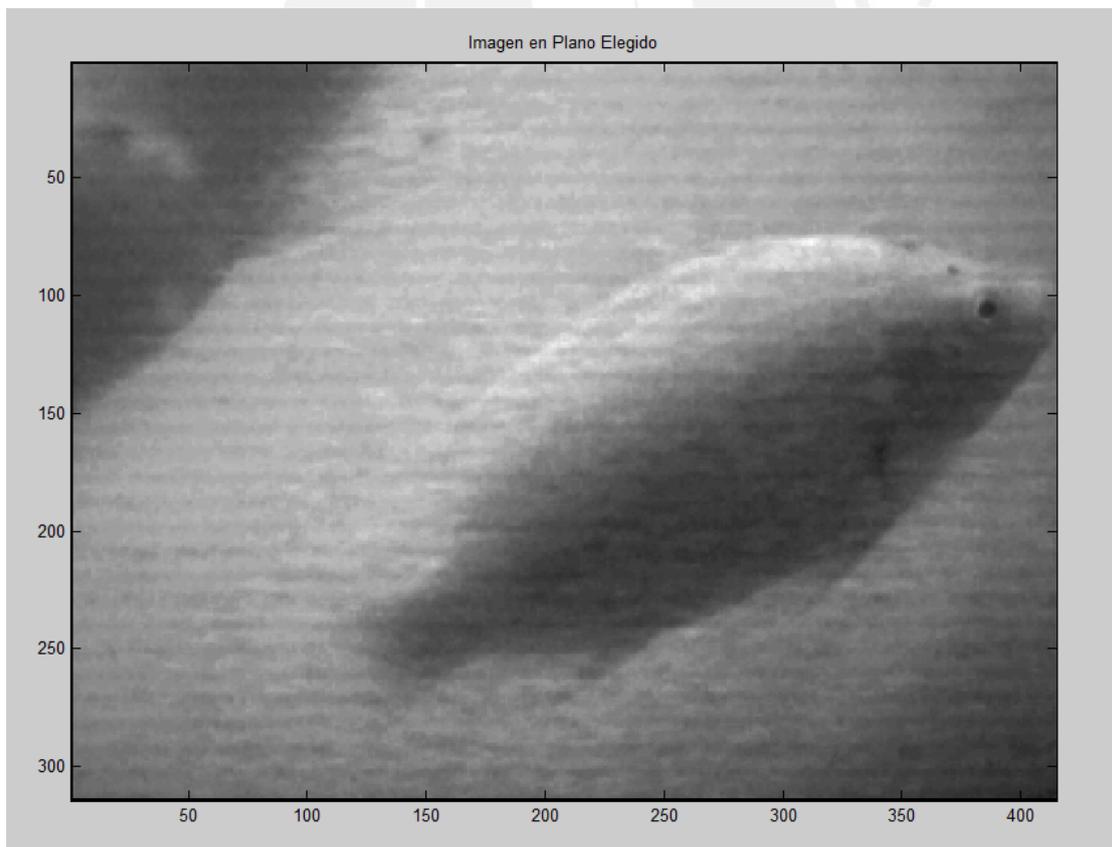


Figura 62: Imagen contrastada en el plano elegido

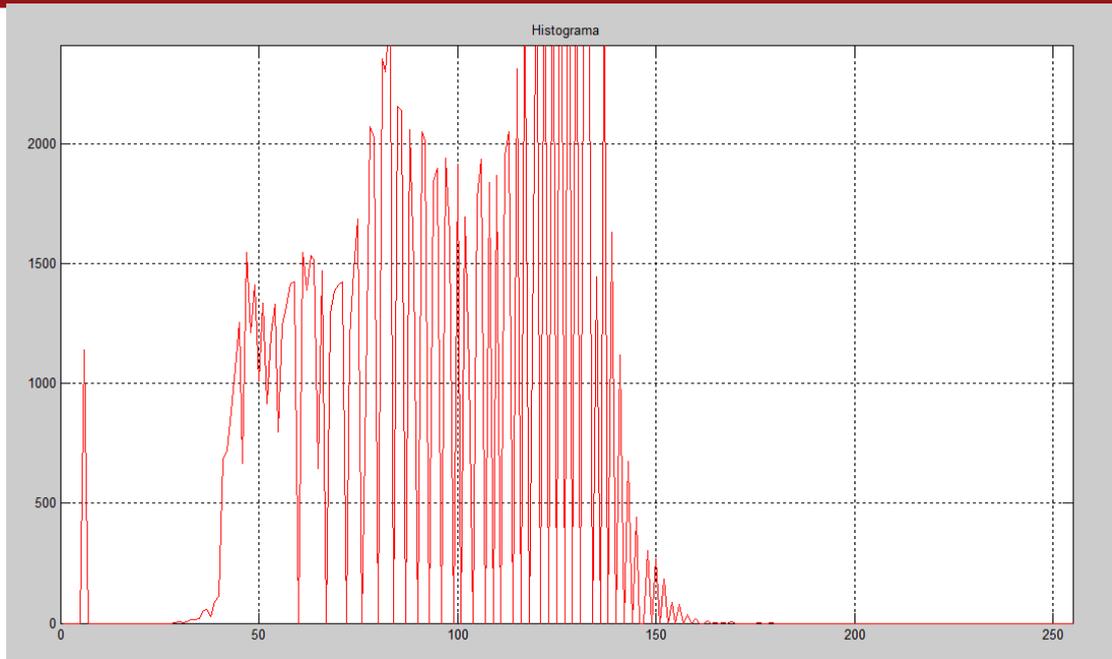


Figura 63: Histograma del plano elegido

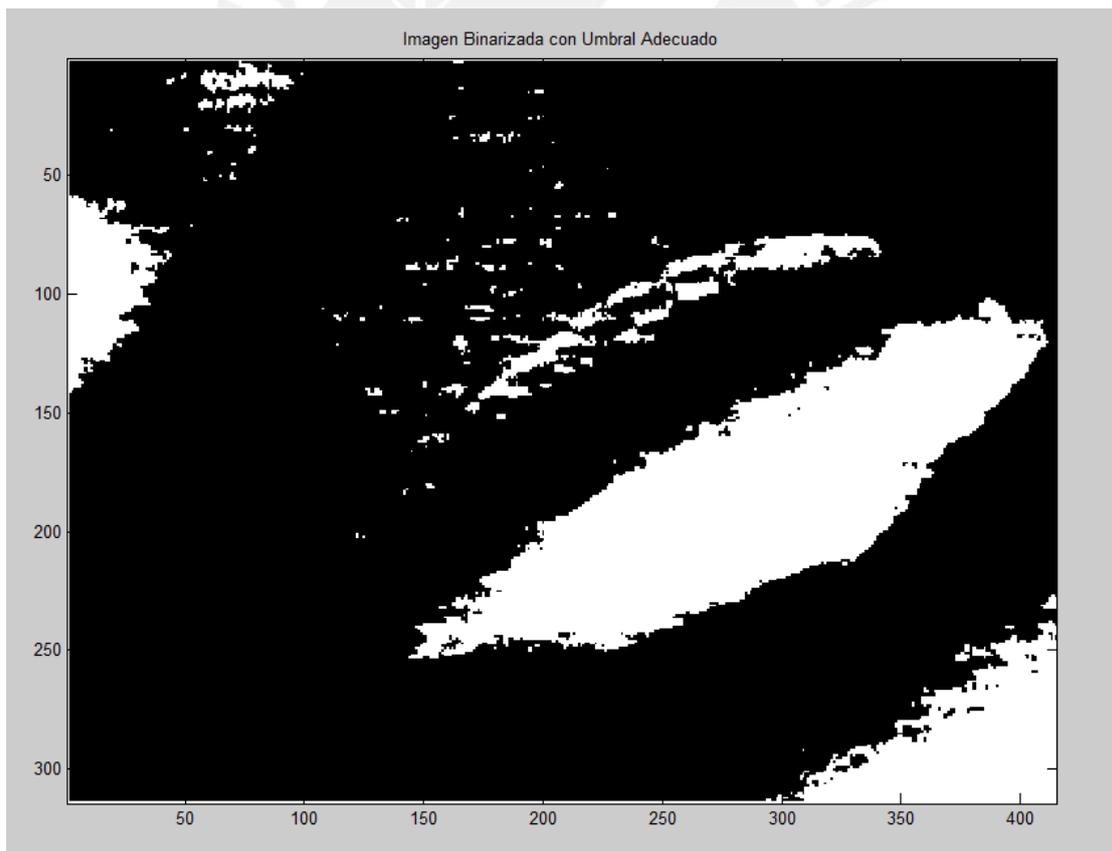


Figura 64: Imagen binarizada con umbrales adecuados

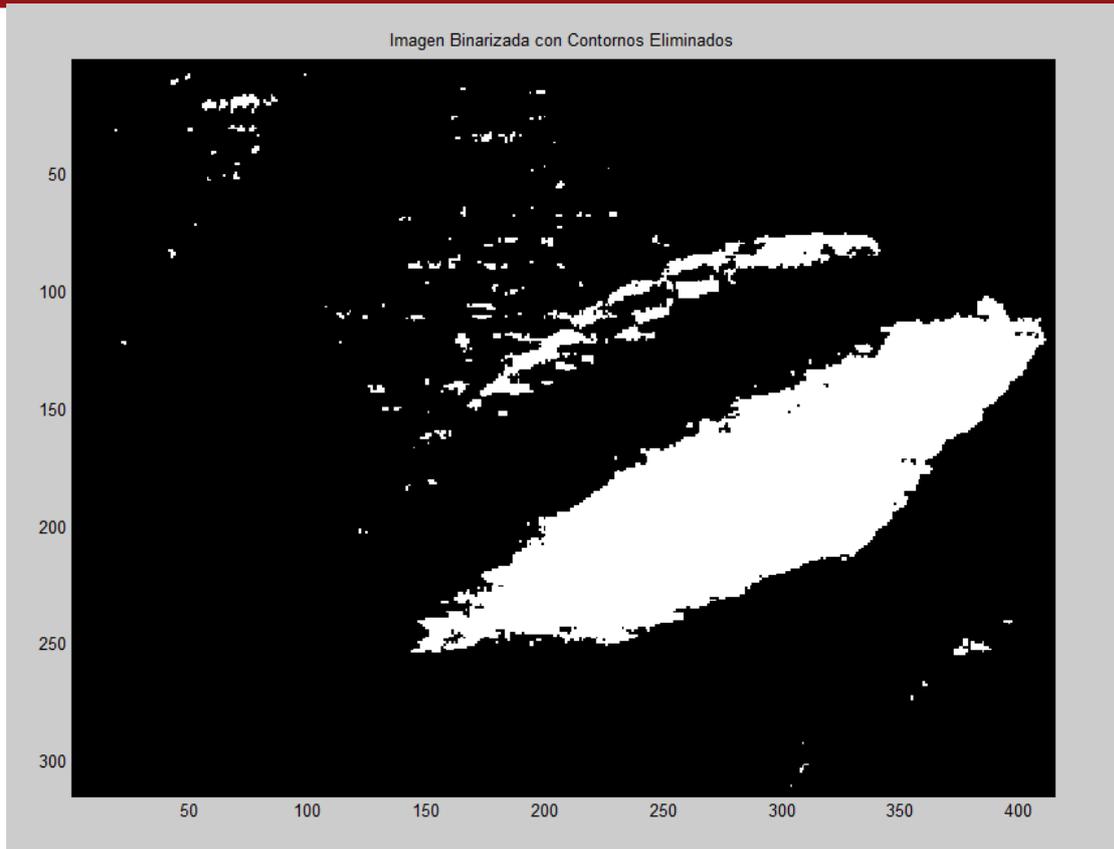


Figura 65: Imagen con contornos eliminados

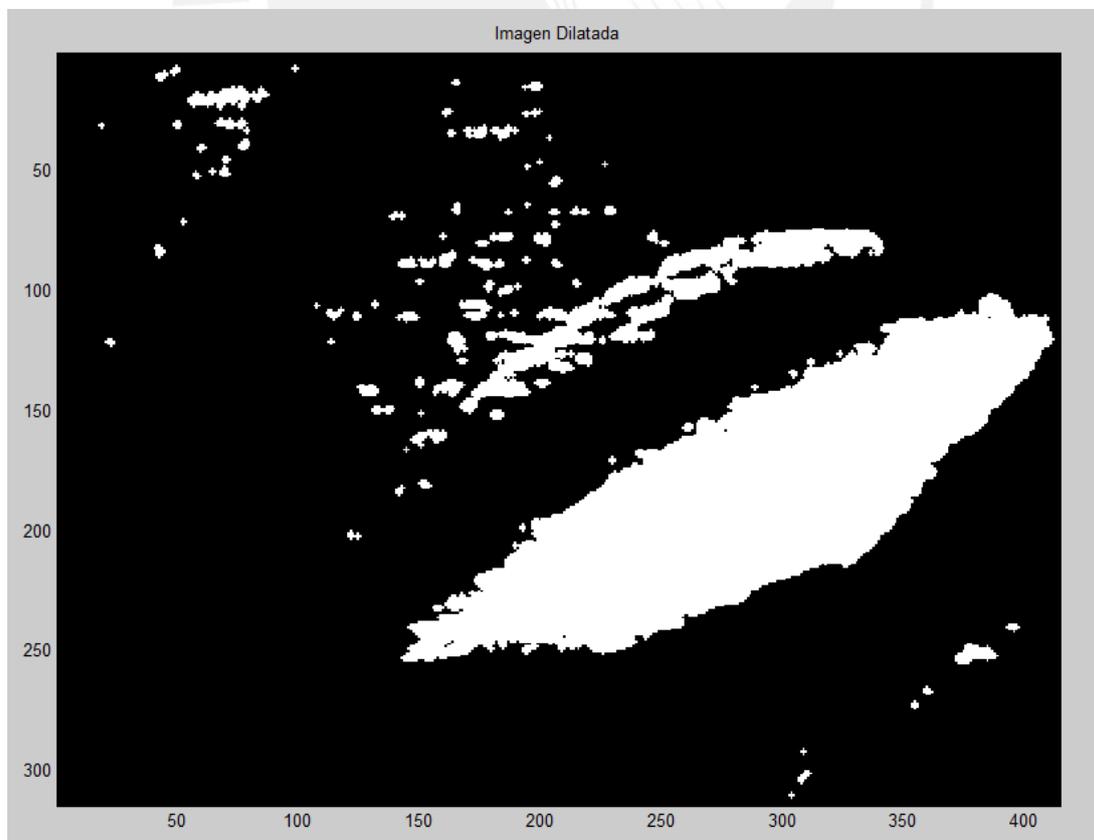


Figura 66: Imagen dilatada

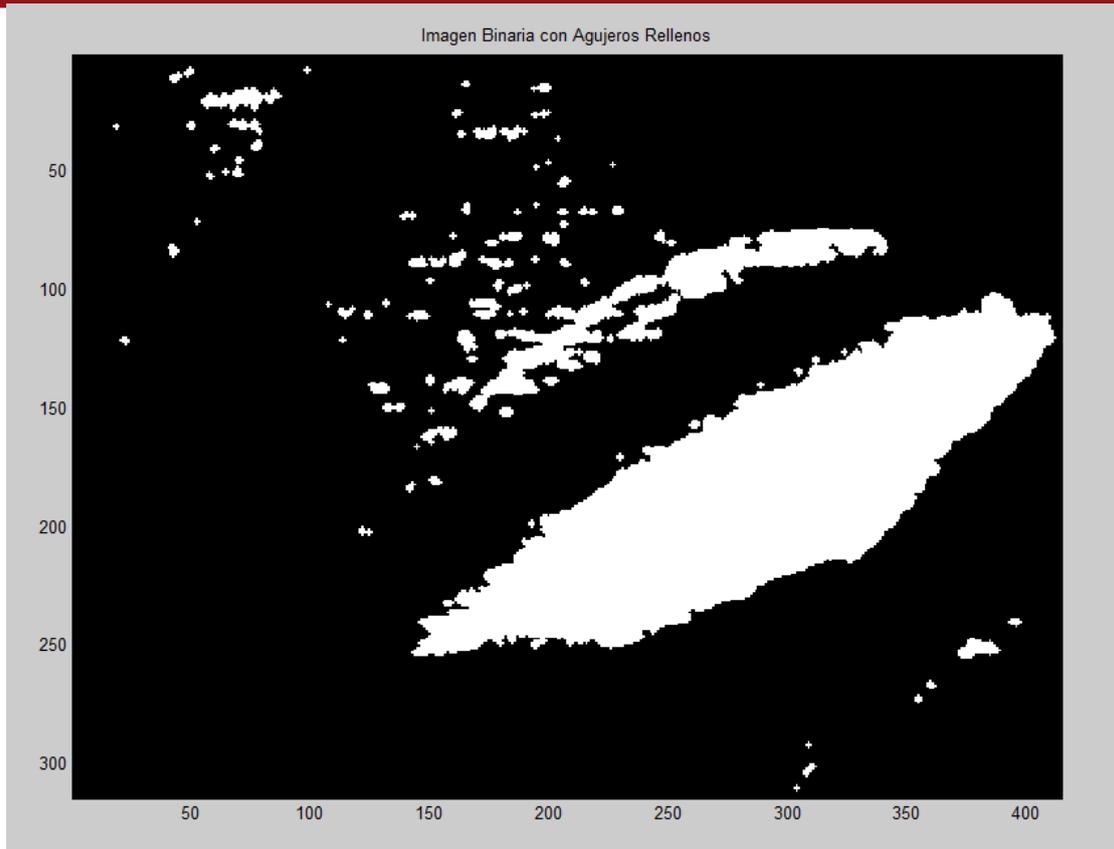


Figura 67: Imagen con relleno de agujeros

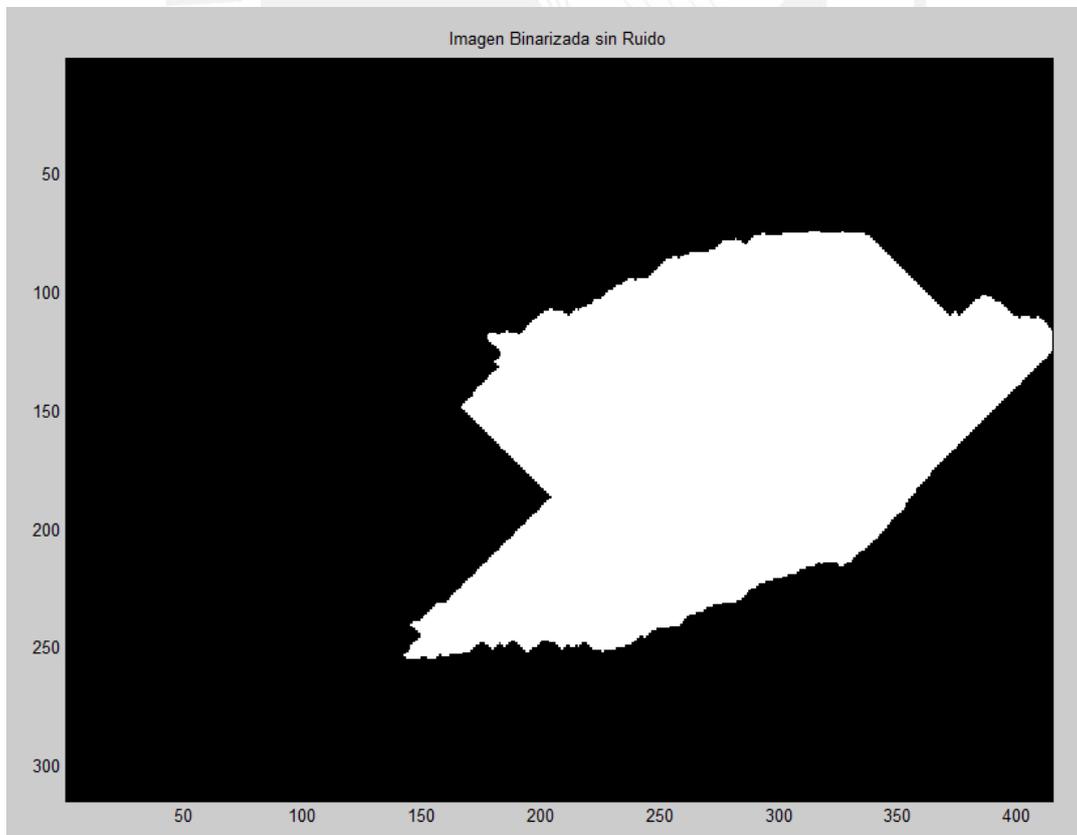


Figura 68: Imagen binarizada sin ruido

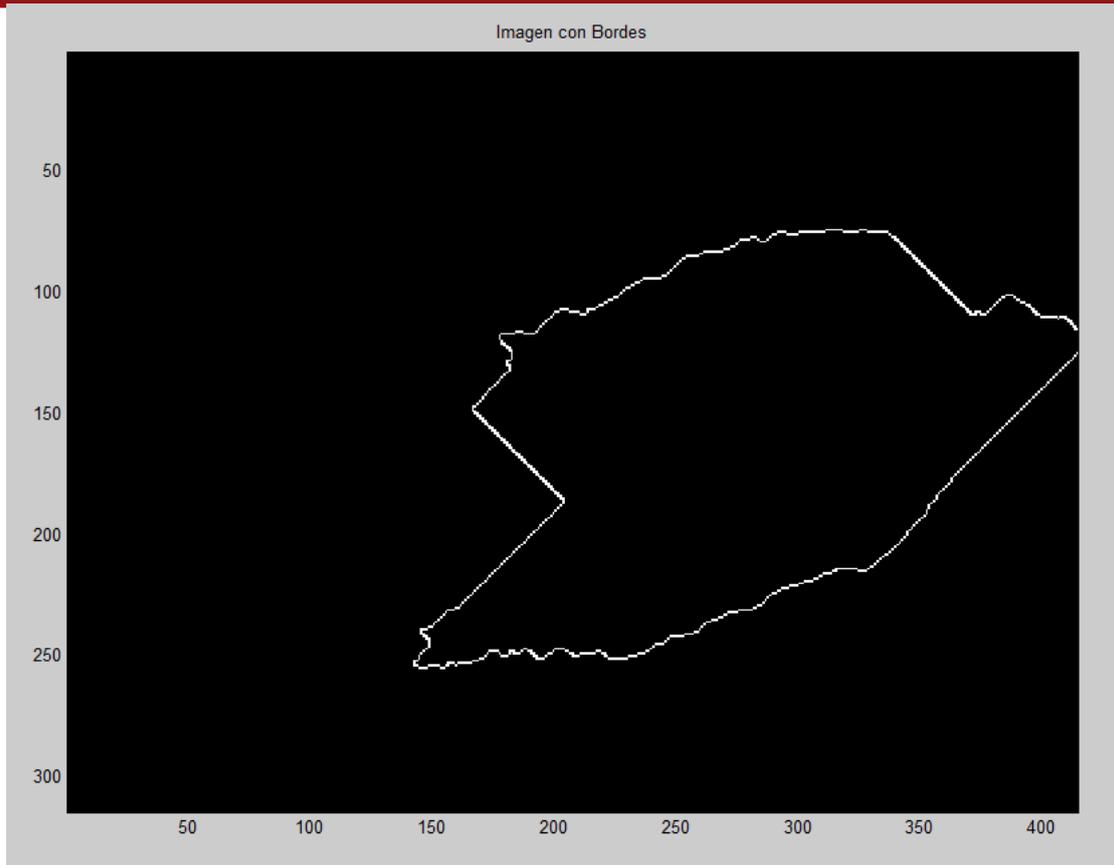


Figura 69: Imagen con bordes

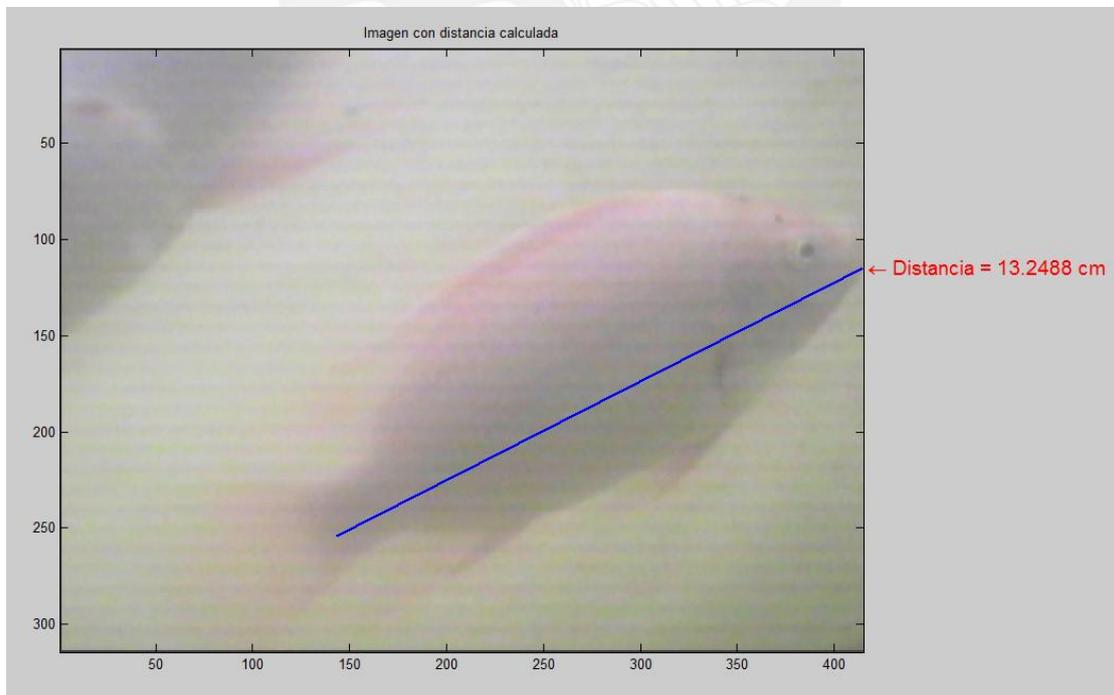


Figura 70: Imagen con distancia calculada

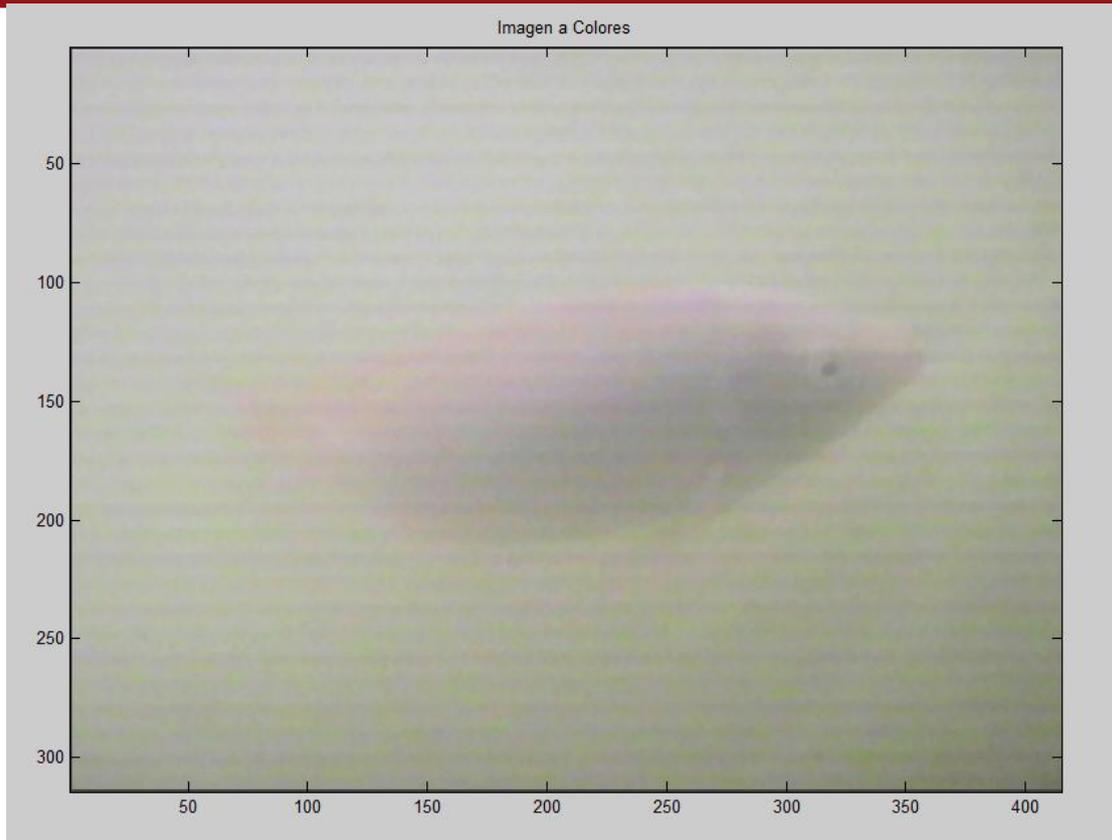


Figura 71: Imagen experimental N° 06

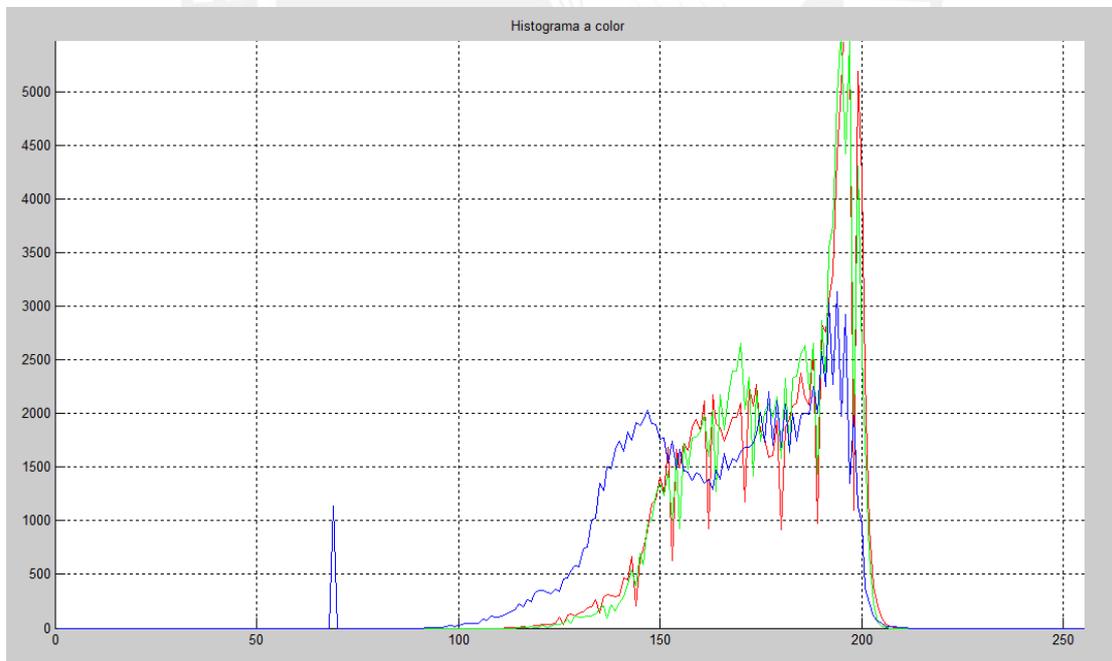


Figura 72: Histograma de la imagen experimental N° 06



Figura 73: Imagen contrastada

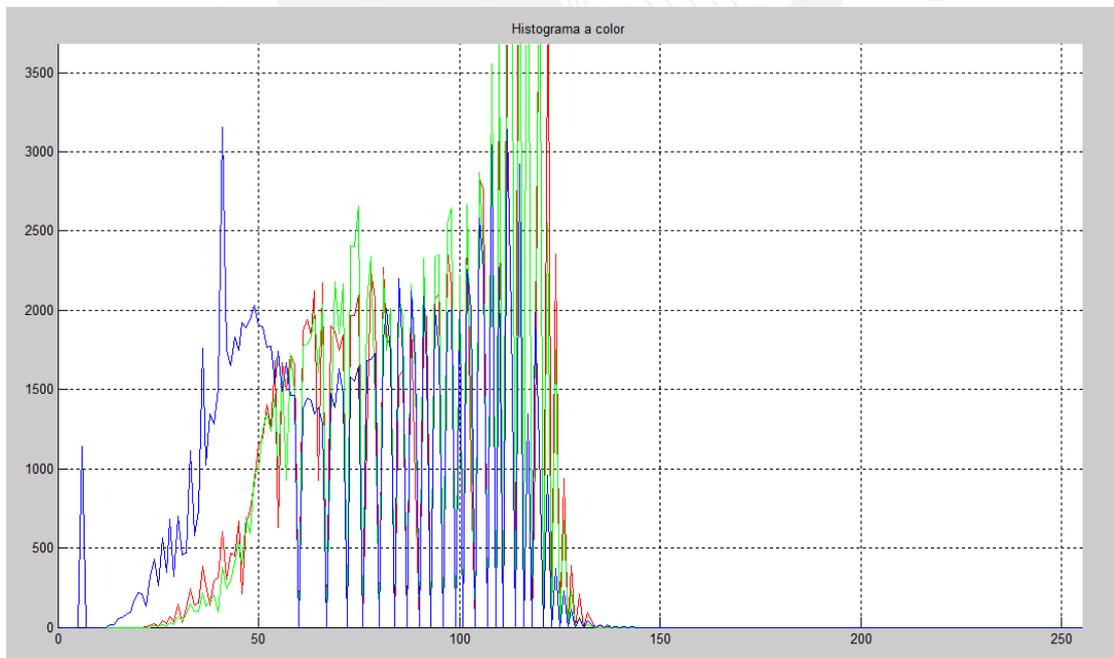


Figura 74: Histograma de la imagen contrastada

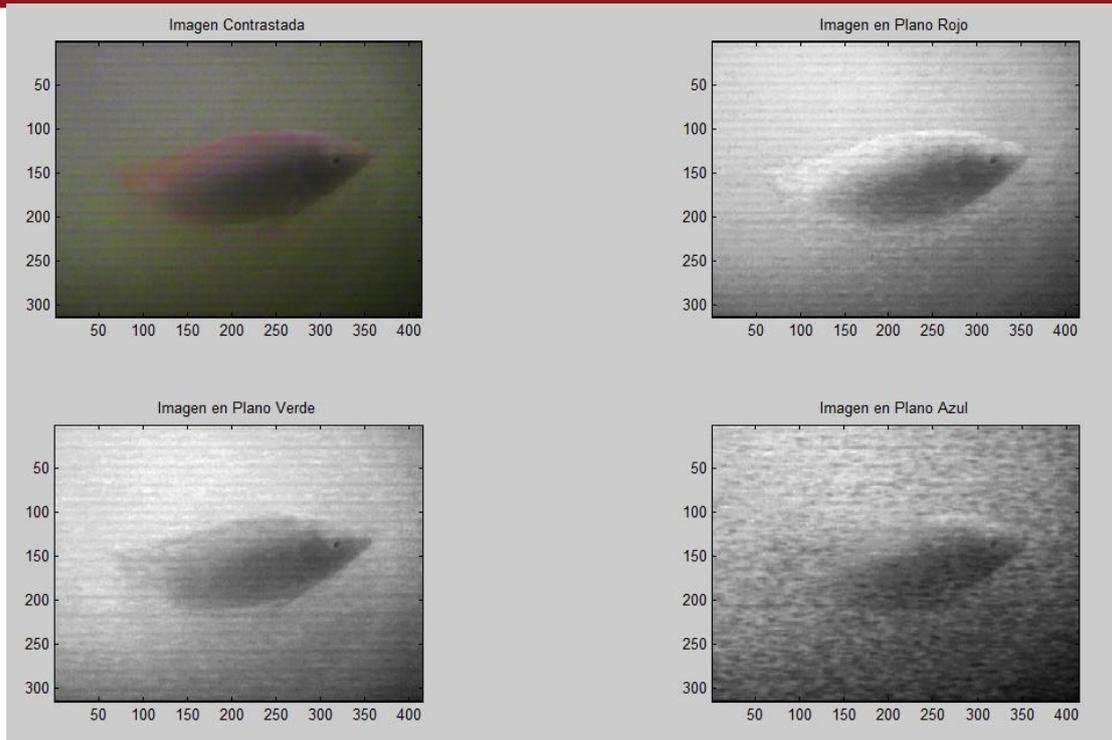


Figura 75: Imagen contrastada con sus diversos planos de color

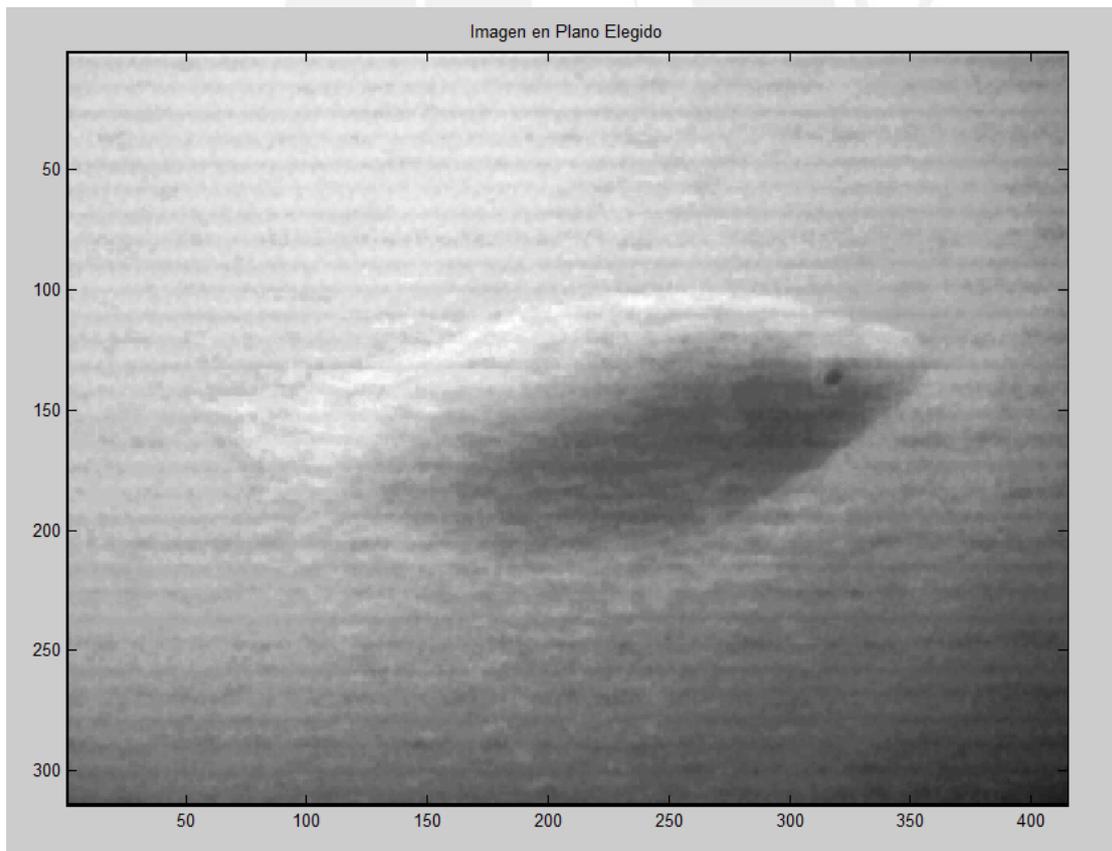


Figura 76: Imagen contrastada en el plano elegido

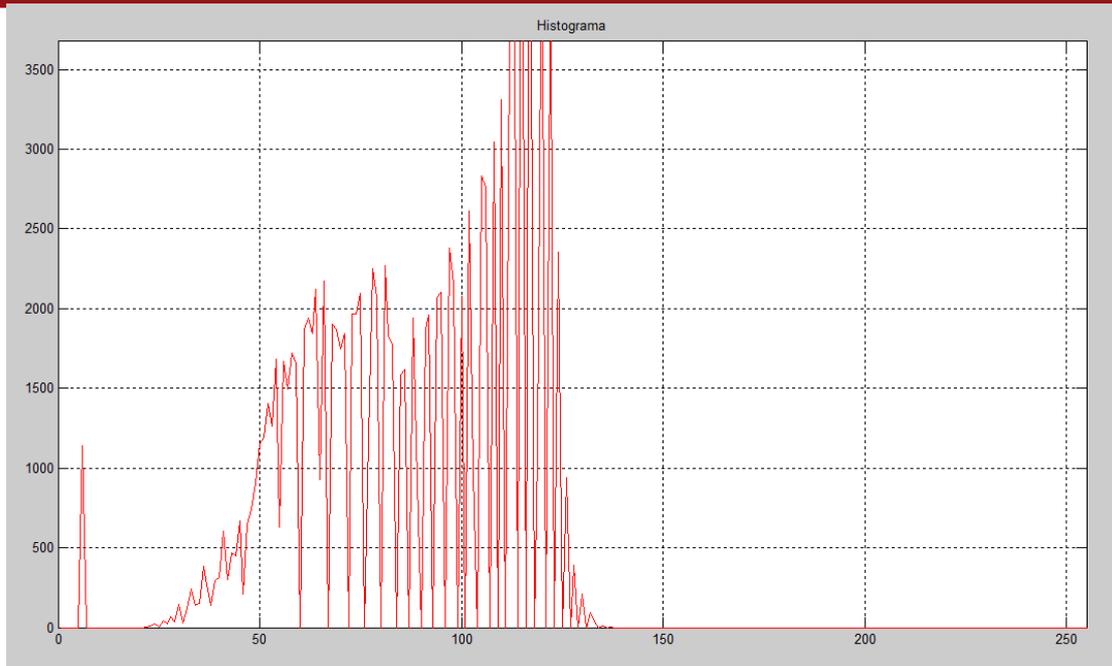


Figura 77: Histograma del plano elegido

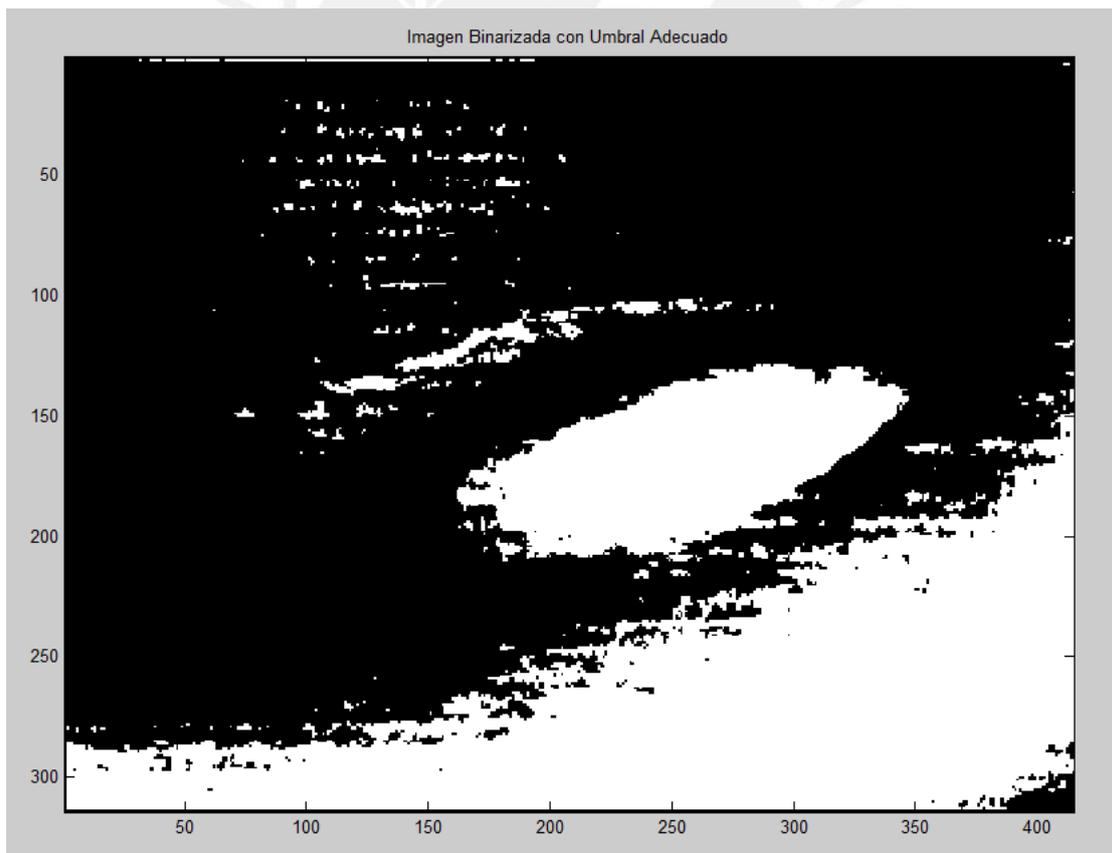


Figura 78: Imagen binarizada con umbrales adecuados

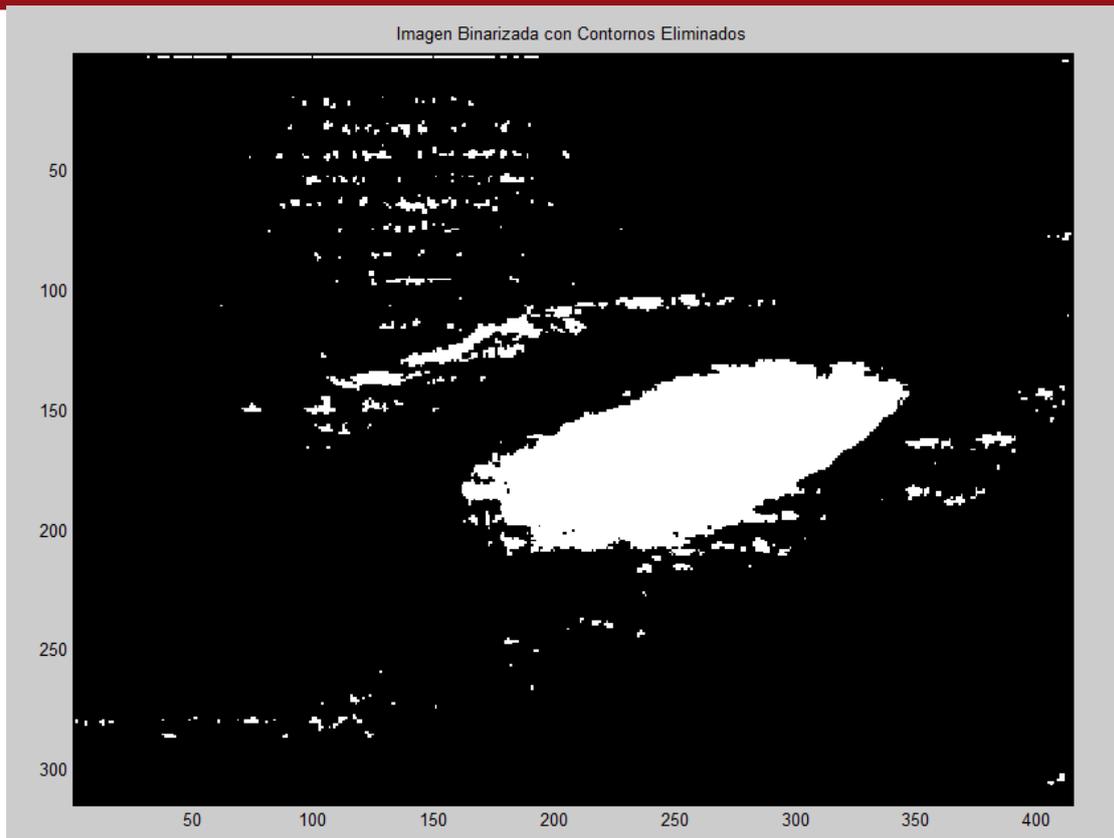


Figura 79: Imagen con contornos eliminados

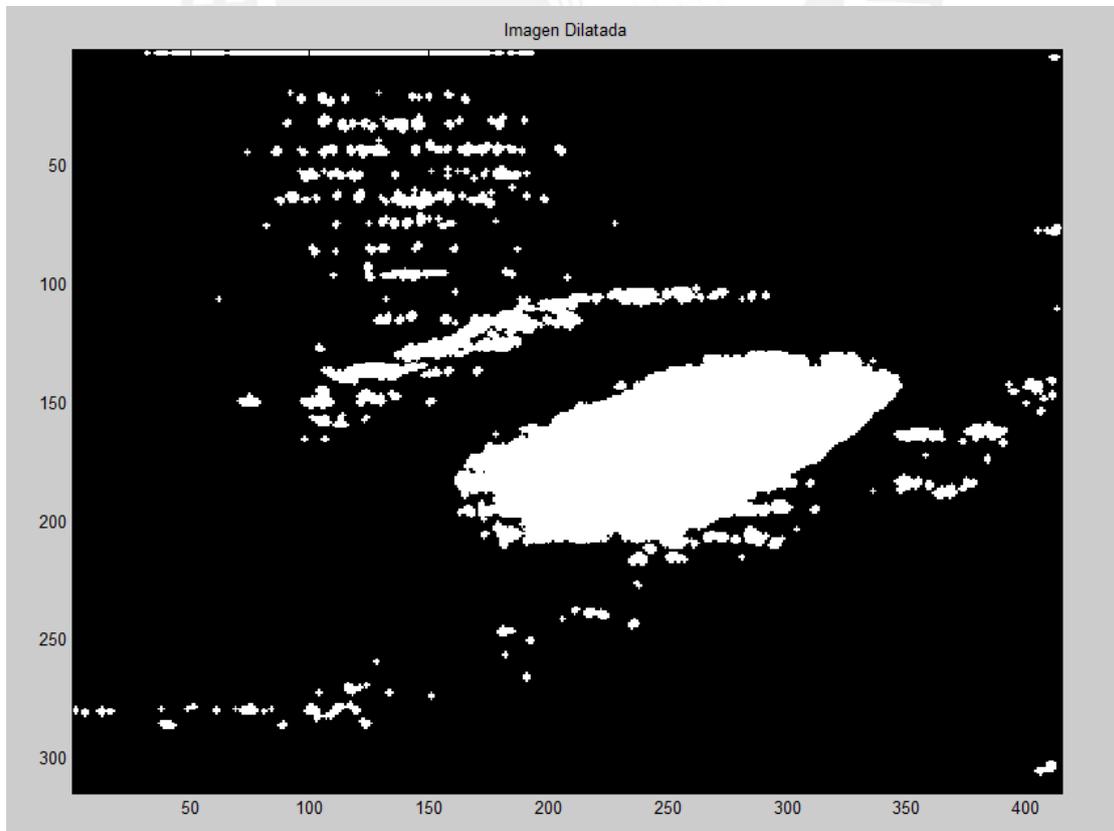


Figura 80: Imagen dilatada

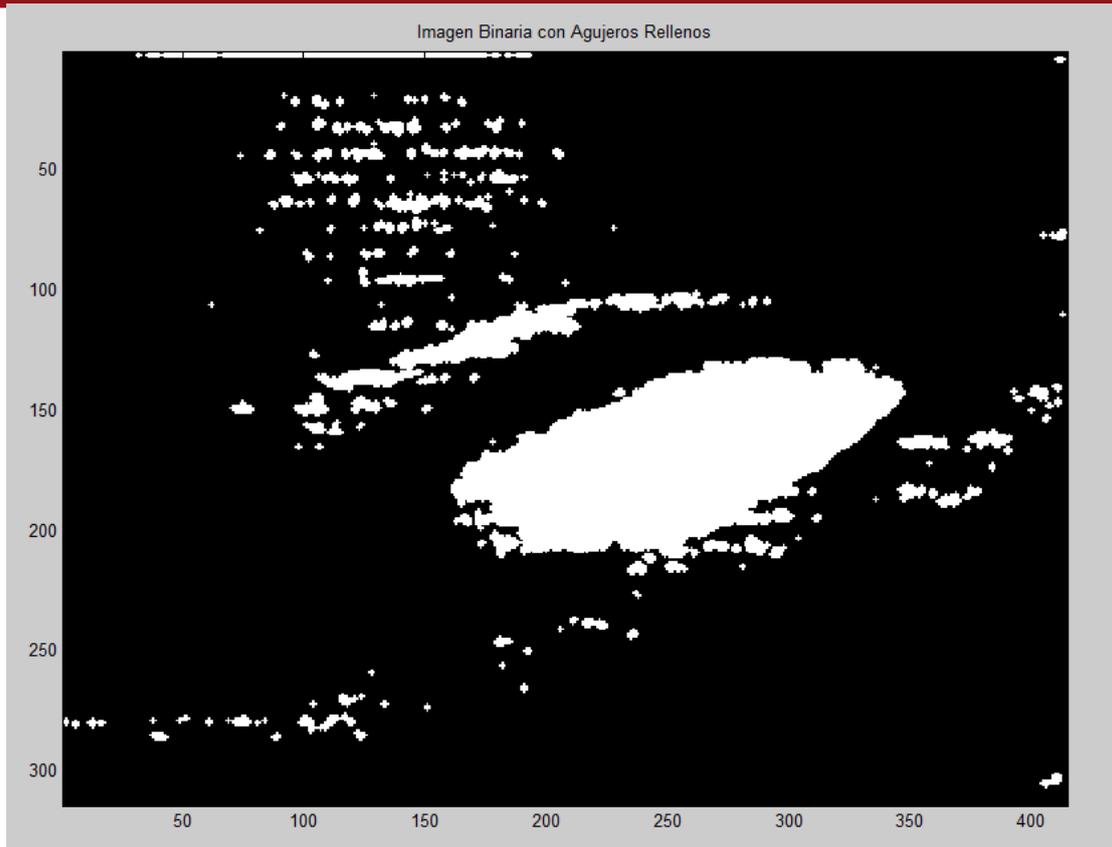


Figura 81: Imagen con relleno de agujeros

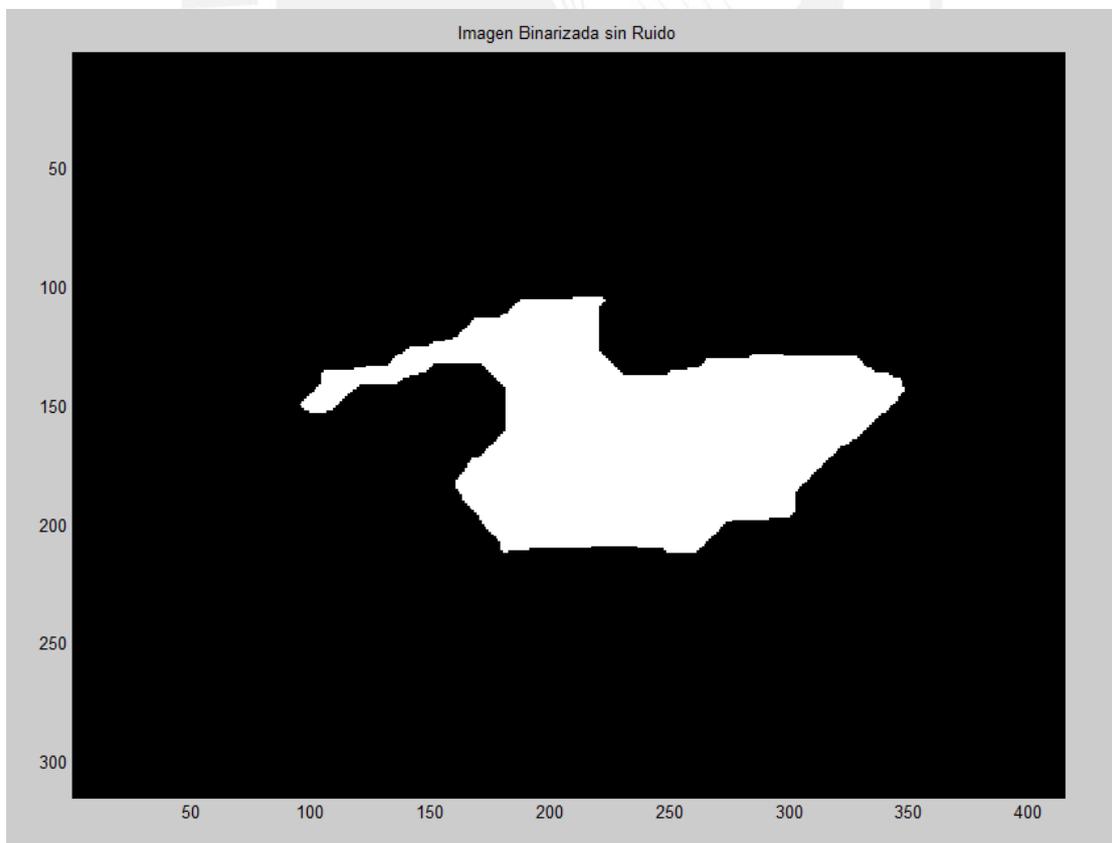


Figura 82: Imagen binarizada sin ruido

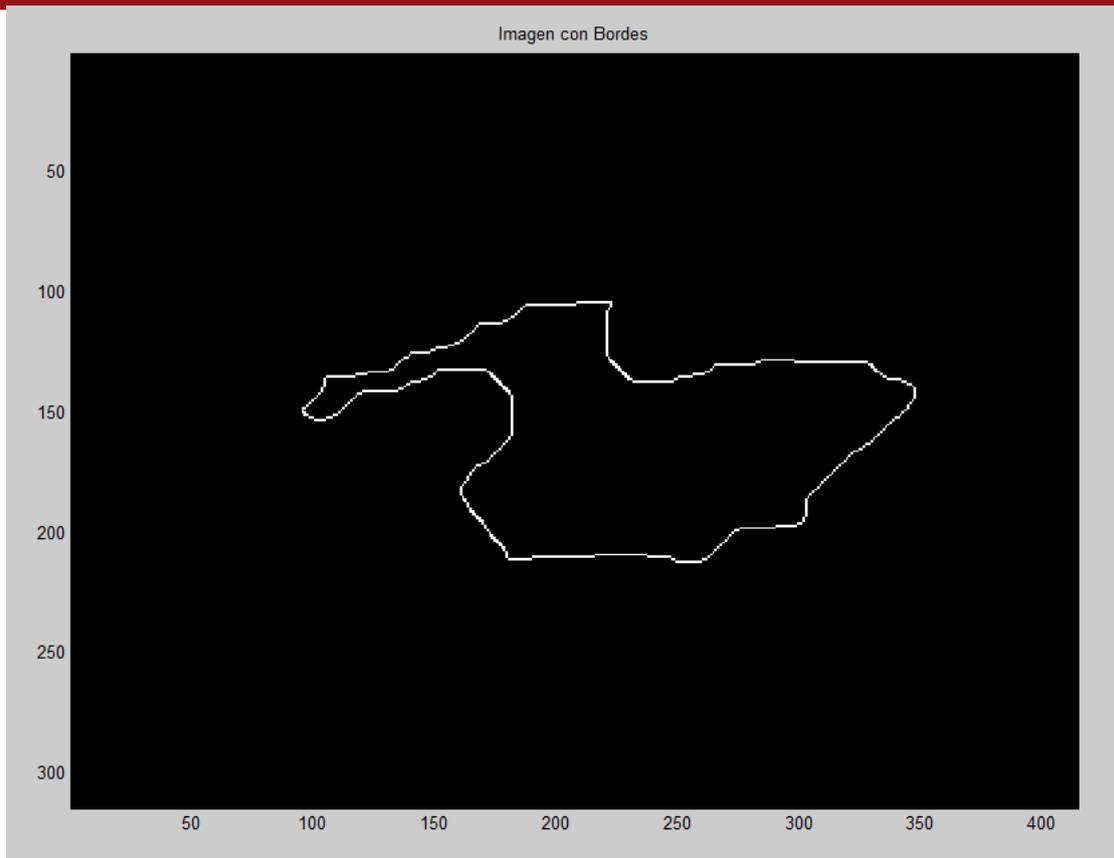


Figura 83: Imagen con bordes

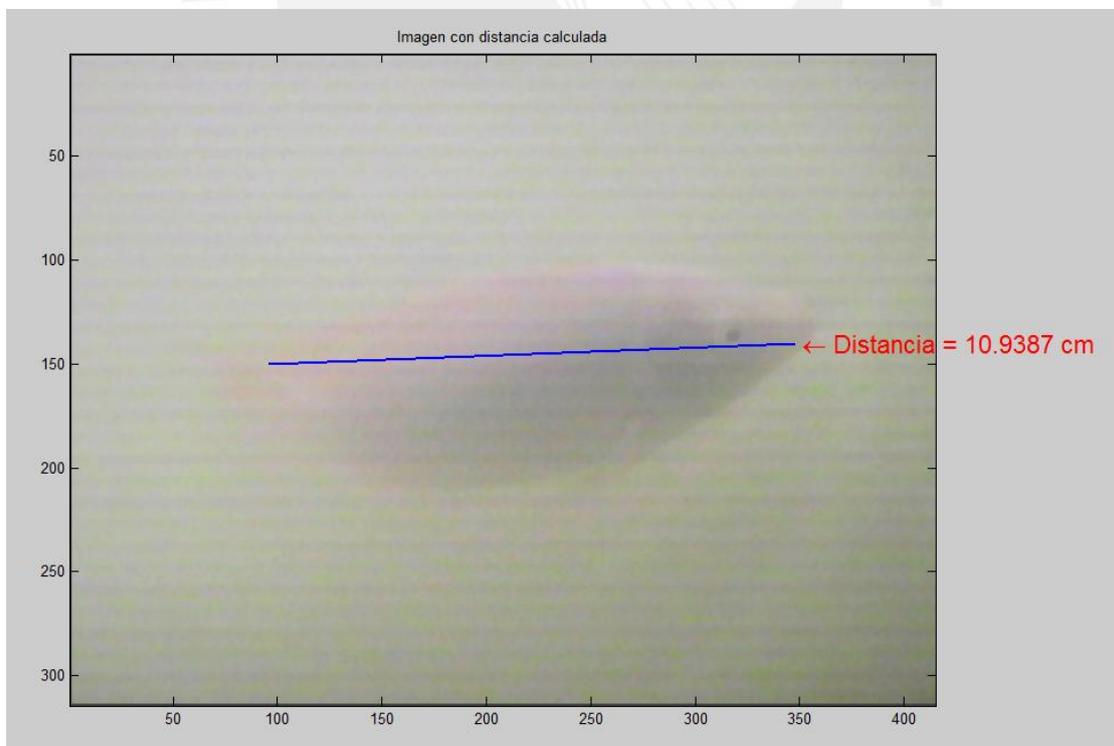


Figura 84: Imagen con distancia calculada