



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE  
DURANGO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DEL VALLE DEL GUADIANA**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**“Clasificación de la calidad de semen de ganado vacuno criogenizado de acuerdo a sus características de movilidad, con fines reproductivos usando técnicas de procesamiento de imágenes.”**

## **TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

**Maestro en Ingeniería**

**Presenta:**

Angel Itzcoatl Huizar Bretado

**Director de tesis:**

Dr. Ruben Guerra Rivera

**Co-Director:**

Dr. Francisco Godínez García

Durango, Dgo. México, Noviembre, 2023.





## "Clasificación de la calidad de semen de ganado vacuno criogenizado de acuerdo a sus características de movilidad, con fines reproductivos usando técnicas de procesamiento de imágenes."

**Presenta:**

Ing. Angel Itzcoatl Huizar Bretado

### COMITÉ TUTORIAL

Dr. Ruben Guerrero Rivera Director	 Firma
Dr. Francisco Godinez Garcia Codirector	 Firma
M.C. Antonio Martinez Rivera Asesor	 Firma
Dr. Eduardo Gamero Inda Asesor	 Firma

M.C. Norma Alicia García Vidaña

Coordinadora del programa de la Maestría en Ingeniería.

Dr. Francisco Godinez Garcia

Jefa de la División de Estudios de Posgrado e Investigación

Durango, Dgo. México

Noviembre 2023



Victoria de Durango, Dgo., a **24 / Noviembre / 2023**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
DEPI / C / 533 / 23.

**ASUNTO:** Autorización de Tema de Tesis de Maestría.

**C. ÁNGEL ITZCOATL HUIZAR BRETADO**  
**No. DE CONTROL G15040346**  
**P R E S E N T E .**

Con base en el Reglamento en vigor y teniendo en cuenta el dictamen emitido por el Jurado que le fue asignado, se le autoriza a desarrollar el tema de tesis para obtener el **Grado de Maestro en Ingeniería** cuyo título es:

**"CLASIFICACIÓN DE CALIDAD DEL SEMEN DE GANADO VACUNO CRIOGENIZADO DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS DE MOVILIDAD, CON FINES REPRODUCTIVOS USANDO TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES"**

**CONTENIDO:**

	RESUMEN
CAPÍTULO I	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN
CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO
CAPÍTULO III	METODOLOGÍA
CAPÍTULO IV	RESULTADOS
CAPÍTULO V	CONCLUSIONES
CAPÍTULO VI	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
	ANEXOS

**ATENTAMENTE.**

*Excelencia en Educación Tecnológica*  
*"La Técnica al Servicio de la Patria"*

  
**C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



FJGG/ammr





Victoria de Durango, Dgo., a **24 / Noviembre / 2023**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
DEPI / C / 534 / 23.

**ASUNTO:** Autorización de Impresión de Tesis de Maestría.

**C. ÁNGEL ITZCOATL HUIZAR BRETADO**  
**No. DE CONTROL C15040346**  
**P R E S E N T E .**

De acuerdo al reglamento en vigor y tomando en cuenta el dictamen emitido por el jurado que le fue asignado para la revisión de su trabajo de tesis para obtener el **Grado de Maestro en Ingeniería**, esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le autoriza la impresión del mismo, cuyo título es:

**"CLASIFICACIÓN DE CALIDAD DEL SEMEN DE GANADO VACUNO CRIOGENIZADO DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS DE MOVILIDAD, CON FINES REPRODUCTIVOS USANDO TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES"**

Sin otro particular de momento, quedo de Usted.

**ATENTAMENTE.**

*Excelencia en Educación Tecnológica*  
*"La Técnica al Servicio de la Patria"*

**C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



F2001amnc





Agradecimientos

Expresando mi eterno agradecimiento al CONAHCYT por haberme otorgado el apoyo económico permitiéndome y facilitándome las herramientas necesarias para poder lograr y concluir el posgrado, dejándome nuevas experiencias y grandes aprendizajes.

Quiero agradecer profundamente a mi director de tesis el Dr. Rubén guerrero rivera, por compartir sus conocimientos que me permitieron desarrollar el proyecto y poder concluirlo de manera satisfactoria, también quiero agradecer a mis comité tutorial por sus asesorías durante mi estancia en la unidad de posgrado del Instituto Tecnológico de Durango.

También agradecerle a mi familia, que me acompañaron y apoyaron durante este trayecto y todo este camino lleno de aprendizajes y dificultades, llevándome en mi persona gratos recuerdos del proceso.

A mis amigos y compañeros quiero agradecer, el apoyo, consejos, compañías y por los grandes momentos, haciéndome sentir en una familia.

Atte: Ing. Angel Itzcoatl Huizar Bretado



## Tabla de contenido

<b>Resumen.....</b>	<b>10</b>
<b>I DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.1 Introducción.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Definición del problema.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Preguntas de Investigación.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Hipótesis .....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 Objetivos .....</b>	<b>13</b>
1.4.1 Objetivo general.....	13
1.4.2 Objetivo específico:.....	14
<b>1.5 Justificación.....</b>	<b>14</b>
<b>1.6 Limitaciones .....</b>	<b>15</b>
<b>1.7 Estado del Arte .....</b>	<b>15</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Reproducción bovina .....</b>	<b>18</b>
<b>Inseminación artificial. ....</b>	<b>18</b>
2.1.2 Identificación de etapa reproductiva.....	18
2.1.2 Espermatozoides.....	18
<b>2.2 Recolección de semen. ....</b>	<b>18</b>
2.2.1 Vagina artificial. ....	19
2.2.2 Electroestimulación. ....	19
<b>2.3 Evaluación seminal.....</b>	<b>19</b>
2.3.1 factores de análisis de la calidad del semen .....	19
2.3.2 Concentración espermática. ....	19
2.3.3 Motilidad .....	19
2.2.4 Viabilidad .....	20
2.2.5 Morfología .....	20
<b>2.2 Procesamiento digital de imágenes .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1 Definición de Imagen .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.3 Imagen digital .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4 Pixel.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4 Imagen a color .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3. Visión por computadora .....</b>	<b>22</b>

<b>2.4. Máquinas de aprendizaje.</b>	<b>22</b>
2.4.1 Tipos de aprendizaje	23
2.4.2 Aprendizaje supervisado	23
2.4.3 Aprendizaje no supervisado.	24
2.4.3 Aprendizaje reforzado	24
<b>2.5. Redes neuronales</b>	<b>24</b>
2.5.1 redes neuronales básicas	26
2.5.2 Función de activación	26
2.5.3 Funciones de pérdida	30
2.6 Redes neuronales convolucionales	30
2.6.1 Convolución	31
2.7 Segmentación semántica	32
2.8 Arquitecturas de redes convolucionales para imágenes	32
<b>2.9 U-Net</b>	<b>33</b>
2.9.1 Reducción	34
<b>2.10 seguimiento</b>	<b>35</b>
2.10.1 flujo óptico	35
<b>III. Metodología</b>	<b>36</b>
<b>3.1 Conversión de video a imágenes</b>	<b>37</b>
<b>3.2 Enmascarado de imágenes.</b>	<b>38</b>
<b>3.3 Red neuronal</b>	<b>41</b>
<b>3.4 Entrenamiento</b>	<b>43</b>
<b>3.5 Seguimiento de trayectorias.</b>	<b>48</b>
<b>3.5.2 Aplicación de flujo óptico</b>	<b>48</b>
<b>VI. Resultados</b>	<b>49</b>
<b>4.1 Entrenamiento de red neuronal</b>	<b>49</b>
<b>4.2 seguimiento</b>	<b>55</b>
<b>V. Conclusiones</b>	<b>61</b>
<b>VI. Referencias bibliografía</b>	<b>62</b>

Indice de Figuras

Figura 1: Pixel .....	21
Figura 2 red neuronal basica .....	25
Figura 3 Red nueronal multicapa .....	25
Figura 4 Funcion lineal.....	26
Figura 5 Función sigmoidal.....	27
Figura 6 Funcion relu .....	28
Figura 7 Funcion tanh .....	29
Figura 8 Función softmax .....	29
Figura 9 Red neuronal convolucional .....	31
Figura 10 Convolución .....	32
Figura 11 U-net.....	34
Figura 12 Diagrama de flujo de la metodología .....	36
Figura 13 Imagen microscoopica del semen .....	38
Figura 14 Area de trabajo en apeer .....	39
Figura 15 Etiquetado poligonal .....	40
Figura 16 Etiquetas.....	41
Figura 17 U-Net con imagen a segmentar como entrada.....	42
Figura 18 Imagen de entrenamiento 1 .....	43
Figura 19 Imagen de entrenamiento 2.....	44
Figura 20 Imagen de entrenamiento 3.....	44
Figura 21Imagen de entrenamiento 4.....	45
Figura 22 Imagen de entrenamiento 5.....	45
Figura 23 Imagen de entrenamiento 6.....	46
Figura 24 Imagen de entrenamiento 7.....	46
Figura 25 Imagen de entrenamiento 8.....	47
Figura 26 Imagen de entrenamiento 9.....	47
Figura 27 Imagen de entrenamiento 10.....	48
Figura 28 Precisión de entramiento y validación .....	49
Figura 29 Error de entrenamiento.....	50
Figura 30 Imagen resultante de predicción.....	51
Figura 31 Imagen resultante de predicción.....	52
Figura 32 Imagen resultante de predicción.....	52
Figura 33 Comparativa de imagen original con predicción.....	54
Figura 34 Dibujo de trayectorias en video 1 .....	55
Figura 35 Dibujo de trayectorias en video 2 .....	56
Figura 36 Dibujo de punto de obejtos .....	57
Figura 37 bijuto de punto objeto y trayectoria.....	57
Figura 38 Seccion 1 de video con trayectoria.....	58
Figura 39 Seccion 2 de video con trayectoria.....	59
Figura 40 Seccion 3 de video con trayectoria.....	59
Figura 41 Seccion 4 de video con trayectoria.....	60



Indice de tablas

Tabla 1 Principales entidades federativas productoras de ganado bovino (2019) . 12

Tabla 2 Clasificación de calidad del semen ..... 20

## Resumen

Durango es el cuarto lugar en la producción ganadera colocándolo como uno de los principales productores en dicha área, la ganadería es una actividad que busca una alta calidad en la producción de la inseminación artificial, es uno de los métodos más efectivos al momento de reproducir el ganado y mejorar su calidad. Sin embargo, es un método costoso y que no es de fácil acceso para todos los productores. Por lo tanto, se buscan métodos para que los productores tengan mejores herramientas para analizar sus bovinos e identificar si están cumpliendo con la calidad requerida para el mercado actual y obtener mayores beneficios, esto se traduce en beneficio tanto como para el productor, así como para la región.

En el presente proyecto se propone un sistema que, por medio de videos microscópicos de muestras de semen de ganado bovino se detecte a los espermatozoides presentes en la muestra y se analiza el movimiento de cada uno de ellos, para poder determinar la calidad del semen y consecuentemente, sus probabilidades de fertilización. Este sistema está conformado por técnicas de visión artificial y máquinas de aprendizaje usando una red neuronal de tipo convolucional basada en una arquitectura U-Net, la cual segmenta los espermatozoides en las imágenes, implementando algoritmos de seguimiento de objetos para determinar su movilidad, el cual tiene como propósito ofrecer alternativas a los sistemas CASA convencionales, que resultan poco accesibles para la mayoría de los productores especialmente a productores locales.

## **I DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1.1 Introducción**

En la ganadería la reproducción es uno de los temas centrales y para el desarrollo de esta industria, para lograr una buena producción de sus cabezas de ganado, en la búsqueda de una mejor producción y de mejorar la calidad de sus animales y se utilizan métodos de mejoramiento genético dónde se encuentra la inseminación artificial, para ello la calidad del semen bovino es uno de los determinantes más importante en que enfocarse.

El avance en la tecnología actualmente y con el fin de lograr mejores resultados se hace una unión entre las tecnologías biológicas e informáticas con el fin de desarrollar herramientas que faciliten el proceso en la detección de calidad analizar y detectar problemas en los espermatozoides con una mayor precisión.

Busca encontrar una solución efectiva innovadora y accesible y para los productores de ganado que no pueden acceder a algunas de las tecnologías existentes en el mercado pero que debido a su accesibilidad ya sea de costos o de disponibilidad en la región que no se puede tener acceso a ellas.

### **1.2 Definición del problema.**

La ganadería es una de las principales actividades económicas de México, encontrándose en los primeros lugares a nivel mundial en la producción de ganado bovino (Servicio de información agroalimentaria y pesquera, 2018), así mismo según el INEGI Durango se encuentra entre los estados con más producción de ganado bovino en el país (Cuentame de mexico, INEGI. ) también se encuentra como los principales productores de ganado para exportación hacia los estados unidos (Secretaría de agricultura ganaderia y desarrollo rural , 2023).

<b>Entidad federativa</b>	<b>Número de cabezas</b>
Veracruz de Ignacio de la Llave	4,571,170
Jalisco	2,727,961
Chiapas	2,072,083
Durango	1,931,043
Chihuahua	1,845,995
Tabasco	1,710,001
Oaxaca	1,464,178
Guanajuato	1,140,685
Tamaulipas	1,043,369
San Luis Potosí	1,021,808
Coahuila de Zaragoza	772,705
Nayarit	745,292
Nuevo León	687,521
Campeche	650,403
Estado de México	584,168
Hidalgo	524,057
Puebla	465,189
Querétaro	333,517
Baja California	282,583
Colima	240,680
Baja California Sur	155,195
Quintana Roo	90,310
<b>Nacional</b>	<b>34,037,141</b>

*Tabla 1 Principales entidades federativas productoras de ganado bovino (2019)*

FUENTE: INEGI. Encuesta Nacional Agropecuaria 2019

La ganadería es una actividad que busca un alto índice de calidad en los bovinos, especialmente si se trata de ganado para exportaciones, por este motivo se busca mejorar la calidad del ganado por medio de la reproducción. Una de las opciones que se tiene para mejorar la calidad genética es la inseminación artificial (Alejandra et al., 2017).

La inseminación artificial es un método muy utilizado para la reproducción de bovinos en búsqueda de mejorar la calidad del ganado y aumentar las probabilidades de fertilización (Alejandra et al., 2017). sin embargo, los costos de esta técnica pueden ser elevados y se necesitan condiciones especiales para

realizarla, como el método de recolección del semen, el almacenamiento y criogenización, así como elementos para la recolección y tratamiento para mantener en óptimas condiciones el semen y se requiere de personal especializado en esta práctica. Por tal motivo su uso se limita a grandes industrias ganaderas, en donde los pequeños productores locales se ven rezagados al no tener estas herramientas de una forma más accesible que les ayude a elevar la calidad de su ganado y aumentar las probabilidades de fertilización del ganado.

## **1.2 Preguntas de Investigación**

¿Cómo se puede determinar la calidad del semen de ganado bovino por medio de imágenes analizando sus características de movilidad?

Específicas

¿Cuáles elementos de la imagen digital se tienen que analizar para determinar la calidad?

¿Qué utilidad tiene la morfología de los espermatozoides para el procesamiento de imágenes?

¿Qué importancia tienen las máquinas de aprendizaje aplicadas en imágenes para la determinación de la calidad del semen?

## **1.3 Hipótesis**

La aplicación de procesamiento de imágenes y máquinas de aprendizaje puede determinar la calidad de los espermatozoides de bovino criogenizados para inseminación artificial.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Desarrollar un algoritmo que aplique técnicas de procesamiento de imágenes y métodos de máquinas de aprendizaje para determinar la calidad de los espermatozoides criogenizados de bovinos en muestras de esperma de ganado bovino registradas en videos mediante el uso de un microscopio digital.

#### **1.4.2 Objetivo específico:**

- Identificar espermatozoides en las imágenes estáticas que componen varios videos de muestras de esperma de ganado bovino, utilizando técnicas de procesamiento de imágenes
- Determinar el movimiento de los espermatozoides en los videos de las muestras de esperma de ganado bovino

Trazar trayectoria de los espermatozoides en un video de una muestra de esperma de ganado bovino, mediante la identificación cuadro por cuadro de cada uno de los espermatozoides y su desplazamiento en el tiempo.

#### **1.5 Justificación**

El utilizar el procesamiento de imágenes y la implementación de máquinas de aprendizaje para determinar la calidad de espermatozoides criogenizados pretende dar apertura al uso de estas herramientas en los productores locales, para un mayor aprovechamiento de su ganado y la reproducción, así como de los recursos económicos invertidos en estos fines, lo cual proporciona mayor competitividad comercial, ya sea de la región o del país lo que permite dar un realce a la producción ganadera, ya que actualmente los estándares para la industria ganadera aumentan constantemente y se pide una calidad muy alta en sus productos, lo cual pocos productores pueden alcanzar esos estándares y más si se trata para exportación.

A pesar de que ya existen métodos para el análisis de la calidad del esperma de ganado bovino de forma computarizada, su acceso es muy limitado debido al costo de estos sistemas; existen distintas compañías que desarrollan sistemas de computadora comerciales que permiten estos procesos por ejemplo el laboratorio ZOITECH cuenta con su sistema ISASPBos, ISPERM, Hamilton Thorne que cuenta con productos como el IVOS II, CEROS II, TOX IVOS II. Por mencionar algunos de los sistemas CASA que se encuentran en el mercado actual. Por este motivo se

busca generar un sistema de fácil acceso y eficaz para la determinación de la calidad del ganado bovino que pueda ser utilizado en conjunto con la inseminación artificial para el mejoramiento del ganado y como resultado una mejor y mayor producción de ganado en pie y de carne. La forma en la que se busca trabajar es aprovechar las características morfológicas de los espermatozoides, para determinar sus trayectorias y velocidad que son dos de los factores más importantes en la calidad del esperma de ganado bovino.

El uso de esta herramienta además de reducir costos, podría generar una mayor ganancia sobre la venta del ganado trayendo como consecuencia un bienestar económico para la región donde se estén aplicando.

## **1.6 Limitaciones**

Durante el desarrollo de esta investigación encontraremos limitaciones al realizar las pruebas, se cuenta con un número limitado de videos para realizar las pruebas para analizar, así como también mencionar que las muestras no se encuentran en las condiciones ideales algunas de ellas pueden tener imperfecciones de las condiciones en las que se tomaron las pruebas, lo cual puede desarrollar inconvenientes al desarrollar las técnicas de procesamiento de imágenes y máquinas de aprendizaje.

El equipo de cómputo puede ser deficiente ante el procesamiento el cual no podrá ser realizado en tiempo real.

Otra de las limitaciones es que se desconoce la raza de toro con el que se está trabajando y no se puede llevar un control exacto dependiendo de la raza lo cual puede mostrar cambios en la calidad según la raza.

## **1.7 Estado del Arte**

Dentro de la reproducción bovina la motilidad es uno de los parámetros analizados para medir la calidad del semen, en el los trabajos de (Palacín et al., 2013) , menciona que la motilidad proporciona información importante sobre el estado activo de los espermatozoides, ya que estos movimientos son de gran importancia para que se pueda realizar la fertilización.

También en trabajos posteriores, (Nagata et al., 2019) menciona que la motilidad es de los factores más importantes para predecir la calidad en los espermatozoides bovinos.

En los parámetros de análisis del semen criogenizado (Vincent et al., 2012) menciona que después de la congelación la motilidad y la morfología son generalmente los parámetros a analizar, de manera manual o de forma computarizada. baja de motilidad presenta limitaciones al fecundar el óvulo de la vaca. (Seshoka, M.,2016)

Actualmente el uso de sistemas computarizados para el análisis de esperma va en ascenso, así como también el desarrollo de nuevos sistemas y algoritmo que mejoren sus resultados, el uso de nuevos sistemas de detección de objetos, algoritmos de seguimientos, así como la implementación de tecnologías como la inteligencia artificial, y las variantes que se pueden encontrar dentro de ellas.

El uso de las redes neuronales convolucionales ha impulsado el desarrolló de diversos trabajos sobre el análisis de espermatozoides, no solo limitándose al área veterinaria, sino también al área de reproducción humana.

(Hicks et al., 2019) utilizó el aprendizaje profundo (que es un subconjunto de la inteligencia artificial), por medio de redes neuronales convolucionales para predecir la fertilidad de semen humano, utilizando como parámetros de la motilidad del espermatozoide, se utilizaron Videos microscópicos, aplicando distintas arquitecturas de redes neuronales, DenseNEt26, ResNet27 e incetion28, así como el algoritmo de seguimiento flujo óptico.

El uso de distintas arquitecturas de redes neuronales convolucionales se ha popularizado, con algunos algoritmos pre entrenados como el algoritmo mejor conocido por vocablo en inglés como “You Only Look Once” (YOLO), que en español quiere decir Solo lo Ves Una Vez, el cual ha sido utilizado en el trabajo de (Hidayatullah et al., 2021) dónde compara el algoritmo YOLO, en su versión V3 y V4 para la detección de objetos el cual es el esperma de bovinos, buscando una variante las formas tradicionales de procesamiento de imágenes, ahora utilizando el aprendizaje profundo a través del algoritmo YOLO.



El uso de distintas arquitecturas neuronales se popularizó en el ámbito biomédico, principalmente con la arquitectura de redes neuronales convolucionales tipo U-NET desarrollada por (Ronneberger et al., 2015), presentando un nuevo modelo de decodificación en cada pixel. Seguido de estos trabajos surgieron algunas variantes aplicadas en esta arquitectura, que se pueden encontrar en la publicación de (Punn & Agarwal, 2022)

## **II. MARCO TEÓRICO**

Debido a que el problema tratado en este estudio se compone de distintos elementos que tienen que ser complementados, se necesita comprender el área de aplicación donde serán utilizadas las herramientas que serán aplicada en conjunto para llegar a un resultado.

### **2.1 Reproducción bovina**

#### **Inseminación artificial.**

La inseminación artificial es una técnica de reproducción en la que consiste en que el semen previamente extraído del toro, se introduce en el sistema reproductor de la hembra, con ayuda de personal especializado el que cuenta con el equipo de inseminación y los conocimientos necesarios para esta labor como la identificación de la etapa reproductiva de la vaca llamado estro.

#### **2.1.2 Identificación de etapa reproductiva.**

El ciclo reproductivo de una vaca es llamado ciclo estral se presenta en intervalos de 21 días, este ciclo se divide en cuatro etapas: estro, metaestro, diestro, proestro. El estro es la etapa en la que la hembra se muestra receptiva a la monta del macho, la hembra presenta conductas de apareamiento, por efecto de las hormonas producidas en esta etapa, el estro tiene una duración de 12 a 18 horas. La forma de saber si la hembra se encuentra en estro es debido a su comportamiento con una conducta más activa, aumento en su caminar, el intento de monta hacia otras vacas, y la recepción de intento de monta, también presenta cambios fisiológicos en los genitales, el principal indicador de estro es cuando la hembra acepta la monta.(Hernández & Ortega, 2009)

#### **2.1.2 Espermatozoides**

El espermatozoide es la célula sexual masculina que proporciona información genética, está conformado por cabeza que está conformada por el acrosoma, el núcleo y la membrana plasmática, el cuello y finalmente la cola

### **2.2 Recolección de semen.**

Existen dos métodos para la recolección de semen de ganado bovino en los que se encuentran como los más usados el método de la vagina artificial y el método de electroestimulación.

**2.2.1 Vagina artificial.** El método en la vagina artificial consiste en un receptáculo de goma, en el que se ven inmersos un operario una vaca y un toro en lo que se hace una monta asistida por medio del operario usando la vaca como un excitador, donde el toro llega hacer la monta y el operario introduce la vagina artificial recopilando el semen del toro.

### **2.2.2 Electroestimulación.**

La electroestimulación se lleva a cabo por medio de un electrodo el cual es introducido en el recto del Toro al cual se transmite una corriente eléctrica la que estimula cierta área genital la que permite que el toro eyacule.

## **2.3 Evaluación seminal**

La evaluación seminal se lleva a cabo con el fin de proporcionar la mayor información del semen sobre la calidad el semen y si concentración espermática, con el objetivo de predecir la capacidad de fertilización.

### **2.3.1 factores de análisis de la calidad del semen**

Existen unos determinantes que clasifican la calidad de las pruebas de semen bovino entre estos se encuentran la concentración, motilidad masal, y motilidad total, así como morfología.

### **2.3.2 Concentración espermática.**

La concentración se entiende como el número de espermatozoides presentes en el semen, el conteo se lleva a cabo por medio de una cámara de conteo neuber. También el conteo se puede llevar a cabo mediante sistemas computarizados de análisis de espermatozoides.

### **2.3.3 Motilidad**

La motilidad es una evaluación de movilidad del espermatozoide, la cual se divide en dos, la motilidad masal y la motilidad progresiva.

La motilidad masal se cuantifica en una escala de cero al cinco, presentando movimientos en forma de remolinos, cuando el valor es 0 quiere decir que no se observa movimiento, y en el cinco se presentan movimientos rápidos en la masa del semen. (Ávalos et al., 2018)

La motilidad progresiva se determina por movimientos rápidos y rectos, la cual se puede clasificar como muy buena, buena, regular y pobre, que cada una cuenta con porcentaje que corresponde:

<b>Clasificación</b>	<b>Porcentaje</b>
Muy buena	80 - 100%
Buena	60 - 79%
Regular	40 - 59%
Pobre	Menor a 40%

*Tabla 2 Clasificación de calidad del semen*

Fuente: (Ávalos et al., 2018)

#### **2.2.4 Viabilidad**

La viabilidad espermática se refiere al número de espermatozoides vivos

Tiene que tener un porcentaje mayor a 58 % de espermatozoides vivos.

#### **2.2.5 Morfología**

La morfología es considerada una de las principales características del espermatozoide ligadas a la relación de fertilidad, la forma normal del espermatozoide consta de una cabeza ovalada, cuello y cola, (Ávalos et al., 2018) menciona que la cabeza entre 3 a 8 nm de longitud y de ancho de 2 a 4 nm, la parte media mide entre 7 a 8 nm, en un espermatozoide normal la cola tiene que ser delgada y no enrollada con una longitud de 45 a 60 nm.

El semen se considera de buena calidad cuando cumple con una 70 por ciento de espermatozoide con morfología normal.

Existe una clasificación malformaciones en la morfología de espermatozoides, en las que se puede encontrar la forma y tamaño de la cabeza, doble cabeza, cabeza desprendida, acrosoma desprendido, cola quebrada o enrollada

## **2.2 Procesamiento digital de imágenes**

### **2.2.1 Definición de Imagen**

“Una imagen se puede definir como una función bidimensional  $f(x, y)$  donde  $x$ ,  $y$  son coordenadas espaciales (planas), y la amplitud de  $f$  cualquier par de coordenadas  $(x, y)$  es llamada la intensidad o niveles de grises de la imagen en un punto. Cuando  $x$ ,  $y$  y el valor de intensidad de  $f$  son todas cantidades finitas

discretas, las llamamos a la imagen como una imagen digital". (Gonzalez & Woods, 2018)

### 2.2.3 Imagen digital

Una imagen digital  $f(x, y)$  que ha sido discretizada en las coordenadas espaciales, así como en los valores de intensidad, se representa mediante una matriz o serie de matices en dos dimensiones para cada banda de color

la matriz es creada por una elementos llamados pixel la cual se conforma por cientos de pixeles, por lo cual la matriz conformada se observa de la siguiente manera (Petrou & Petrou, 2010) :

$$f(x, y) \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,N) \\ f(2,1) & f(2,2) & \dots & f(2,N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(N,1) & f(N,2) & \dots & f(N,N) \end{bmatrix}$$

### 2.2.4 Pixel

Un pixel es son los elementos de la matriz con las que se conforman las imágenes. Por lo que bajo estos términos a mayor número de pixeles se obtiene más información de la imagen mostrada, datos que son de gran utilidad para la aplicación en visión artificial.(Petrou & Petrou, 2010)

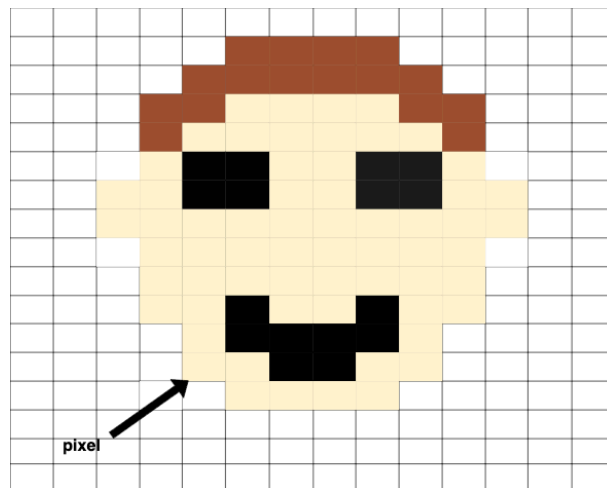


Figura 1: Pixel

Fuente: Creación propia

#### **2.2.4 Imagen a color**

Se entiende al color como un espectro electromagnético reflejado en los objetos, el espectro se divide en 6 regiones los que abarcan el violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo. Por características de la anatomía humana el humano visualiza como una combinación de los que son llamados primarios, lo que consisten en el color rojo con un valor estandarizado en nanómetros de 700 nm, verde 546.1nm y azul 435.8nm, que comúnmente se abrevia RGB por sus siglas en ingles Red, Green y Blue .los modelos de colores mas utilizados para el procesamiento de imágenes se encuentra el RGB, CMY y CMYK

EL MODELO RGB una imagen en RGB está compuesta por tres elementos tres imágenes que sean sobrepuestas entre sí

#### **2.3. Visión por computadora**

La visión por computadora se deriva de la inteligencia artificial, que por medio de algoritmos con los que trata de llegar a resultados similares a los de la visión humana.

La visión por computadora consiste en la recopilación automatizada de información por medio de imágenes, la cual puede provenir a través de modelos de imágenes, posiciones de cámara, detección de objetos y agrupación de contenido. La visión por computadora trata de imitar la visión humana, mediante los datos y estadística, utilizando la geometría como un objetivo principal.(Solem, 2012.)

#### **2.4. Máquinas de aprendizaje.**

Las máquinas de aprendizaje se pueden entender como la estadística aplicada utilizando de por medio la computadora para la resolución de funciones estadísticas complejas.

La mayor parte de los algoritmos de aprendizaje automático se concentran en dos grupos, el aprendizaje supervisado y el aprendizaje no supervisado (Goodfellow et al., 2016)

Se define como “el subcampo de la inteligencia artificial que proporciona a los ordenadores la capacidad de aprender sin ser explícitamente programados, es decir, sin que estos necesiten que el programador indique las reglas que deben

seguir para lograr su tarea, sino que la hace automáticamente.” (Torres, 2020) Una forma de comprender el aprendizaje automático es en el desarrollo de algoritmos para un problema específico a partir de la predicción, los algoritmos son desarrollados por medio de datos de entrada con los que aprenden al reconocer patrones o comportamientos en los datos los cuales ayudan a predecir los resultados (Torres, 2020)

El aprendizaje automático permite realizar tareas de alta dificultad por medio de un programa diseñado y escrito por personas. Se menciona que “el proceso de aprendizaje en si no es la tarea, el aprendizaje es nuestro medio para alcanzar la capacidad de realizar la tarea”. (Torres, 2020)

Dentro de las capacidades para la resolución de tareas en el aprendizaje automático se pueden encontrar soluciones tales como: 1) la clasificación, regresión, 2) transcripción, 3) traducción. 4) salida estructurada, 5) detección de anomalías, 6) síntesis y muestreo, 7) imputación de valores faltantes, y 8) estimación de densidad, entre otras tareas.

#### **2.4.1 Tipos de aprendizaje**

Dentro del aprendizaje automático podemos encontrar una Clasificación de algoritmos de aprendizaje cada uno procesan los datos de entrada de forma distinta para realizar las predicciones, dentro de este campo se encuentra el aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y aprendizaje reforzado.

#### **2.4.2 Aprendizaje supervisado**

El aprendizaje supervisado se origina de los objetivos sean proporcionados por un instructor, donde éste le indica al sistema de aprendizaje automático la tarea que se tiene que realizar. (Goodfellow et al., 2016.)

El aprendizaje supervisado son algoritmos que utilizan la supervisión de un humano, esto quiere decir que las maquinas aprenden a través de la entrada de información. Las cuales son sometidas a algoritmos de conciencia, se experimenta al recibir un

conjunto de datos característicos ligado a una identificación por cual de proporciona las características que identifican los datos.

Cuando se habla de aprendizaje supervisado se refiere a que los datos de entrenamiento nos indican la respuesta esperada dentro de la predicción, estos datos se les nombra etiqueta, por el cual el modelo aprende a través de esta etiqueta en una ruta de una entrada y una salida. (Torres, 2020)

#### **2.4.3 Aprendizaje no supervisado.**

Se analiza un conjunto de datos de distintas características, donde se aprenden solo las características útiles de los datos proporcionados.

En el aprendizaje supervisado no encontramos supervisión humana en el proceso de aprendizaje el algoritmo se adecúa a un sistema de aprendizaje sin orientación en el cual tiene que dar sentido a los datos procesados (Goodfellow et al., 2016.)

Cuando se habla de aprendizaje no supervisado se refiere a que los datos no se encuentran etiquetados, por lo que el modelo debe de entrenar datos no vistos con anterioridad, sino que va ajustando el modelo de entrenamiento en función a cada predicción realizada. (Torres, 2020)

#### **2.4.3 Aprendizaje reforzado**

En el aprendizaje reforzado el modelo se implementa en espacios desconocidos y el algoritmo debe determinar las acciones a través de prueba y error (Torres, 2020)

### **2.5. Redes neuronales**

Las redes neuronales se han convertido en una popular técnica de máquinas de aprendizaje

Una red neuronal artificial es una analogía a las neuronas biológicas

Una neurona funciona con la entrada de información, el procesamiento, y la información de salida que se ve procesada en millones de células, la red neuronal artificial funciona de la misma manera, se obtiene información de entrada que se procesa en una red de nodos llamadas neuronas, donde se obtiene una salida (Aggarwal, 2018)



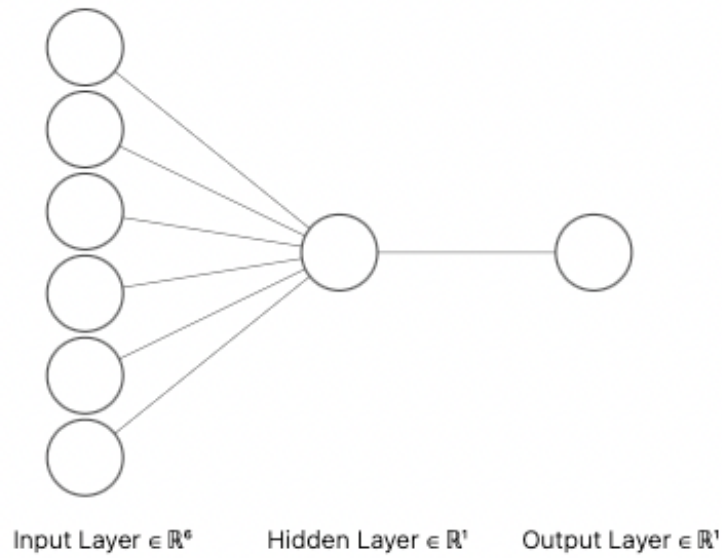


Figura 2 red neuronal basica

Fuente: Creado: <http://alexlenail.me/NN-SVG/index.html>

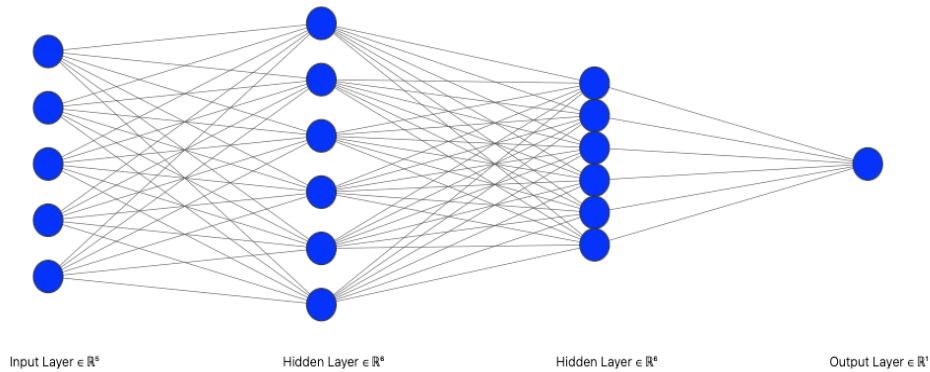


Figura 3 Red nueronal multicapa

Fuente: Creado en : <http://alexlenail.me/NN-SVG/index.html>

Las redes neuronales forman parte de los algoritmos de aprendizaje automático, que tratan de imitar los procesos de aprendizaje del cerebro humano, estos algoritmos funcionan a través de niveles y de extracción de información que procesa y comprende los patrones de los datos introducidos, los datos se pueden entender como elementos, gráficos o señales de audio. (Torres, 2020)

### 2.5.1 redes neuronales básicas

la red neuronal más básica es llamada perceptron y cuenta con solo una entrada y una capa de salida.

### 2.5.2 Función de activación

Una función de activación es la encargada de entregar el valor de salida de la neurona a partir del valor de entrada. Cada capa de que conforma una red neuronal debe de contener una función de activación para poder predecir su salida.

#### Lineal

Lineal la entrada es igual que la salida, cuándo es aplicada en las redes neuronales se dice que sea que fue aplicada una regresión lineal, por lo que la Red neuronal generará un valor.

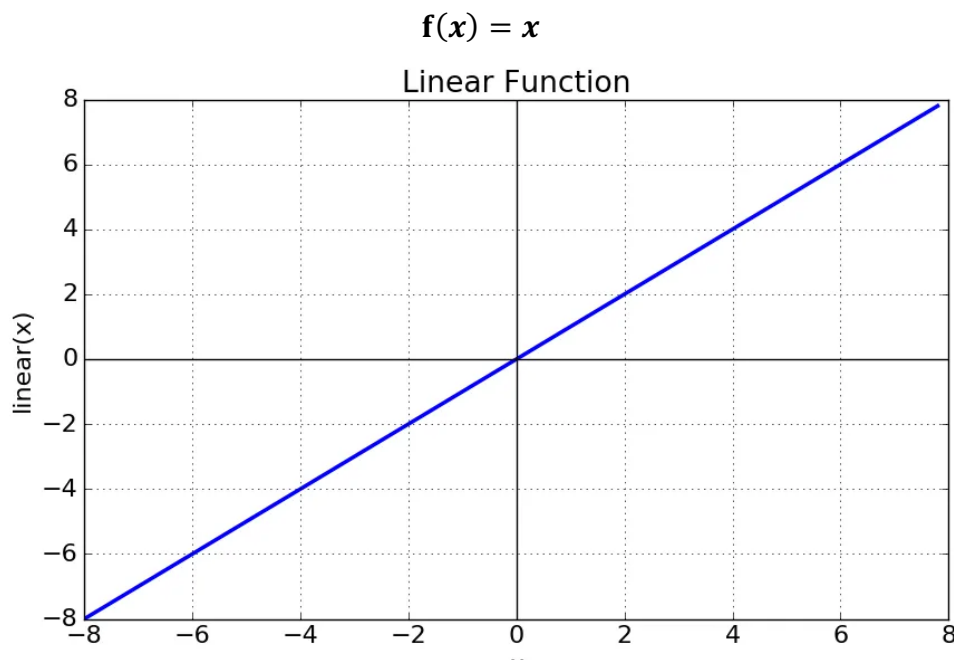


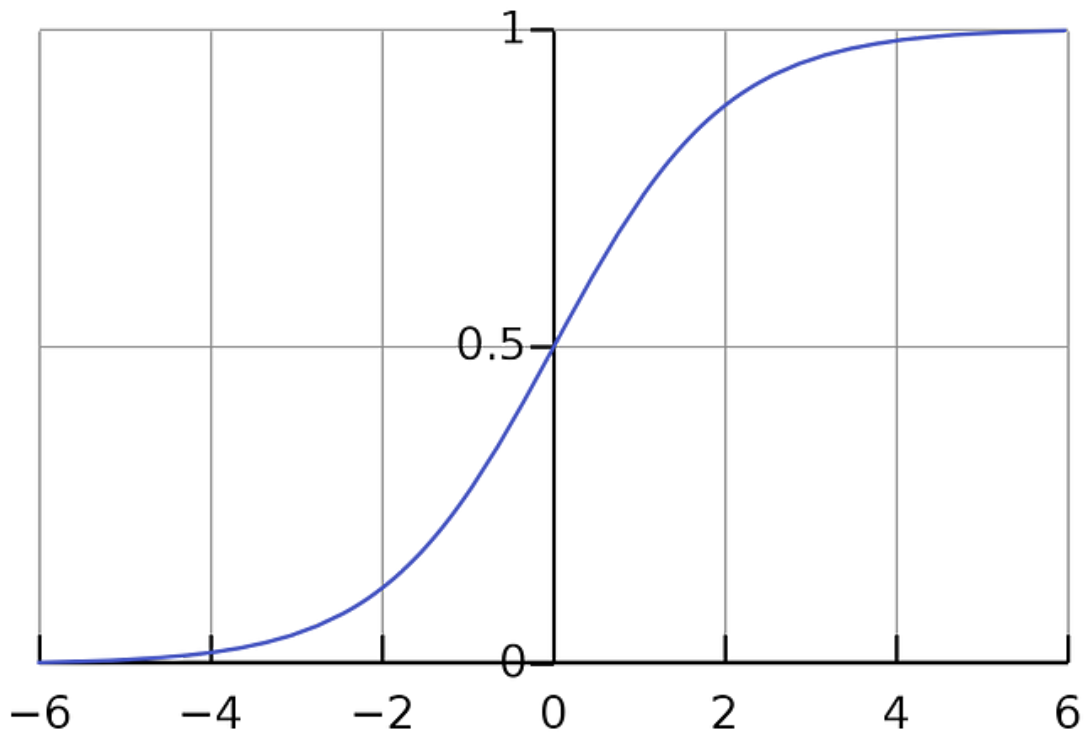
Figura 4 Funcion lineal

Fuente: Obtenido de [https://uploads-ssl.webflow.com/614c82ed388d53640613982e/646371e3bdc5ca90dee5331b\\_convolutional-neural-network%20\(1\).webp](https://uploads-ssl.webflow.com/614c82ed388d53640613982e/646371e3bdc5ca90dee5331b_convolutional-neural-network%20(1).webp)

#### Sigmoid

La función sigmoideal es una función no lineal, que sus valores de salida se encuentran en un rango de 0 y 1, limitando esta función solo al uso en clasificación binaria.

$$\Phi(v) = \frac{1}{1 + e^v}$$



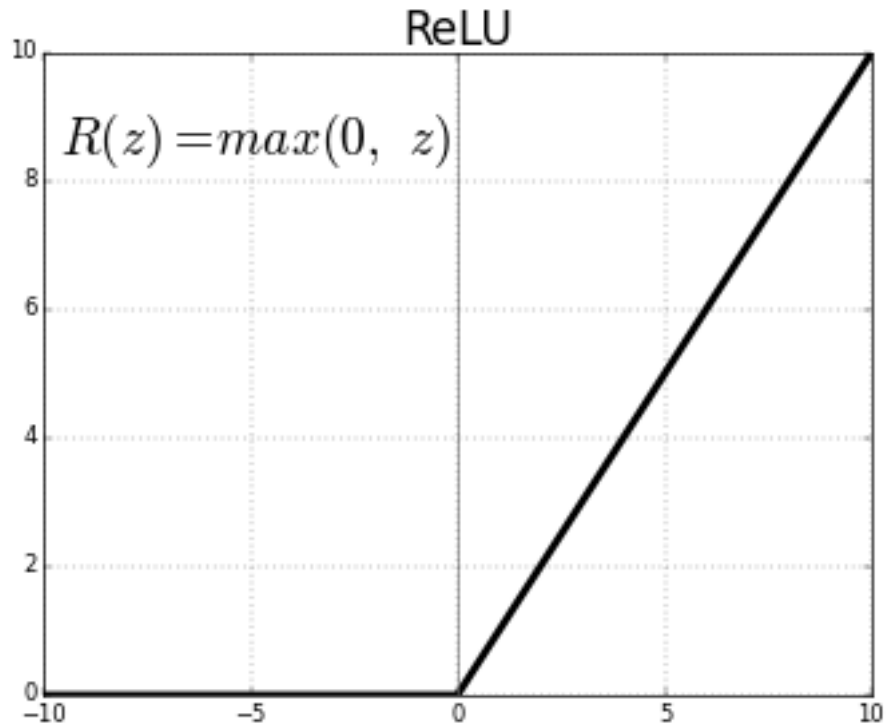
*Figura 5 Función sigmoideal*

Fuente: Obtenido de [https://uploads-ssl.webflow.com/614c82ed388d53640613982e/646371e3bdc5ca90dee5331b\\_convolutional-neural-network%20\(1\).webp](https://uploads-ssl.webflow.com/614c82ed388d53640613982e/646371e3bdc5ca90dee5331b_convolutional-neural-network%20(1).webp)

## Relu

La función Relu que su nombre quiere decir unidad lineal rectificada (rectified linear unit), es una de las más utilizadas en los modelos de Red neuronales actualmente, esta función aporta una salida igual a cero cuando la entrada es negativa y una salida positiva el valor queda. Igual

$$\Phi(v) = \frac{1}{1 + e^v}$$



*Figura 6 Funcion relu*

Fuente: Obtenido de [https://uploads-ssl.webflow.com/614c82ed388d53640613982e/646371e3bdc5ca90dee5331b\\_convolutional-neural-network%20\(1\).webp](https://uploads-ssl.webflow.com/614c82ed388d53640613982e/646371e3bdc5ca90dee5331b_convolutional-neural-network%20(1).webp)

## Tanh

La función tangente hiperbólica, sus valores de salida se encuentra entre -1 y 1, la ventaja de la función Tanh es su sencilla aplicación con nueros negativos

$$\Phi(\mathcal{V}) = \frac{e^z - e^{-z}}{e^z + e^{-z}}$$

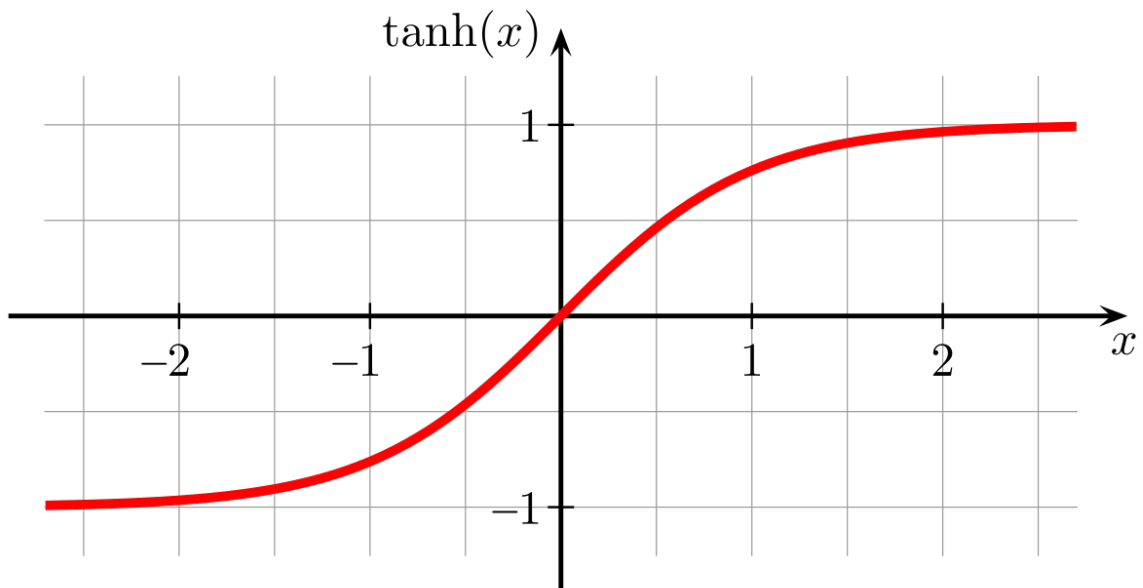


Figura 7 Funcion tanh

Fuente: Obtenido de [https://uploads-ssl.webflow.com/614c82ed388d53640613982e/646371e3bdc5ca90dee5331b\\_convolutional-neural-network%20\(1\).webp](https://uploads-ssl.webflow.com/614c82ed388d53640613982e/646371e3bdc5ca90dee5331b_convolutional-neural-network%20(1).webp)

## Softmax

La función Soft Max es utilizada de normalización, que se implementa siempre en la última neurona de la Red neuronal, normalmente es utilizada para la Clasificación de categorías

$$f(\mathbf{z})_j = \frac{e^{z_j}}{\sum_{k=1}^k e^{z_k}}$$

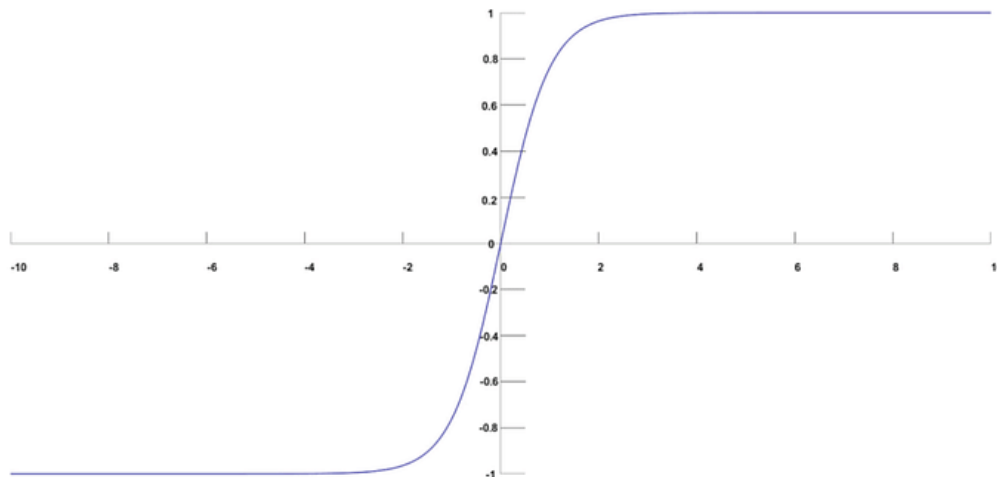


Figura 8 Función softmax

Fuente: Obtenido de [https://uploads-ssl.webflow.com/614c82ed388d53640613982e/646371e3bdc5ca90dee5331b\\_convolutional-neural-network%20\(1\).webp](https://uploads-ssl.webflow.com/614c82ed388d53640613982e/646371e3bdc5ca90dee5331b_convolutional-neural-network%20(1).webp)

### **2.5.3 Funciones de pérdida**

La función de pérdida dentro de la Red neuronal al momento de entrenar la es la que dice cuánto se ha equivocado en la predicción durante el entrenamiento al momento de la salida, que posteriormente estos datos serán utilizados como datos de entrada. Entre las funciones de pérdida más utilizadas se pueden mencionar: “categorical cross entropy”, “Binary Cross Entropy”, “Sparse categorical cross Entropy”, “Mean Square Error”. Cada función se utiliza depende del tipo de datos que se esté utilizando.

categorical cross entropy, se utiliza cuando se tiene mas de de etiquetas, comun mente en conjunto con una funcion de activacion “softmax

Binary Cross Entropy. Esta función se utiliza siempre que se vayan a tener clasificaciones binarias, se suele acompañar de una función de activación sigmoid

Sparse categorical cross Entropy. Se utiliza cuando los valores de la etiqueta esperados serán números enteros.

Mean Square Error. Esta función mide el error medio de los datos, comparando el valor que se ha sido predicho y los datos con los que ya se contaban

### **2.6 Redes neuronales convolucionales**

Las redes neuronales convolucionales también conocidas por sus siglas en inglés como CNN (Convolutional Net Networks) son redes neuronales que se desarrollan topológicamente en una cuadrícula en una capa de 2 dimensiones, como su nombre lo indica es empleado las operaciones matemáticas de convolución, la convolución corresponde a un tipo de la multiplicaciones de matrices a través de capas (Goodfellow et al., 2016.)

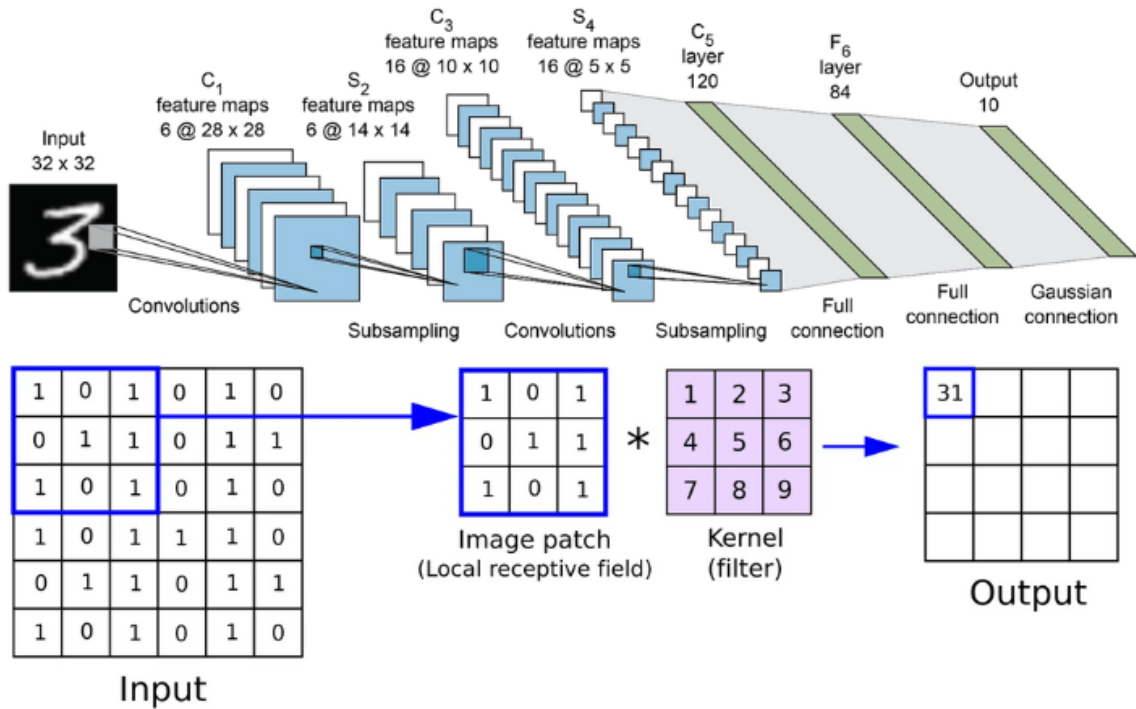


Figura 9 Red neuronal convolucional

Fuente: Obtenido de [https://uploads-ssl.webflow.com/614c82ed388d53640613982e/646371e3bdc5ca90dee5331b\\_convolutional-neural-network%20\(1\).webp](https://uploads-ssl.webflow.com/614c82ed388d53640613982e/646371e3bdc5ca90dee5331b_convolutional-neural-network%20(1).webp)

## 2.6.1 Convolución

La convolución es una operación matemática de dos argumentos en un valor.

Matemáticamente se puede visualizar la convolución como :

$$s(t) = (x * w)(t)$$

Donde se puede entender a  $x$  como el primer argumento de entrada y  $w$  como un núcleo, el tiempo ( $t$ ) cuando se trabaja en computadoras el tiempo es discretizado.

Si  $x$  y  $w$  son definidos por el número entero  $t$  se define una como una convolución discreta, quedando de la siguiente manera:

$$s(t) = (x * w)(t) = \sum_{a=-\infty}^{\infty} x(a)w(t - a)$$

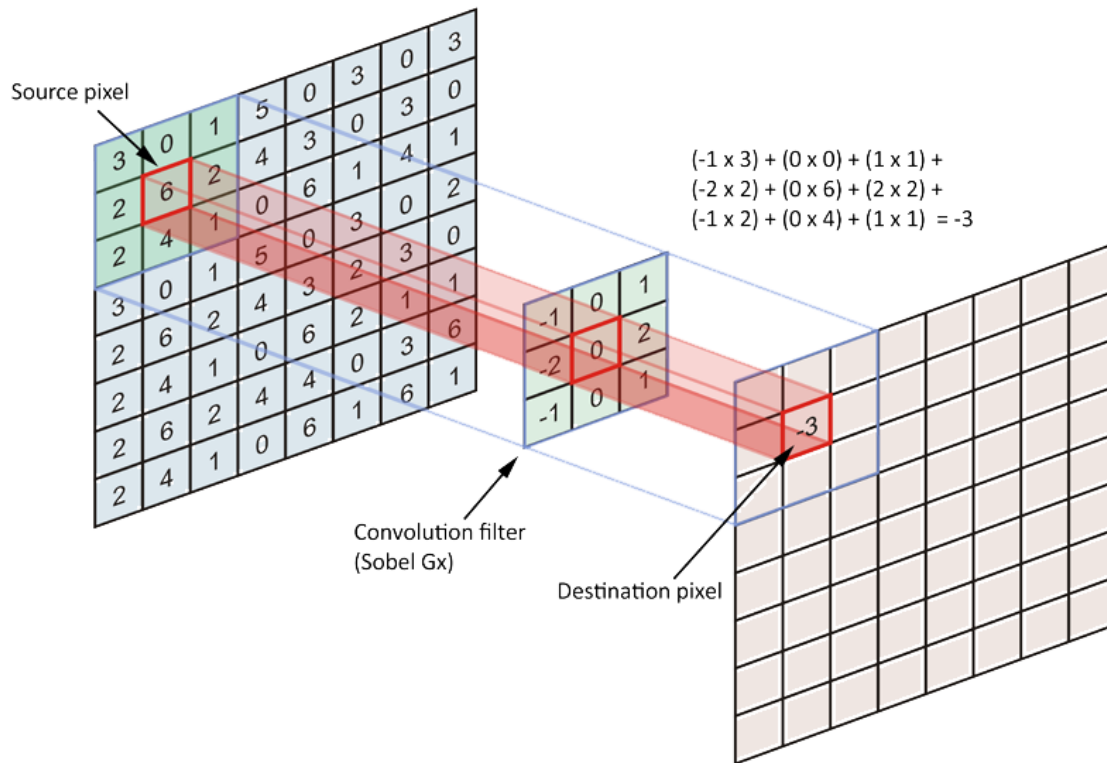


Figura 10 Convolución

Fuente: Obtenida de <https://keepcoding.io/blog/que-es-la-convolucion/>

## 2.7 Segmentación semántica

La segmentación semántica se genera al etiquetar cada pixel de la imagen en categorías, el cual a la segmentación semántica es un algoritmo de Clasificación de objetos muy utilizado en el aprendizaje profundo (Deep Learning), particularmente usando redes neuronales convolucionales las que ayudan a clasificar las imágenes, esto se lleva a cabo mediante el etiquetado de cada pixel de la imagen en categorías, obteniendo la agrupación de pixeles y asignándoles una etiqueta correspondiente a la categoría de cada pixel, puede ser utilizado en múltiples objetos y categorías.

## 2.8 Arquitecturas de redes convolucionales para imágenes

Una arquitectura de red neuronal convolucional, es una estructura de aprendizaje profundo que consta de tres etapas, que se divide en la extracción de información



por medio de la convolución, la agrupación de datos, y la última etapa de aprendizaje de los datos ya extraídos.

Dentro de las arquitecturas de redes neuronales convolucionales se pueden encontrar algunas ya establecidas que constan de diferente número de capas, las más utilizadas son AlexNet, VGGNet, ResNetDense, NetInception, NetXception, U-Net, entre otras, cada arquitectura puede variar entre sus número de capas de convolución y de capas Ocultas.

## **2.9 U-Net**

La arquitectura U-Net es una variación de distintas arquitecturas de redes neuronales convolucionales, aplicada principalmente en la visión artificial donde la imagen es segmentada a través de etiquetas, en donde cada etiqueta corresponde a una categoría, esta arquitectura fue desarrollada específicamente para el área biomédica y probada desde el año 2015, obteniendo buenos resultados.(Ronneberger et al., 2015)

La Red neuronal convolucional está conformada por una parte que consiste en extraer información, la segunda parte consiste en caracterizar y comparar la información obtenida en la extracción, en la primera etapa se extraen las características principales de la imagen que se está entrenando, la segunda etapa que se denomina de expansión la arquitectura U-Net comprueba la información obtenida en la etapa de extracción, haciendo una comparación con base a la etapa anterior de extracción.

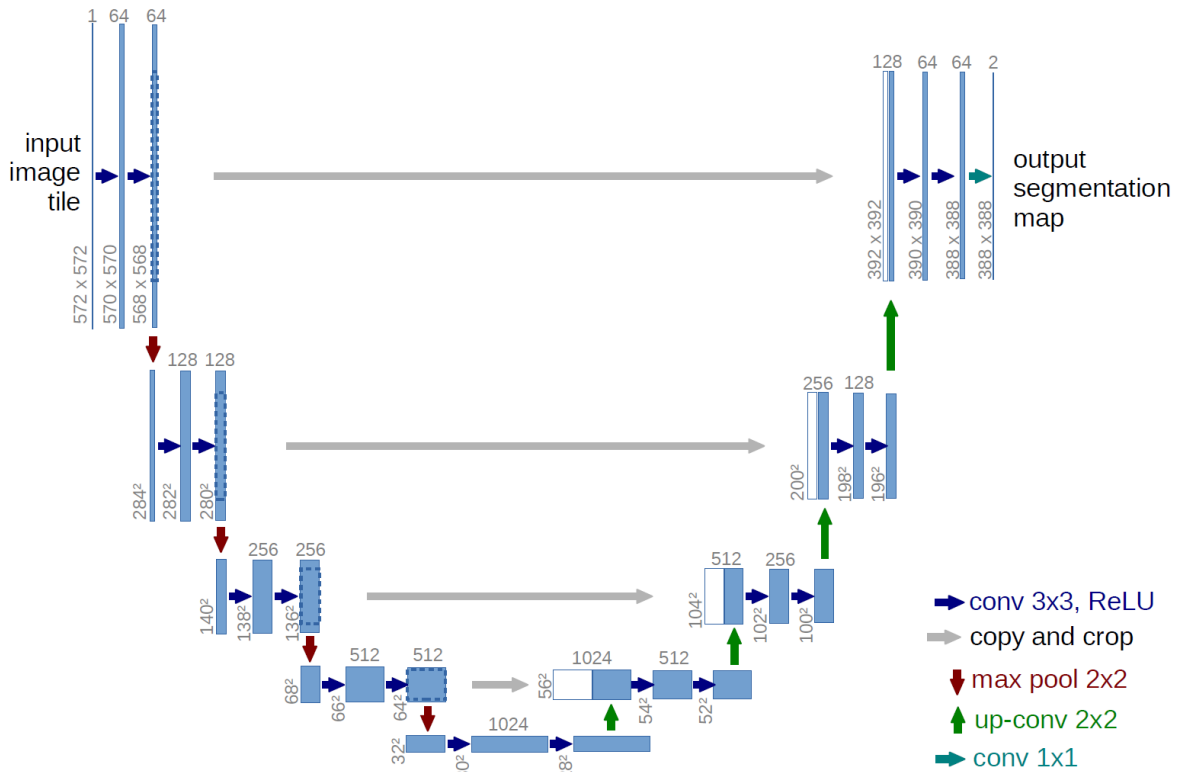


Figura 11 U-net

Fuente: tomada de( Ronneberger et al., 2015)

### 2.9.1 Reducción

La reducción o más conocido por su vocablo en ingles polling consiste en la extracción de características principales en un mapa de bit ya sea por un promedio en el área determinada por la cual pasa una ventana de dimensiones también llamada kernel que este puede ser de diferentes tamaños, en el cual se tomara el máximo valor correspondiente a las dimensiones que contempla el kernel o bien el promedio de este.

## **2.10 seguimiento**

### **2.10.1 flujo óptico**

El flujo óptico consiste el movimiento de objetos en una escena consecutiva de imágenes en un vector campo de dos dimensiones en la traslación de imágenes, las partes que conforman el flujo óptico son tres, la constancia del brillo, la regularidad temporal y la consistencia espacial. Es un modelo adecuado para movimientos cortos y duración de salto imagen relativamente pequeños.(Solem Jan Erik, 2012.)

### III. Metodología

En el siguiente diagrama de flujo se muestran los pasos a seguir, comenzando por la obtención de imágenes, el proceso para llegar a identificar los espermatozoides, el entrenamiento de la red neuronal, hasta llegar a la identificación y seguimiento de los espermatozoides

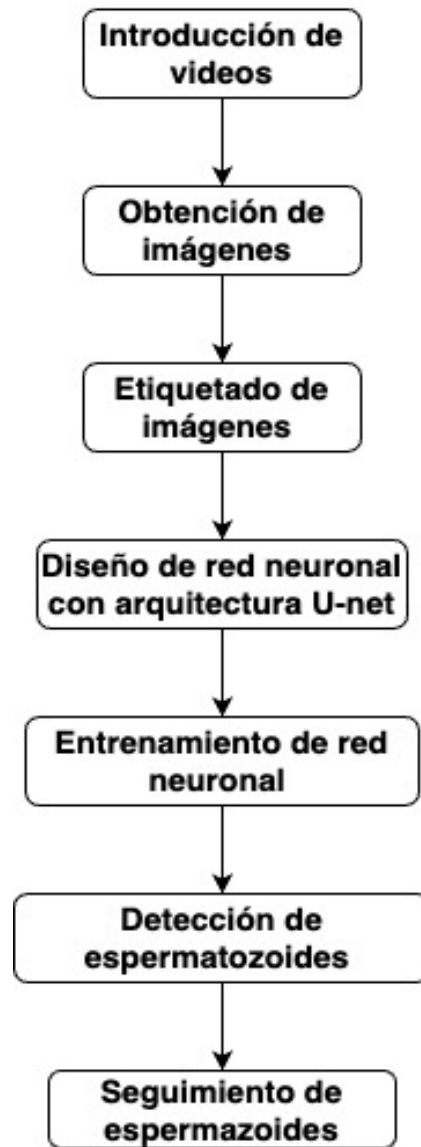


Figura 12 Diagrama de flujo de la metodología

Fuente: Elaboración propia

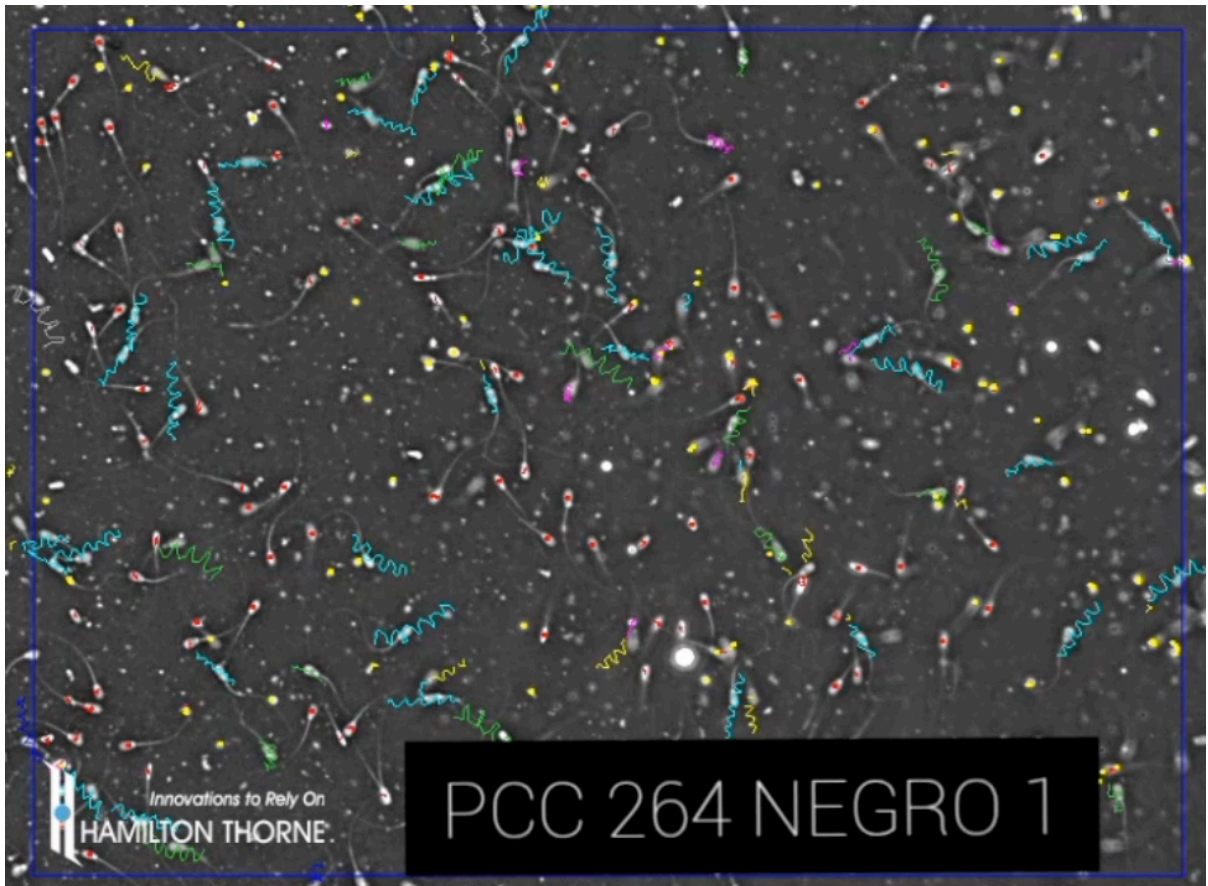
### **3.1 Conversión de video a imágenes**

Los videos utilizados en el desarrollo de este trabajo fueron proporcionados por el centro mejoramiento genético de la unión ganadera del Estado de Durango, estos videos son obtenidos a través de un microscopio y de una cámara acoplada a éste, el cual digitaliza la información vista a través del microscopio y la procesa como una grabación de video.

En el procesamiento de los videos, éstos se tienen que procesar cuadro por cuadro, lo que significa que se tiene que considerar cada imagen por separado para trabajar sobre ellas. Cada segundo de video proporciona 30 imágenes útiles para el entrenamiento y validación de la red neuronal, lo que representa una gran cantidad de información que no necesariamente implica una mayor necesidad de recursos computacionales, además cada fotograma contiene información diferente a pesar de proceder del mismo video, lo cual ofrece una ventaja para el entrenamiento de la red neuronal.

Se creó un código en el lenguaje de programación Python (utilizando la librería OpenCV (Ooms J, 2023)), el cual permite introducir un video y descomponerlo en las diferentes imágenes que conforman este video, para posteriormente ser guardadas en una carpeta destinada almacenar las imágenes,

De los cuatro videos con los que se cuenta, se recopilaron 40 imágenes destinadas a ser utilizadas para el entrenamiento y validación de la red, cabe mencionar que las imágenes de entrenamiento no son imágenes sucesivas de un mismo video, con el propósito de evitar un posible sesgo en el entrenamiento de la red neuronal.



*Figura 13 Imagen microscopica del semen*

Fuente: Imagen extraída de video captura obtenida en el centro de mejoramiento Genético Ganadero de Durango, cortesía de M.V.Z Daniel Ayón Nogueira.

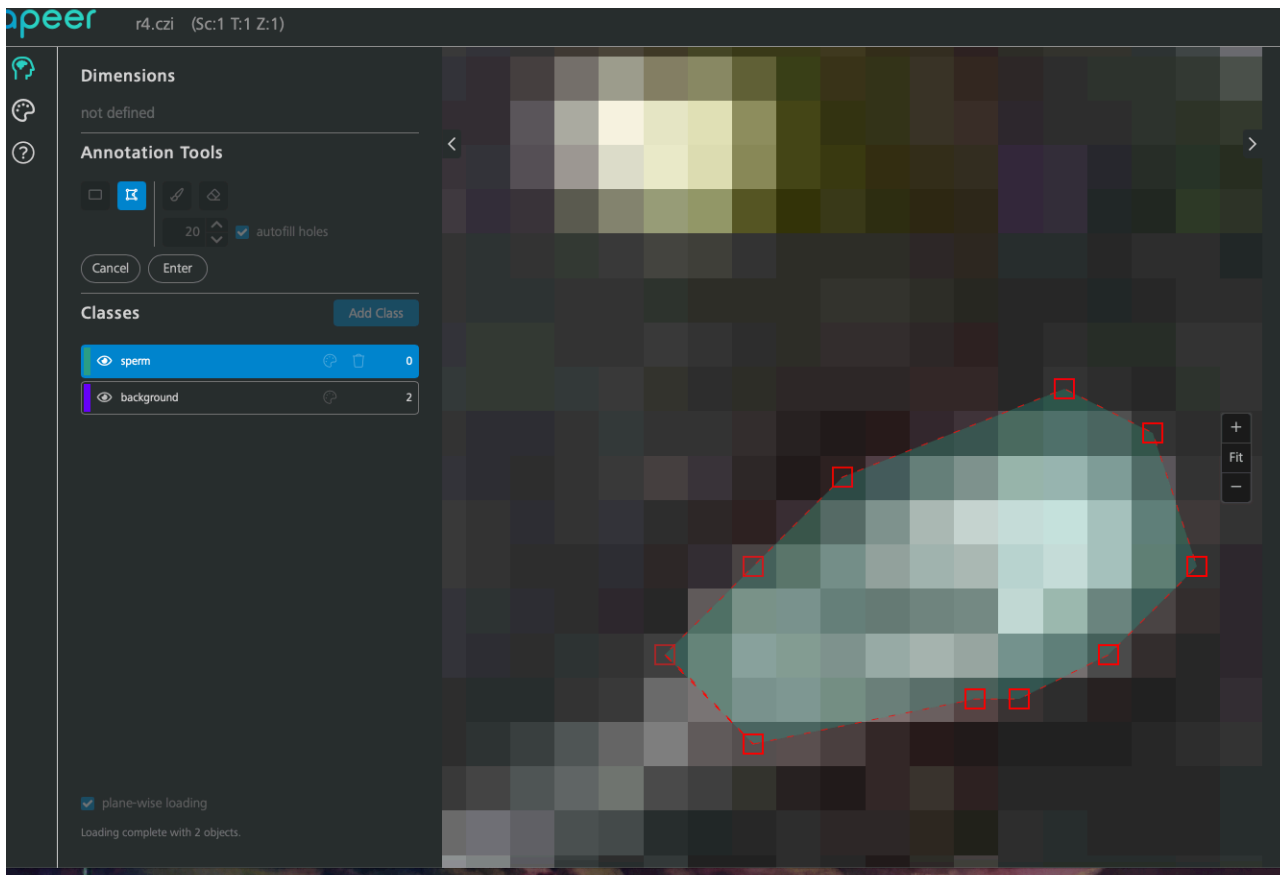
### **3.2 Enmascarado de imágenes.**

Para entrenar la red neuronal se tienen que introducir imágenes etiquetadas, cuyas etiquetas identifican a cada objeto que se quiere detectar de esta manera la computadora, aprende cual objeto es el de interés, en este caso son los espermatozoides.

Para crear las etiquetas de las imágenes microscópicas con los espermatozoides a ser detectados para cada imagen, se generaron máscaras binarias tanto para las imágenes de entrenamiento como de validación. Todos los espermatozoides fueron

codificados en blanco en tanto que el resto de elementos fueron codificados en negro.

El etiquetado de imágenes se realizó con el software Apeer (Carl Zeiss Microscopy, 2023) especializado para esta tarea, en el cual se introduce la imagen, y se cuenta con herramientas de procesamiento que, dependiendo la geometría del objeto a delimitar, se cuenta con herramientas más ad-hoc para la delimitación. En el caso de los espermatozoides, se utilizó la herramienta poligonal, la cual crea una sucesión de puntos delimitando el objeto alrededor de éste.



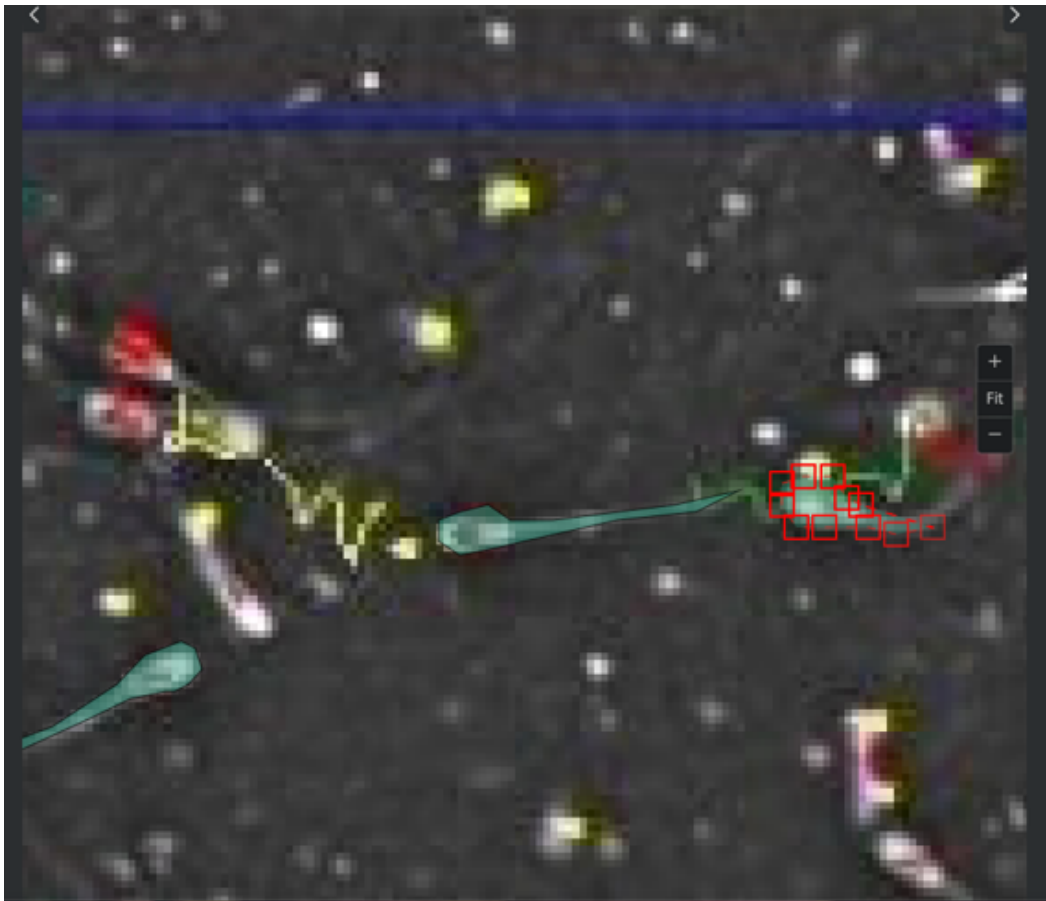
*Figura 14 Area de trabajo en apeer*

Fuente: laboracion propia a partir de Imagen obtenida en el centro de mejoramiento Genético Ganadero de Durango, cortesía de M.V.Z Daniel Ayón Nogueira.

Para la generación de las máscaras, fue necesario crear dos categorías para las imágenes: una categoría para los espermatozoides y la otra para el fondo.

En total, se etiquetaron 10 imágenes con su respectiva máscara para ser utilizadas en el entrenamiento de la red neuronal, teniendo un total de 1718 espermatozoides en el total de las imágenes.

En la siguiente figura se puede observar, el proceso de categorización de los objetos, los objetos delimitados en color verde, son elementos ya etiquetados como esperma, el objeto con línea roja muestra el etiquetado de forma poligonal siguiendo el perímetro de los objetos de interés



*Figura 15 Etiquetado poligonal*

Fuente: Elaboración propia por medio de apper.



En la siguiente Figura se muestra la categoría a la que corresponden de los objetos y el número correspondiente de cada elemento.

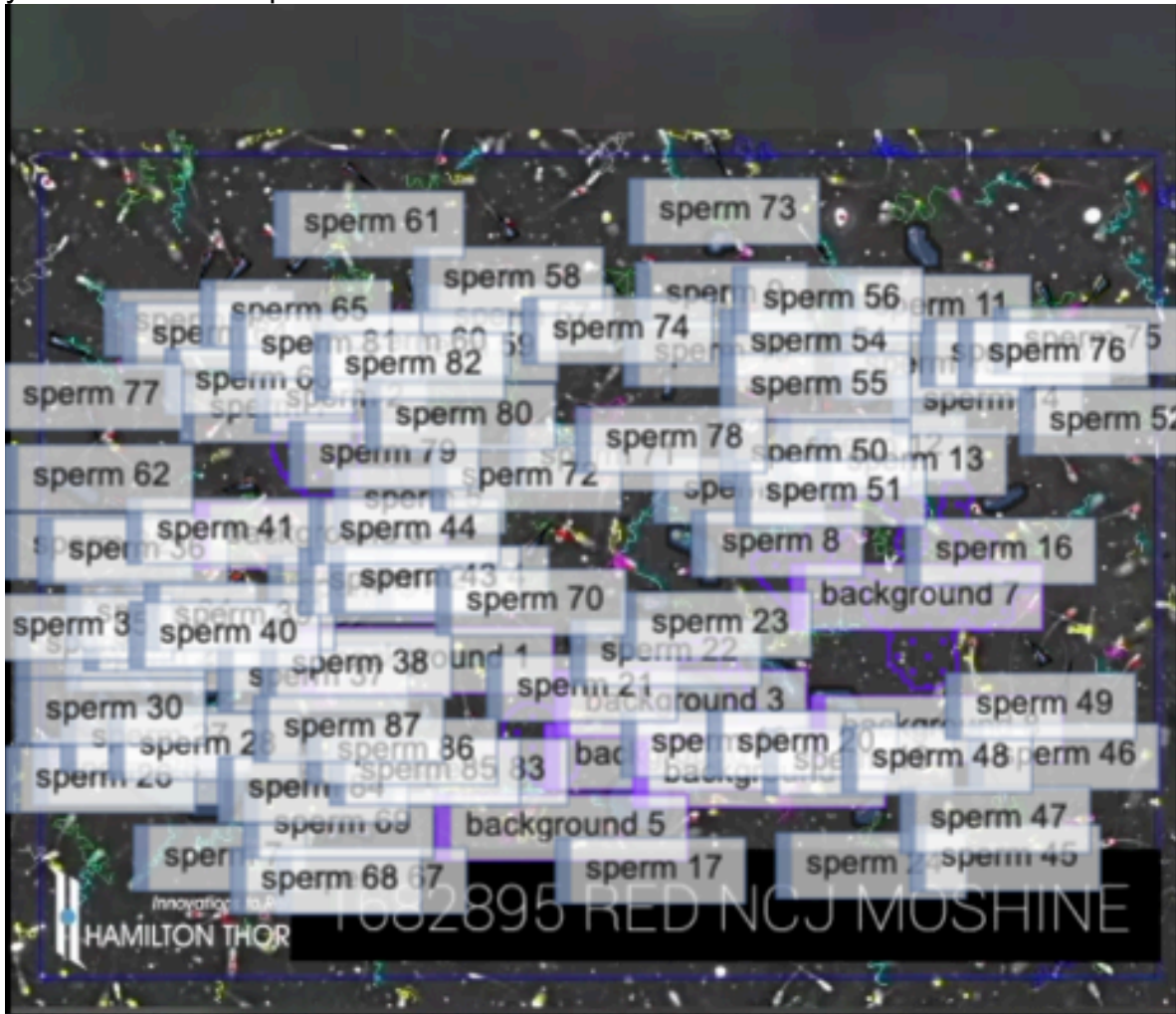


Figura 16 Etiquetas

Fuente: Elaboración propia por medio de apper.

### 3.3 Red neuronal

Se utilizó segmentación semántica por medio de una red neuronal, convolucional en arquitectura U-net por medio de lenguaje de programación Python utilizando las librerías Tensor Flow y Keras, la cual permite el diseño implementación y

entrenamiento de redes neuronales convolucionales y por medio de la librería Keras.

La red neuronal se inició con la entrada de imagen a color de tamaño de 512 píxeles por 512, de tres dimensiones (RGB) con la instrucción `keras.layers.conv2d`, se continúan con la etapa de extracción de características que consiste en un bloque de cuatro etapas constituidas por 2 convoluciones y un max pooling, variando los filtros de convolución en cada bloque, comenzando con 64, 128, 256, 512 y 1024, con configuración igual en cada etapa, la cual corresponde al tamaño de kernel de tres por tres, padding igual, y activación `relu`, y las características del max pooling corresponden a un tamaño de filtro de 2 por 2 y saltos de 2 por 2.

Se y una etapa de expansión en la que se codifica y se asigna en la categoría correspondiente de cada píxel.

Se continúa con una etapa de expansión en la que se codifica y se asigna en la categoría correspondiente de cada píxel.

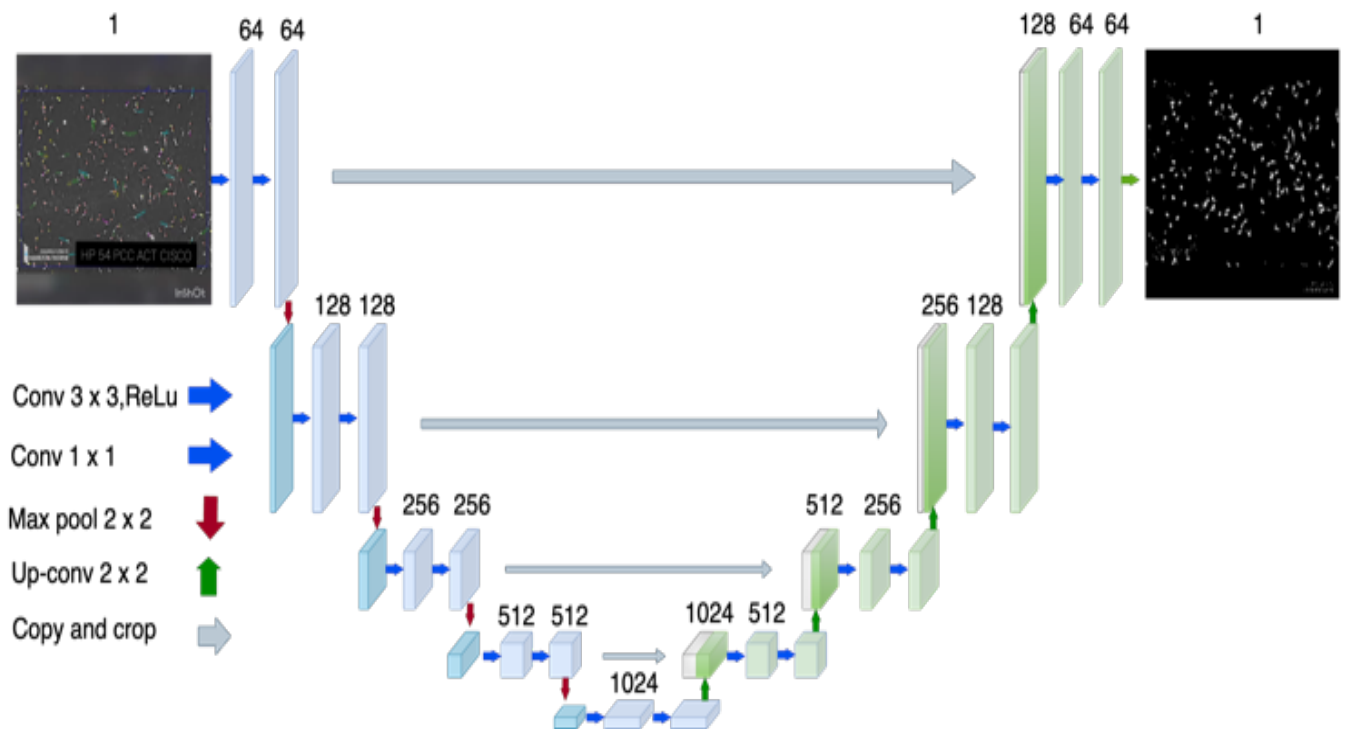


Figura 17 U-Net con imagen a segmentar como entrada

Fuente: Adaptada de (Ronneberger et al., 2015)

### 3.4 Entrenamiento

Una vez teniendo la red neuronal diseñada y codificada en Python, se creó el programa de lectura de imagen con la cual se mandan llamar las 10 imágenes originales con su respectiva máscara, teniendo un total de 20 imágenes de entrada, para ser introducidas en la Red neuronal en la cual se utilizaron 100 épocas de entrenamiento.

Las diez imágenes utilizadas con su respectiva máscara de elementos etiquetados se muestran en la siguientes figuras.

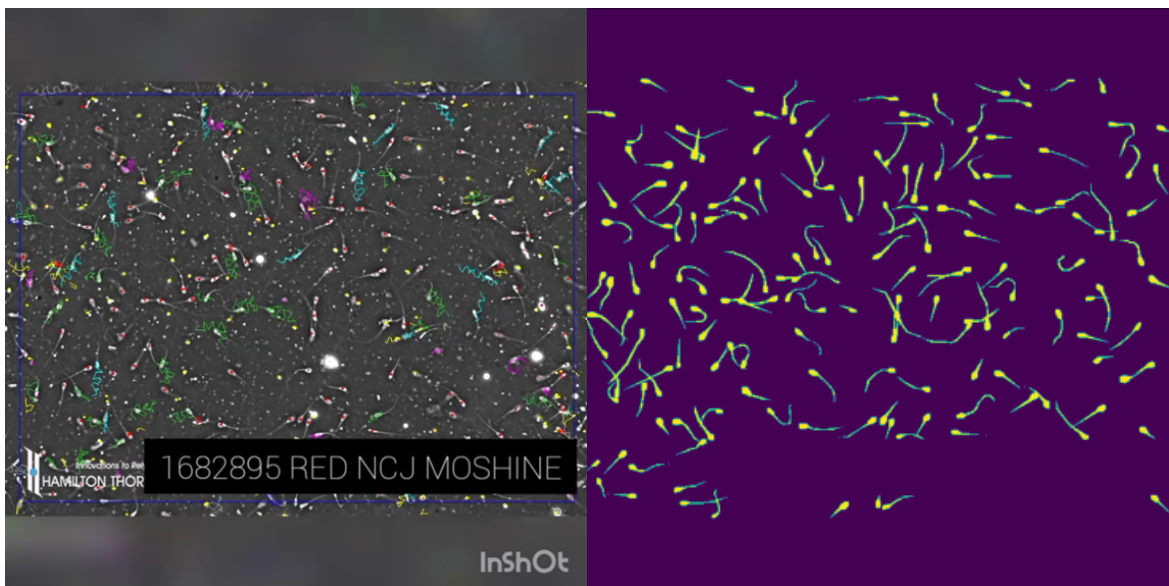


Figura 18 Imagen de entrenamiento 1

Fuente: creacion propia

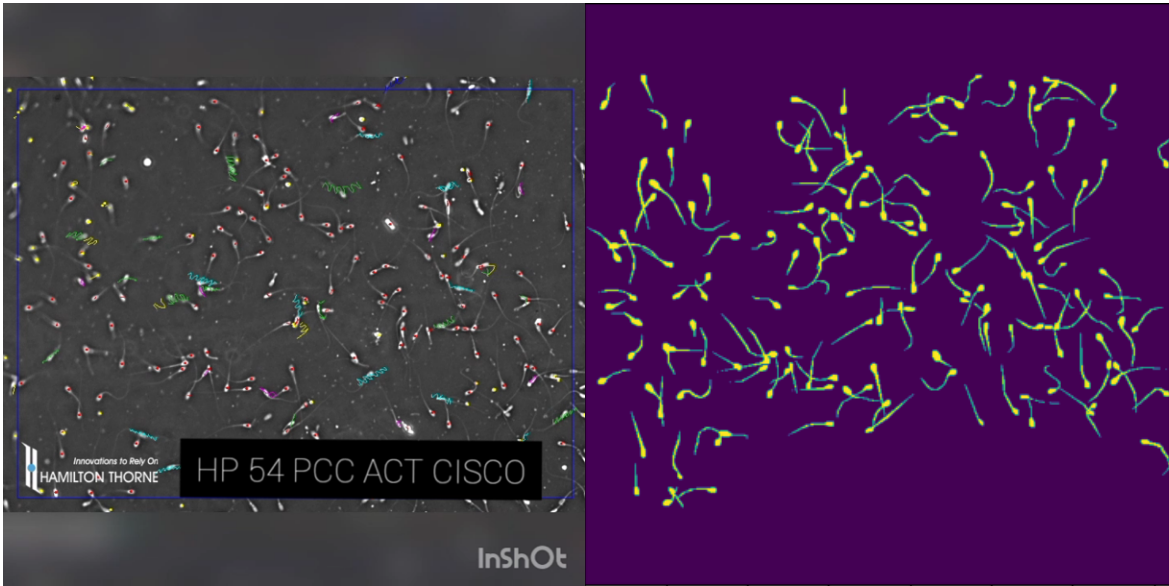


Figura 19 Imagen de entrenamiento 2

Fuente: creacion propia

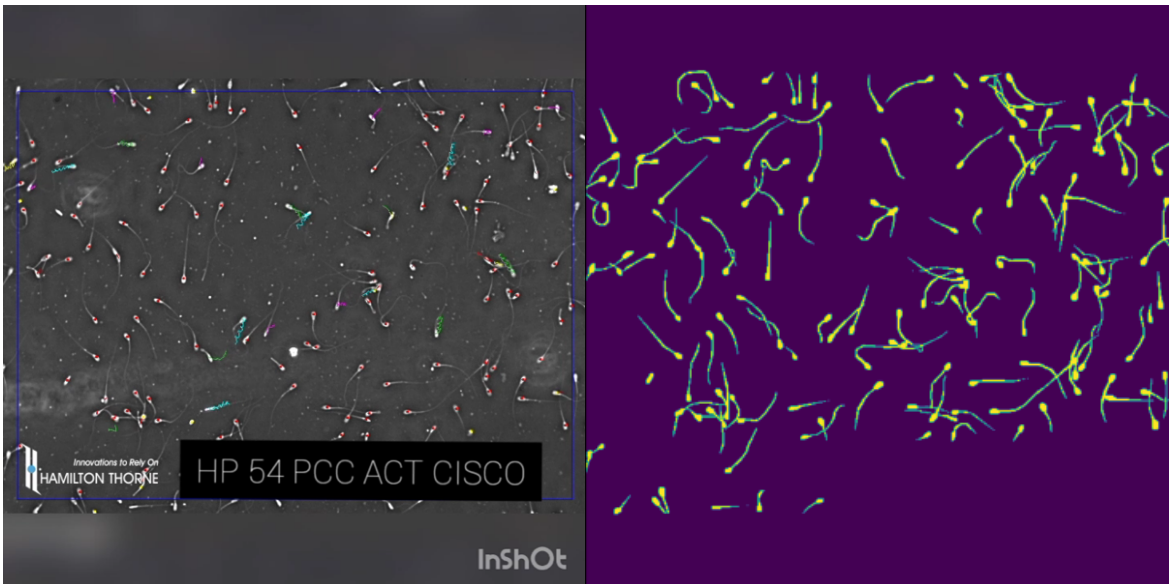


Figura 20 Imagen de entrenamiento 3

Fuente: creacion propia

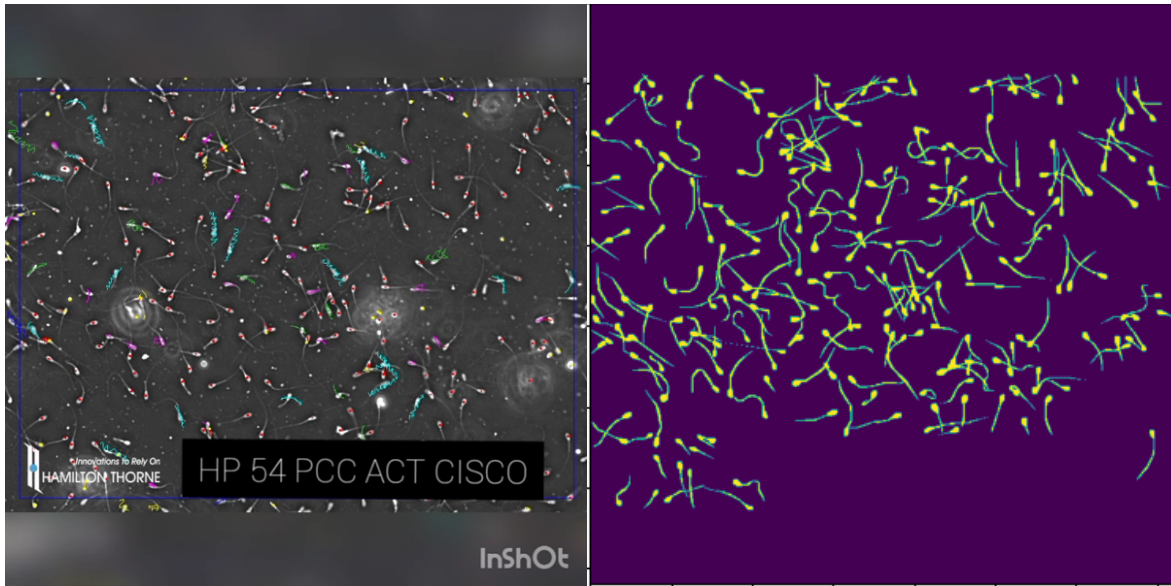


Figura 21 Imagen de entrenamiento 4

Fuente: creacion propia

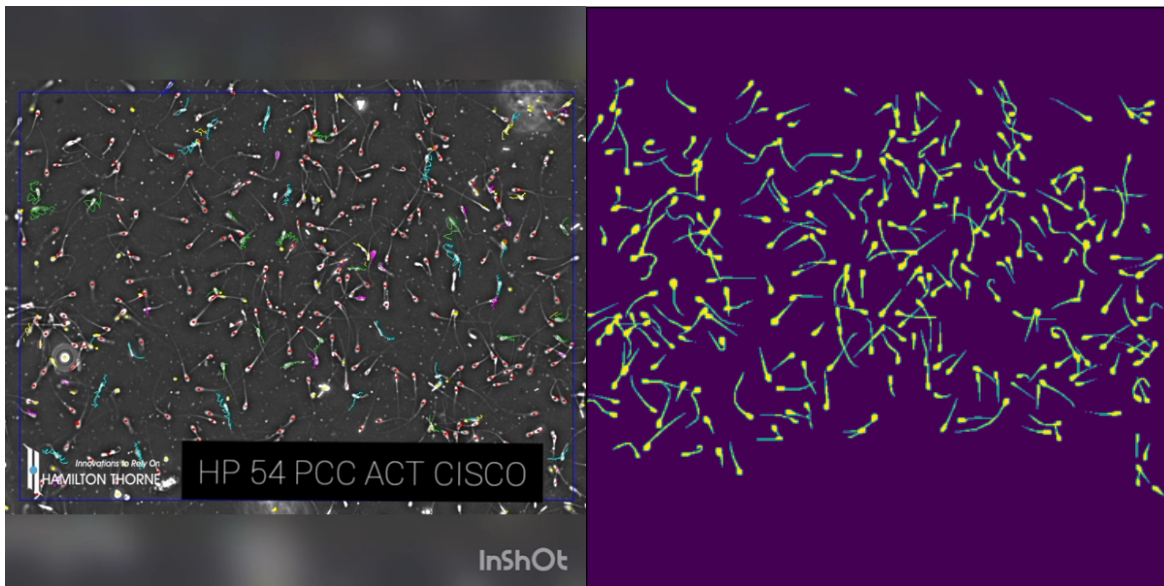


Figura 22 Imagen de entrenamiento 5

Fuente: creacion propia

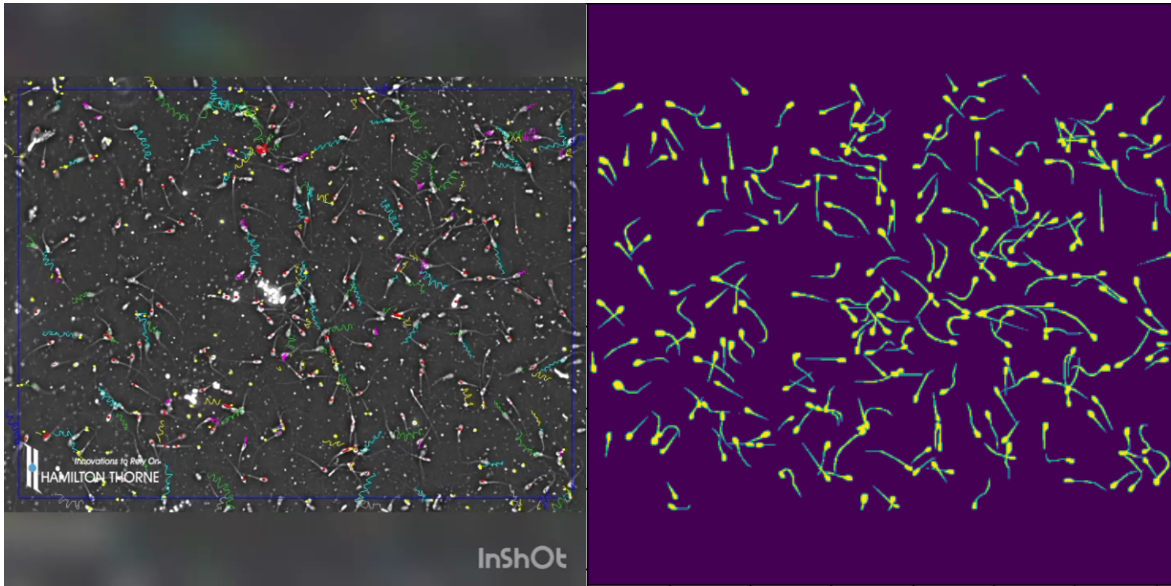


Figura 23 Imagen de entrenamiento 6

Fuente: creacion propia

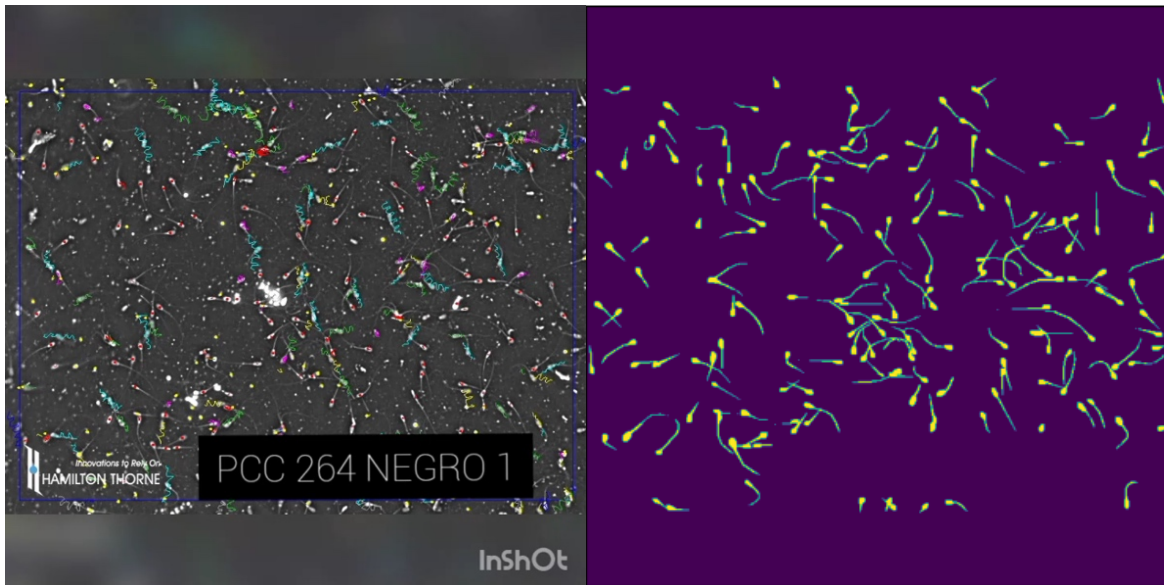


Figura 24 Imagen de entrenamiento 7

Fuente: creacion propia.

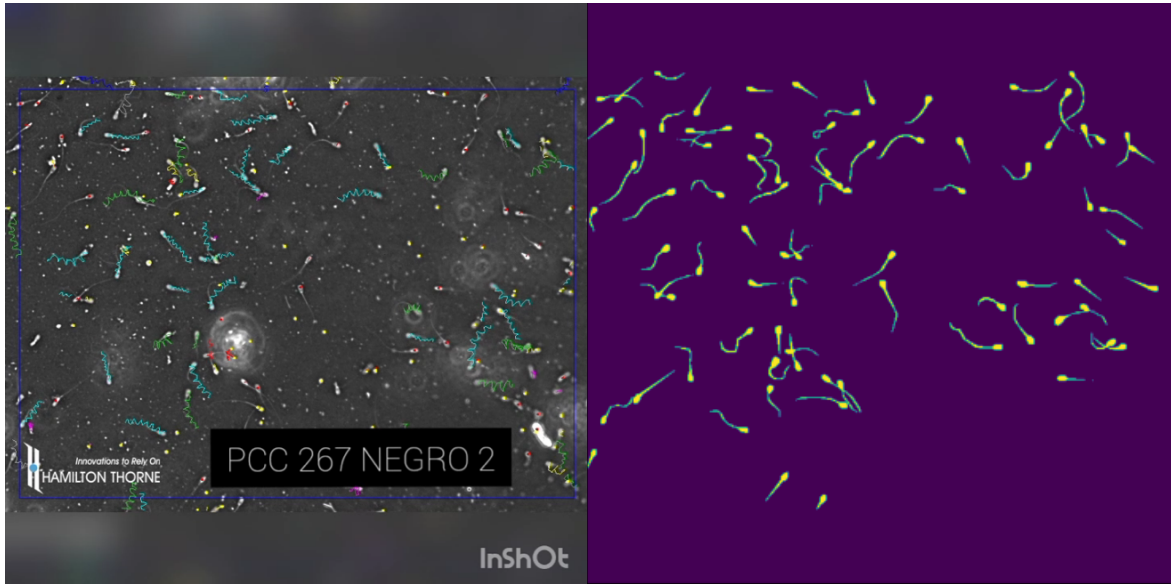


Figura 25 Imagen de entrenamiento 8

Fuente: creacion propia.

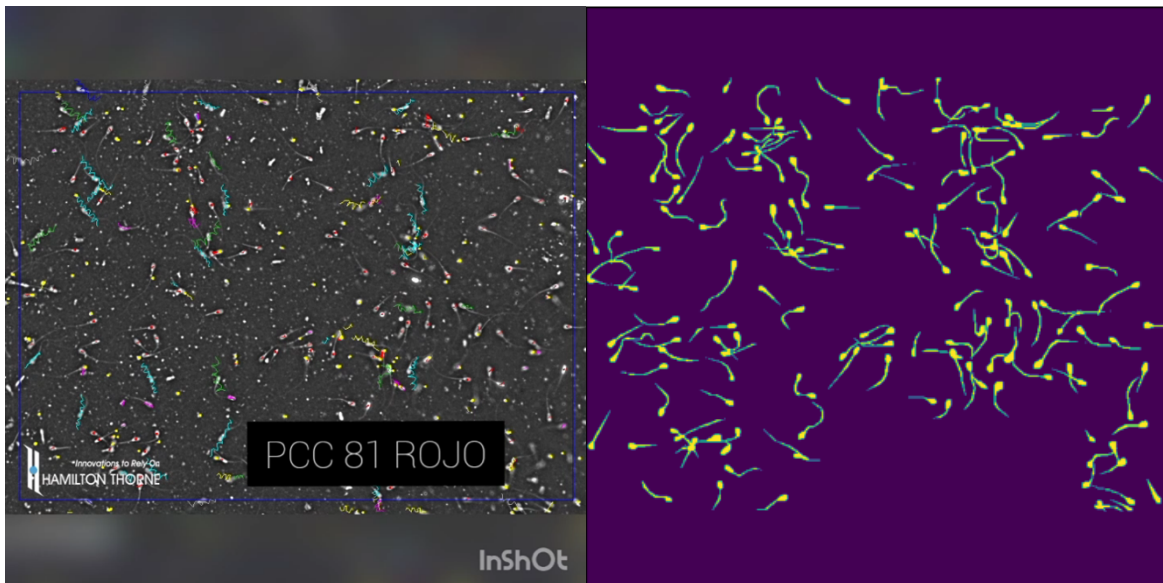


Figura 26 Imagen de entrenamiento 9

Fuente: creacion propia.

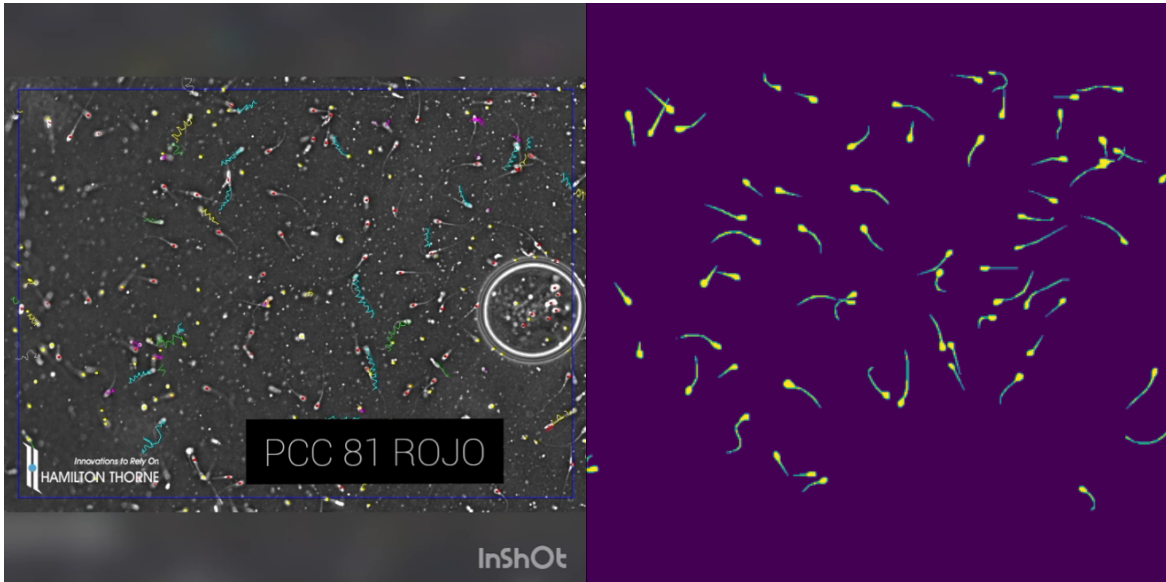


Figura 27 Imagen de entrenamiento 10

Fuente: creacion propia.

### 3.5 Seguimiento de trayectorias.

El seguimiento de las trayectorias requiere de una serie de pasos de pre-procesamiento de las imágenes resultantes de la predicción de la red neuronal, dónde si tiene que cargar el video para posteriormente realizar un cambio de color cromático de BGR a escala de grises, después de esto se realiza la determinación del tamaño de cada objeto segmentado, para preparar los puntos de seguimiento. Esto se realiza previo a ser aplicado el algoritmo de seguimiento de trayectorias. El algoritmo empleado para este fin es el de flujo óptico.

#### 3.5.2 Aplicación de flujo óptico

Una vez aplicados los puntos de seguimiento se realiza el cálculo óptico mediante la imagen actual y los puntos consiguientes, para cada punto nuevo obtenido en la imagen se va atrasando la línea de movimiento junto con el círculo identificador de cada objeto.



## VI. Resultados

### 4.1 Entrenamiento de red neuronal

En la siguiente figura encontramos la gráfica de lectura del precisión del entrenamiento, en donde vemos la comparativa del comportamiento del entrenamiento la línea color rojo y la validación la línea color azul, se muestra un crecimiento equilibrado entre las dos etapas, durante las primeras 30 épocas se muestra un crecimiento en la precisión más acelerado a partir de la etapa 30 en la etapa 80 se comienza a estabilizar el crecimiento, hasta llegar al punto óptimo de entrenamiento sin llegar a un sobre entrenamiento.

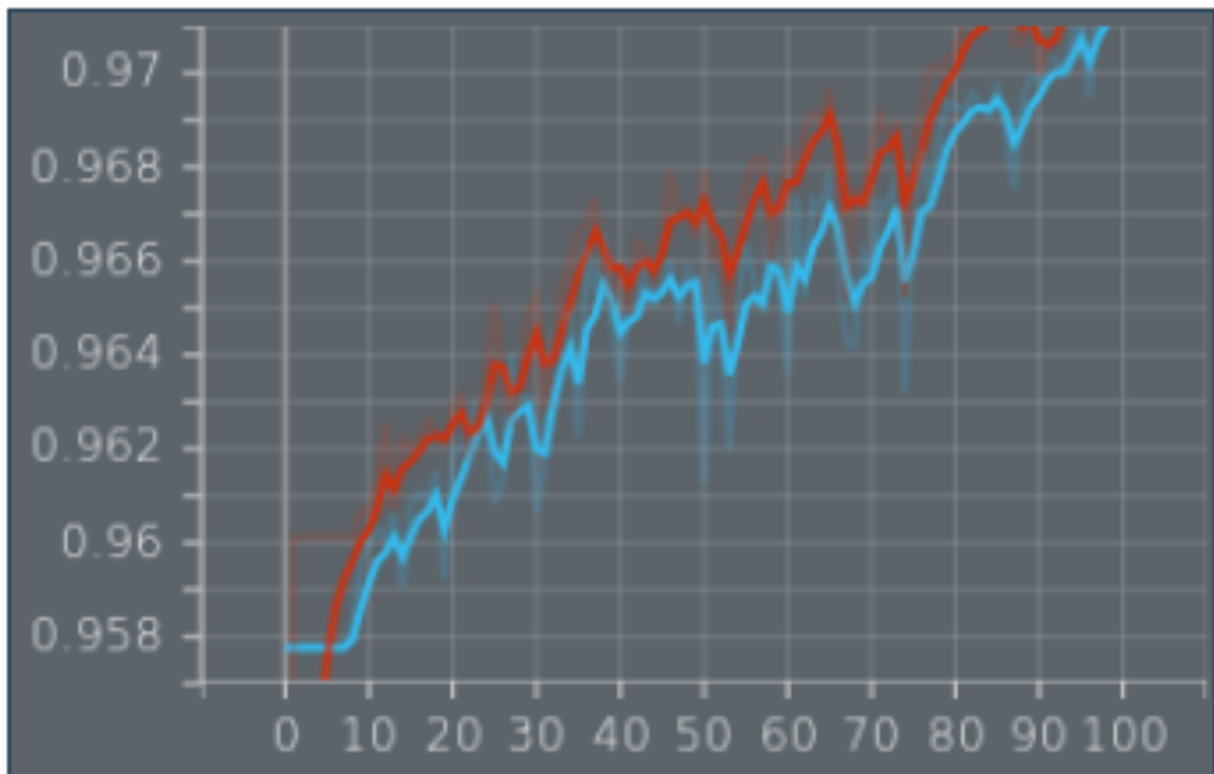


Figura 28 Precisión de entrenamiento y validación

Fuente: creación propia.

En la siguiente figura se muestran los resultados de los errores filtrados durante el entrenamiento y la validación en donde encontramos el entrenamiento con la línea color rojo y la validación con la línea azul y se observa un decremento del error conforme avanzan las etapas de entrenamiento, por lo que se reafirma que un mayor número de de épocas de entrenamiento no producirán un majo mejor desempeño en la detección de espermatozoides.

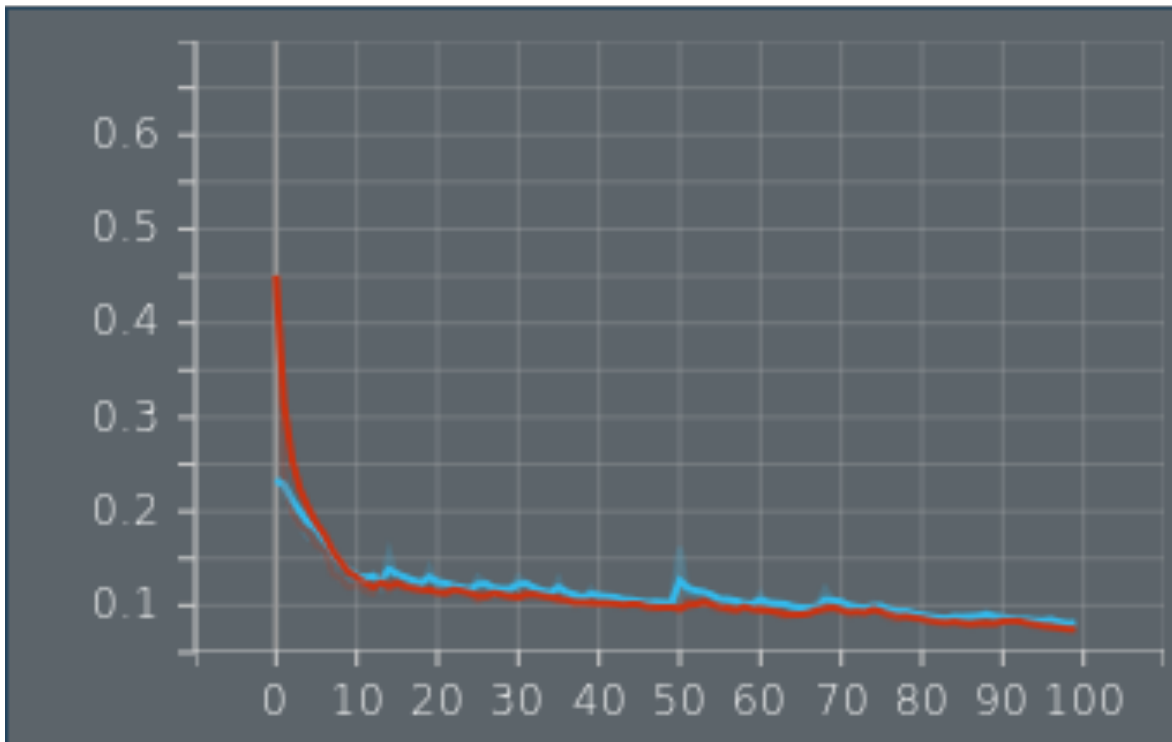


Figura 29 Error de entrenamiento

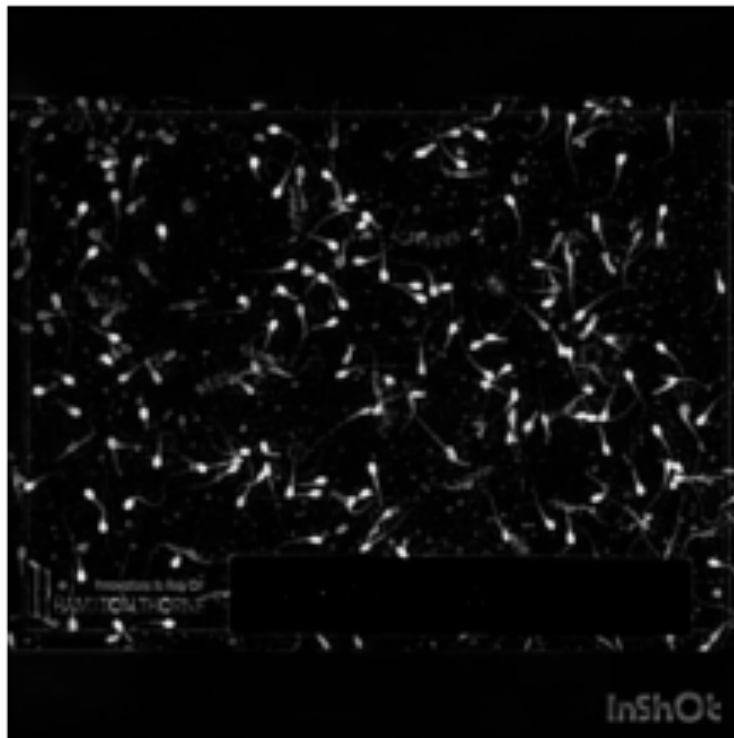
Fuente: creacion propia.

## 4.2 Segmentación

Después del entrenamiento de la red neuronal, la validación y comprobación de las imágenes segmentadas en dos categorías (“esperma” y “fondo”), el resultado de la imagen segmentada es un objeto nítido y bien delimitado dónde claramente se ve que la red neuronal cumplió eficientemente con el objetivo de delimitar los espermatozoides. Se realizó la comprobación en diferentes imágenes de prueba extraídas de los diferentes videos, y cuadros aleatoriamente seleccionados y en todas las imágenes simplemente se observa los espermatozoides discriminando las pequeñas perturbaciones que se pueden observar en los videos originales.

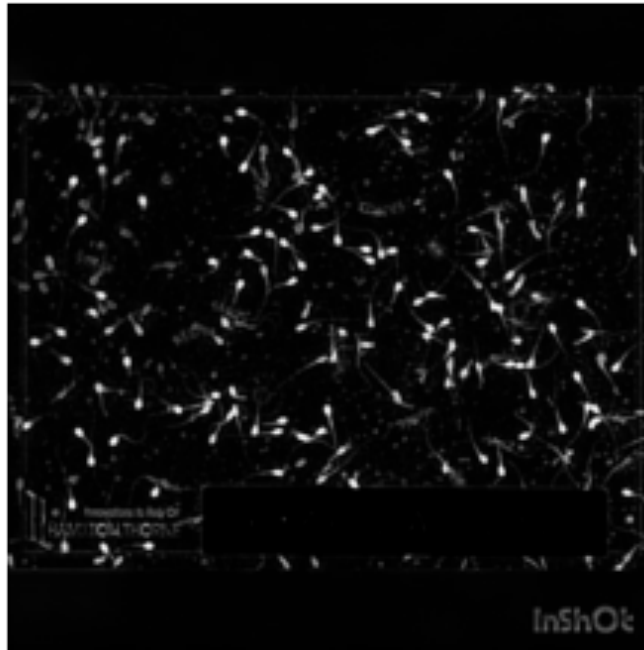
Con los resultados de estas imágenes se pueden crear los algoritmos de seguimiento, ya que cada objeto dentro de la imagen se encuentra claramente segmentado.

En la siguiente figura podemos observar las imágenes segmentadas.



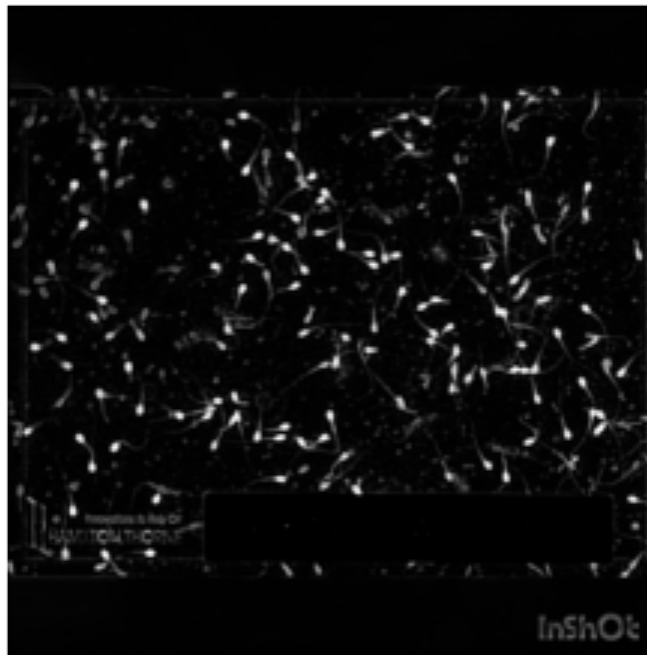
*Figura 30 Imagen resultante de predicción*

Fuente: creacion propia.



*Figura 31 Imagen resultante de predicción*

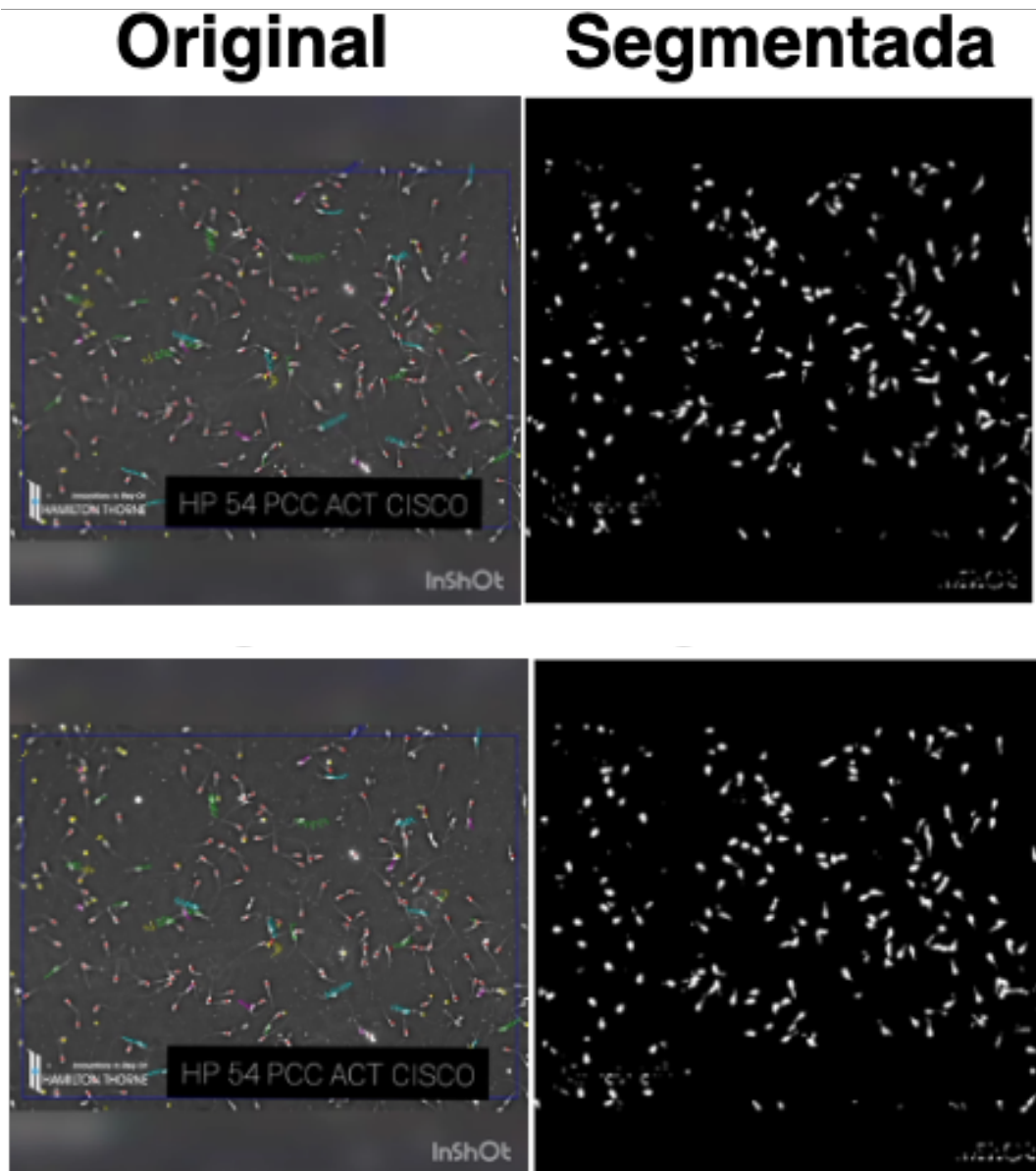
Fuente: creacion propia.

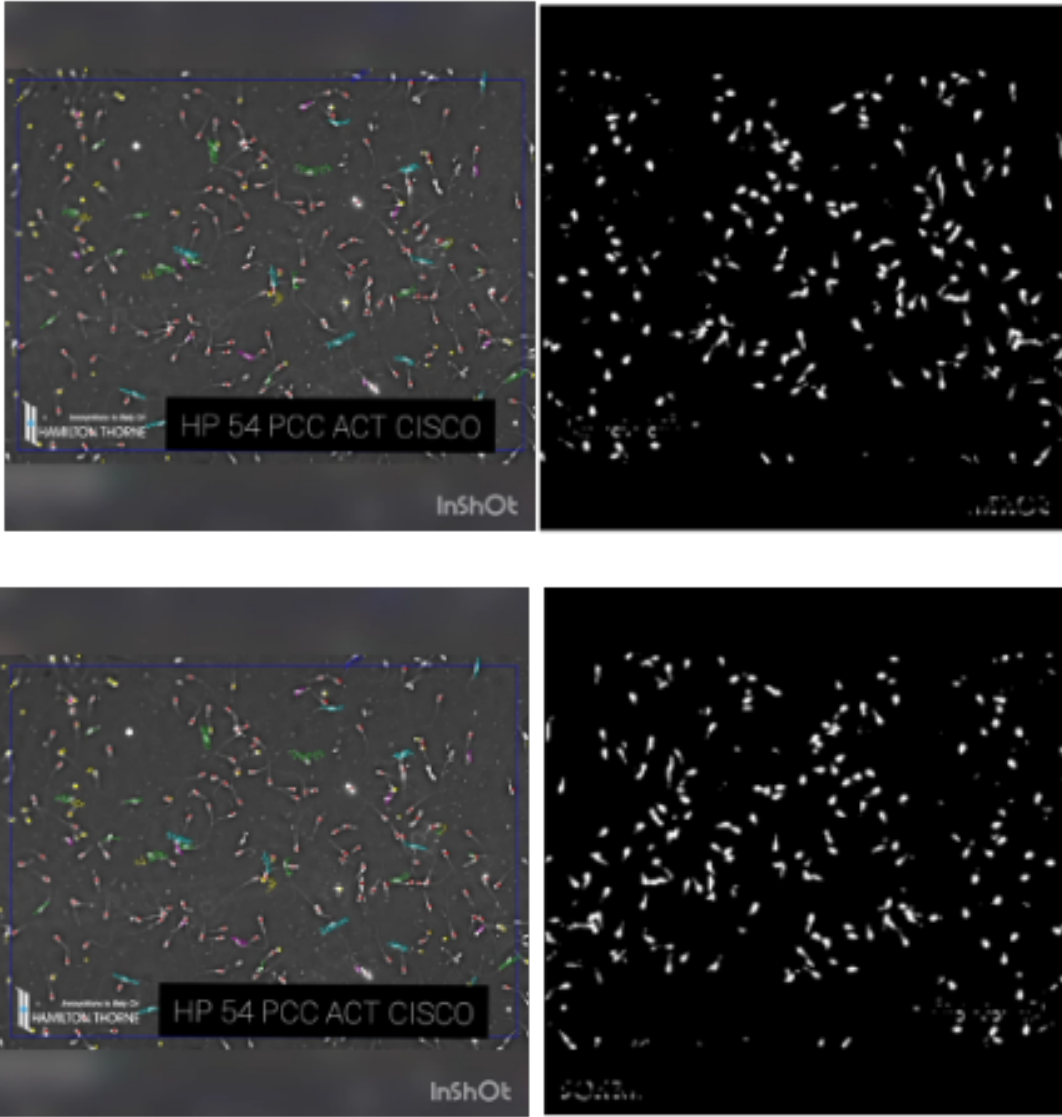


*Figura 32 Imagen resultante de predicción*

Fuente: creacion propia.

En la figura siguiente se muestra una comparativa entre la imagen original y la imagen procesada y segmentada por la red neuronal.





*Figura 33 Comparativa de imagen original con predicción*

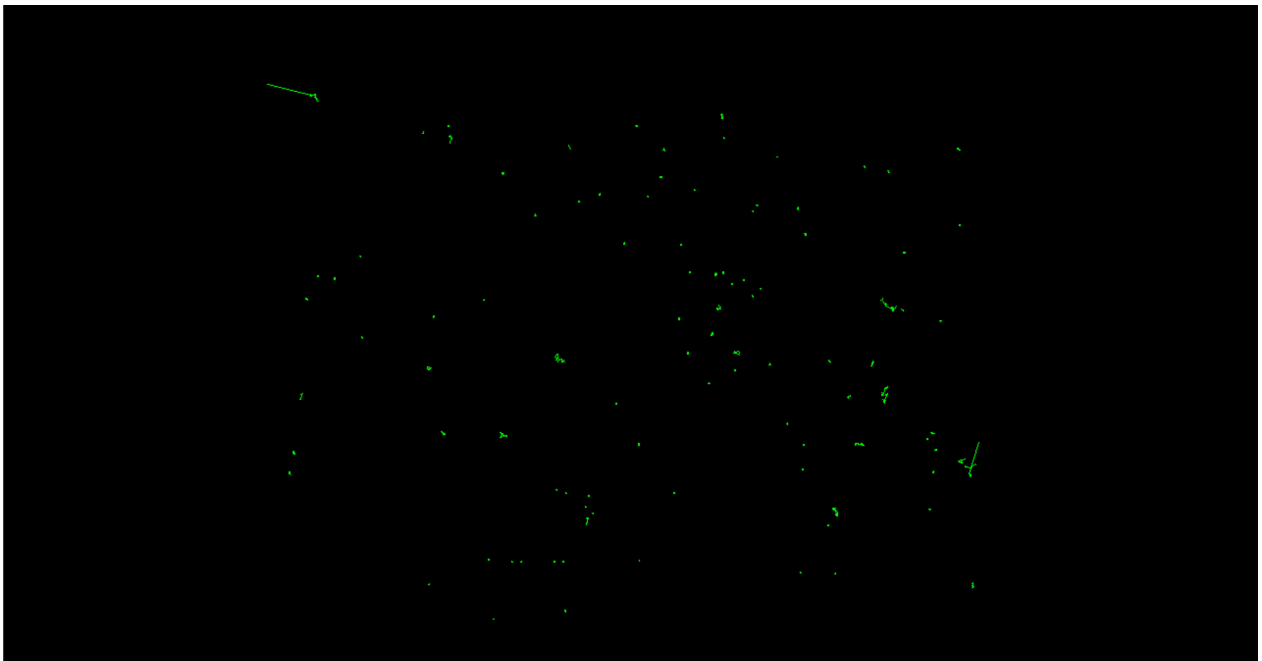
Fuente: creacion propia.

## 4.2 seguimiento

Al aplicar el flujo óptico se observa algunos puntos sin movimiento, que se puede determinar que son espermatozoides sin actividad vital, junto a estos se dibujan algunas otras pequeñas líneas en movimientos cortos, algunos zigzagueantes algunos otros rectos y circulares.

Se encuentra la dificultad del traslape entre algunos objetos lo cual esto dificulta el desarrollo del algoritmo sin embargo el trazado de la mayoría de los espermatozoides identificados previamente se sigue realizando.

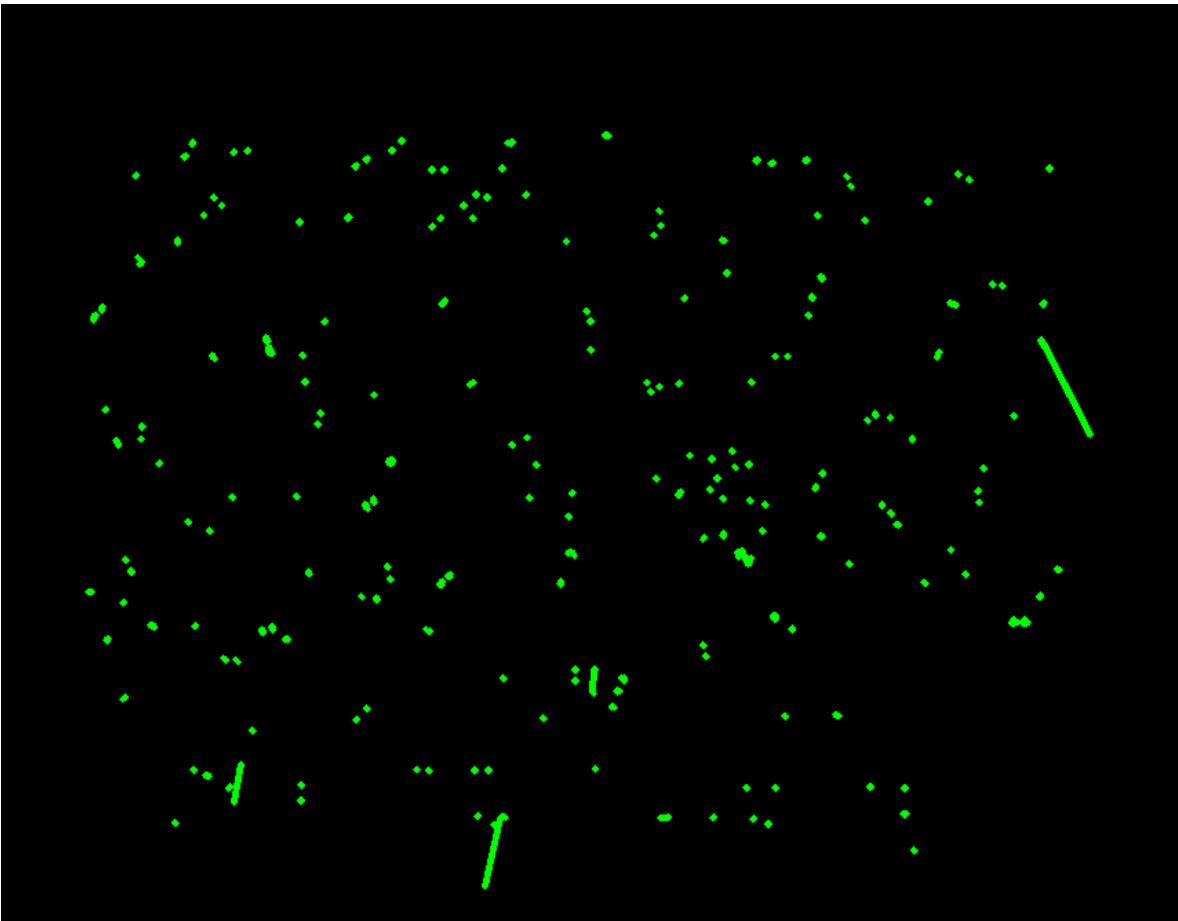
En la siguiente figura se muestra alguna de las trayectorias trazadas por los espermatozoides, y los puntos individuales que se muestran más delgados son los espermatozoides y mida que después del transcurso del video que tiene una duración aproximada de cinco segundos no realizaron movimiento alguno, a comparación de los pequeños surcos que se observan como líneas delgadas o los que tuvieron un movimiento más lento y corto se ve como pequeñas líneas más visibles.



*Figura 34 Dibujo de trayectorias en video 1*

Fuente: Elaboración propia a través de Python(OpenCV)

La siguiente figura, el cuadro de otro video de prueba, donde se ven pueden apreciar movimientos diferentes

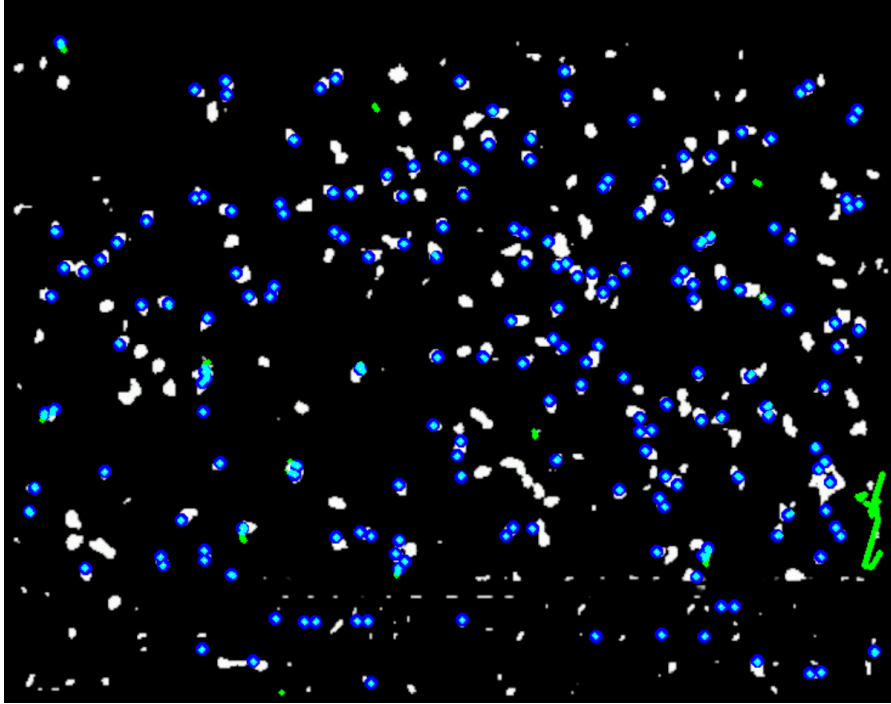


*Figura 35 Dibujo de trayectorias en video 2*

Fuente: Elaboración propia a través de Python(OpenCV)

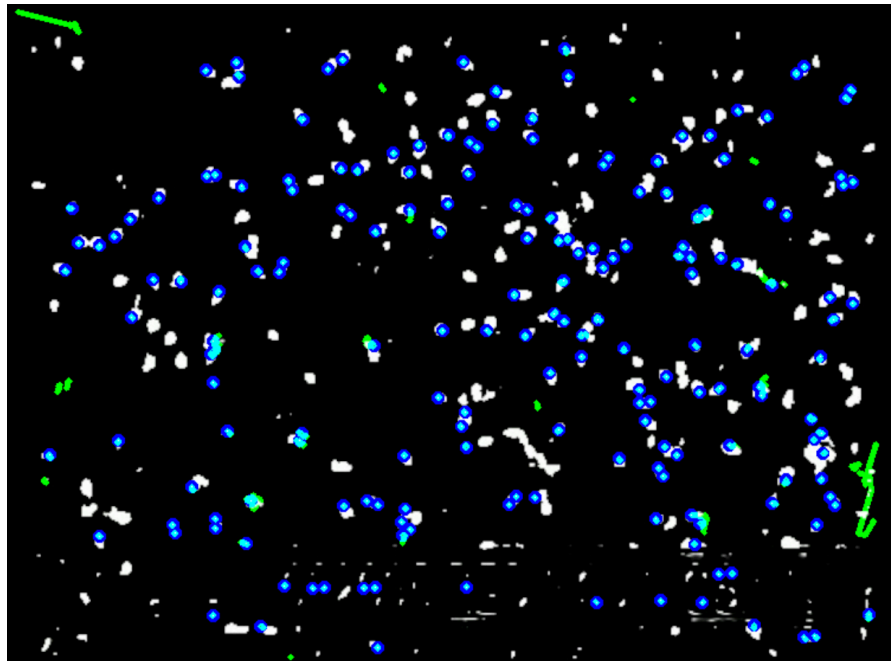
Las siguientes imágenes muestran una forma diferente de visualización, que muestra el objeto encontrado y la trayectoria trazada





*Figura 36 Dibujo de punto de objetos*

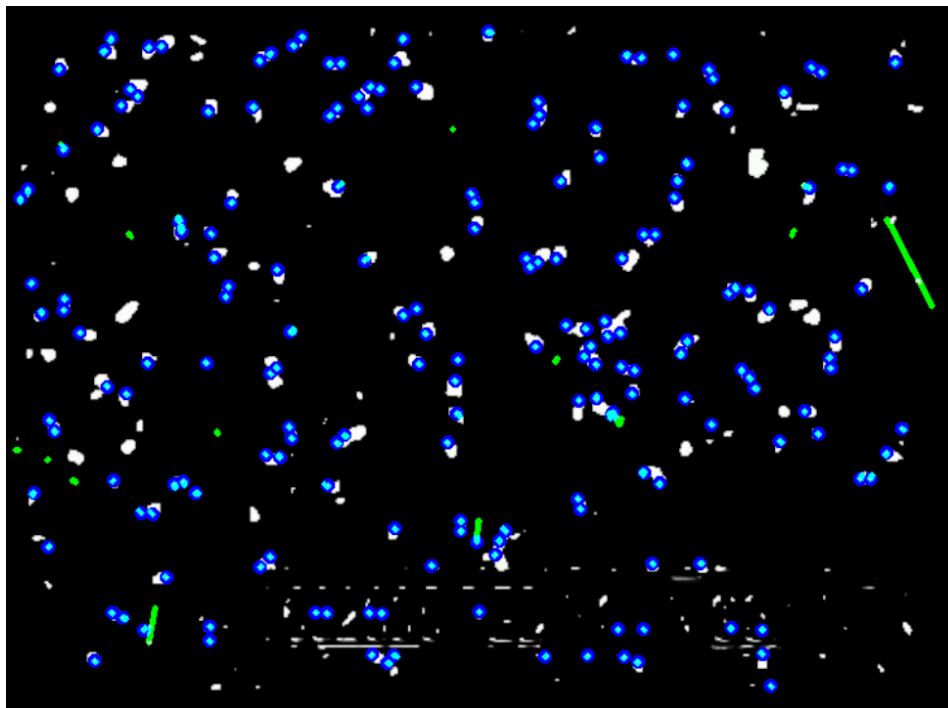
Fuente: Elaboración propia a través de Python(OpenCV)



*Figura 37 dibujo de punto objeto y trayectoria*

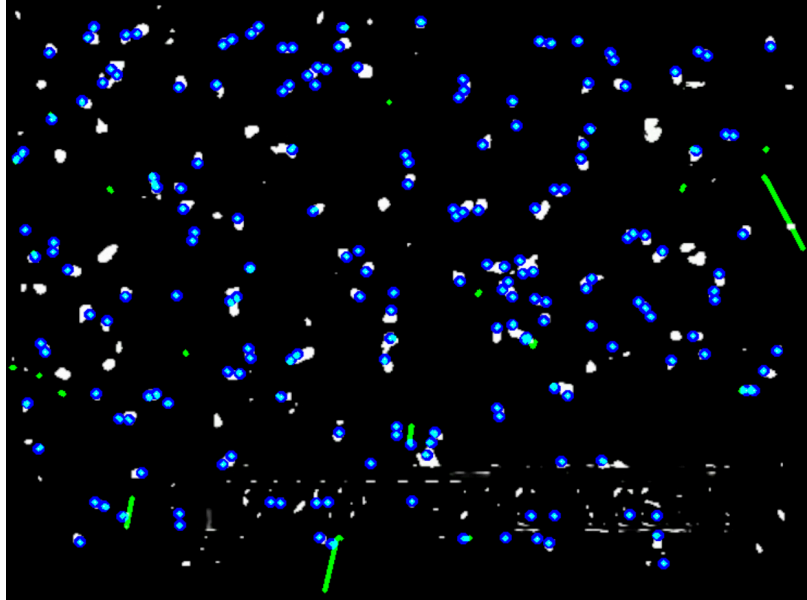
Fuente: Elaboración propia a través de Python(OpenCV)

En la siguiente secuencia de cuatro imágenes que representan el inicio el intermedio y el final del video se puede observar como el círculo azul es la identificación del objeto por medio notificación de puntos realizada previamente, y en el color verde se muestra el movimiento que han tenido, en comparativa la imagen anterior donde sólo se ven los objetos en color verde, sólo se observa el movimiento ya que el trazado sin movimiento y la visualización se encuentra obstruida por el mismo espermatozoide sin movimiento, ya que el color de trazado se encuentra por debajo de la imagen original.



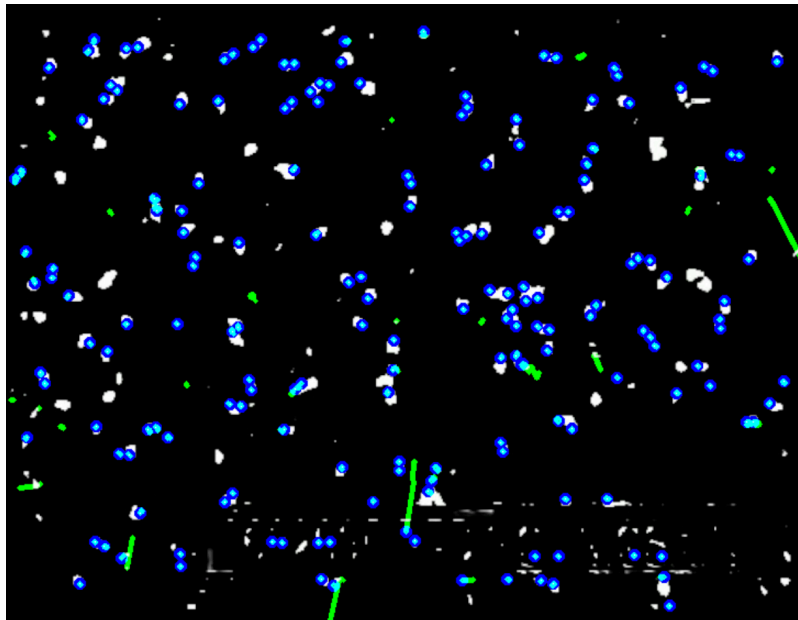
*Figura 38 Seccion 1 de video con trayectoria*

Fuente: Elaboracion propia a travez de pyhton(opencv)



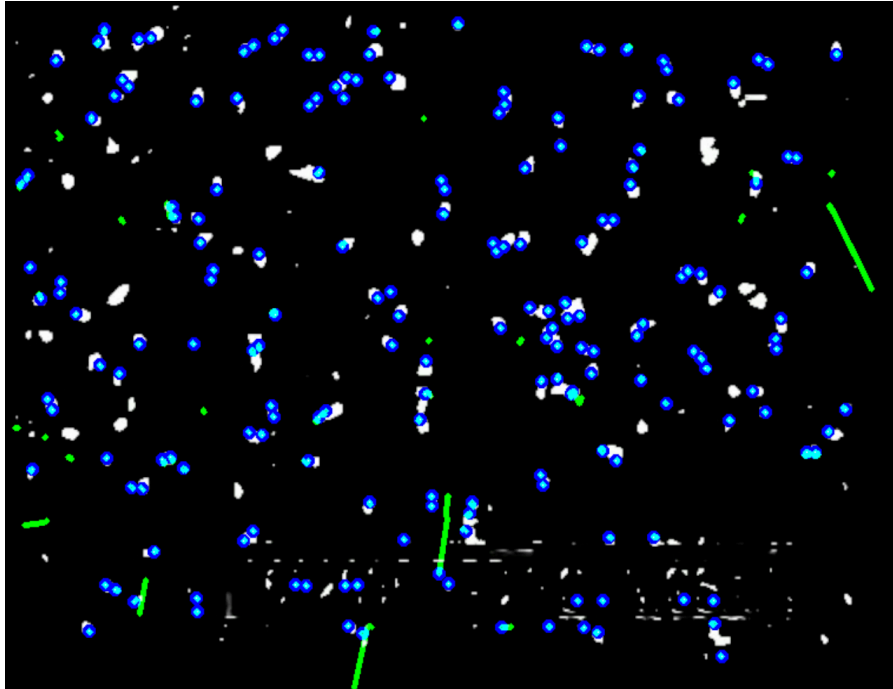
*Figura 39 Sección 2 de video con trayectoria*

Fuente: Elaboracion propia a travez de pyhton(opencv)



*Figura 40 Sección 3 de video con trayectoria*

Fuente: Elaboracion propia a travez de pyhton(opencv)



*Figura 41 Seccion 4 de video con trayectoria*

Fuente: Elaboracion propia a travez de pyhton(opencv)

## V. Conclusiones

Se puede concluir que el uso del procesamiento de imágenes para determinar la calidad del semen bovino es posible, se deben de tener en consideración que la cantidad de imágenes de entrenamiento determina la precisión con la que podemos detectar los objetos, este trabajo se puede dividir en la detección y el seguimiento, donde la detección la selección de las texturas de máquinas de aprendizaje de redes neuronales es viable ya que la arquitectura U \_net produce resultados muy satisfactorios para la detección de espermatozoides, a pesar del uso de una base de datos de imágenes limitada y carentes de calidad, cabe resaltar que es de suma importancia el cuidado con el que se deben realizar las máscaras de etiquetado, para que la Red neuronal aprenda correctamente los patrones que identifican a los espermatozoides, un correcto etiquetado de elementos y propicia a mejores resultados en las predicciones de la Red neuronal entrenada.

El algoritmo de seguimiento es útil en este trabajo, aunque cabe mencionar que puede discriminar algunos elementos, por las características de la imagen con la que se trabajó, sin embargo puede ser para un mejor trazado de los objetos tratando de qué se dibuje la totalidad de las trayectorias, Y así dar una determinación más concisa del grado de calidad que muestra el semen.

## VI. Referencias bibliografía

- Alejandra, M., Silva, M., Lucerina, &, & Pimentel, A. (n.d.). *Mejoramiento genético en bovinos a través de la inseminación artificial y la inseminación artificial a tiempo fijo* *Genetic improvement in cattle through artificial insemination and artificial insemination at fixed time* *Melhoria genética em bovinos através de inseminação artificial e inseminação artificial em horário fixo*.
- Ávalos Rodríguez Alejandro, Jorge Antonio González Santos, Ana Karen Varga Ibarra, & José Antonio Herrera Barragan. (2018). *Recolección y manipulación seminal in vitro* (Primera).
- Carl Zeiss Microscopy. (2023). *apper*.
- Cuentame de mexico, INEGI. (s.f.). Obtenido de <https://cuentame.inegi.org.mx/economia/primarias/gana/default.aspx?tema=e>
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing* (fourth edition).
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (n.d.). *Deep Learning*.
- Hernández, J., & Ortega, Á. (2009). Manual de Inseminación Artificial. In *Universidad Nacional Autónoma de México*. [https://fmvz.unam.mx/fmvz/licenciatura/coepa/archivos/Manuales/50\\_Inseminacion\\_artificial.pdf](https://fmvz.unam.mx/fmvz/licenciatura/coepa/archivos/Manuales/50_Inseminacion_artificial.pdf)
- Hicks, S. A., Andersen, J. M., Witczak, O., Thambawita, V., Halvorsen, P., Hammer, H. L., Haugen, T. B., & Riegler, M. A. (2019). Machine Learning-Based Analysis of Sperm Videos and Participant Data for Male Fertility Prediction. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53217-y>
- Hidayatullah, P., Mengko, T. L. E. R., Munir, R., & Barlian, A. (2021). Bull Sperm Tracking and Machine Learning-Based Motility Classification. *IEEE Access*, 9, 61159–61170. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3074127>
- Nagata, M. P. B., Egashira, J., Katafuchi, N., Endo, K., Ogata, K., Yamanaka, K., Yamanouchi, T., Matsuda, H., Hashiyada, Y., & Yamashita, K. (2019). Bovine sperm selection procedure prior to cryopreservation for improvement of post-thawed semen quality and fertility. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0395-9>
- Ooms J, W. J. (2023). *opencv: Bindings to "OpenCV" Computer Vision Library*.
- Palacín, I., Vicente-Fiel, S., Santolaria, P., & Yániz, J. L. (2013). Standardization of CASA sperm motility assessment in the ram. *Small Ruminant Research*, 112(1–3), 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.12.014>
- Petrou, Maria., & Petrou, Costas. (2010). *Image processing: the fundamentals*. Wiley.
- Punn, N. S., & Agarwal, S. (2022). Modality specific U-Net variants for biomedical image segmentation: a survey. In *Artificial Intelligence Review* (Vol. 55, Issue 7). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10152-1>
- Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9351, 234–241. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28)
- Secretaría de agricultura ganadería y desarrollo rural . (27 de 06 de 2023). *DURANGO, TERCER LUGAR NACIONAL EN EXPORTACIÓN DE GANADO*

*BOVINO EN PIE A USA: SAGDR*. Obtenido de Durango, tercer lugar nacional en exportación de ganado en pie a USA: <https://desarrollorural.durango.gob.mx/durango-tercer-lugar-nacional-en-exportacion-de-ganado-bovino-en-pie-a-usa-sagdr-2/>

Servicio de información agroalimentaria y pesquera. (06 de 03 de 2018). Obtenido de la ganadería: símbolo de fortaleza del campo mexicano: <https://www.gob.mx/siap/articulos/la-ganaderia-simbolo-de-fortaleza-del-campo-mexicano>

Seshoka, M. M., Mphaphathi, M. L., & Nedambale, T. L. (2016). Comparison of four different permitting and combination of two best cryoprotectants on freezing Nguni sperm evaluated with the aid of computer aided sperm analysis. *Cryobiology*, 72(3),232–238  
<https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2016.04.001>

Solem Jan Erik. (2012). *Programming Computer Vision with Python* (1st ed.).

Vincent, P., Underwood, S. L., Dolbec, C., Bouchard, N., Kroetsch, T., & Blondin, P. (2012). Bovine semen quality control in artificial insemination centers. In *Anim Reprod* (Issue 9).

## Anexos.

### Código de programación en Python de la red neuronal

```
"""correc_segmentaciones-esperma.ipynb
Automatically generated by Colaboratory.
https://colab.research.google.com/drive/1djSt7IEHvCHZiiHEFmwZwInlhIre4SCK
Implementacion de arquitectura U-Net para la segementacion semantica de
imagenes de espermatozoides de bovino.

---Procesamiento de datos---
"""
from google.colab import drive
drive.flush_and_unmount()
drive.mount('/content/drive')
!ln -s /content/drive/MyDrive/Colab\ Notebooks/esp1

#importar librerias

import os
import cv2
import numpy as np
#from os import listdir
from cv2 import resize
import matplotlib.pyplot as plt

"""lectura y escritura de imagenes"""

IMG_WIDTH = 512
IMG_HEIGHT = 512
IMG_CHANNELS = 3

PATH = 'esp1'

folders = os.listdir(PATH)

SUBFOLDERS=['imagen', 'mask']

x_train=np.zeros((len(folders), IMG_WIDTH, IMG_HEIGHT, IMG_CHANNELS))
y_train=np.zeros((len(folders), IMG_WIDTH, IMG_HEIGHT))
file_idx=0

for folder in folders:
    sperm_folder = os.path.join(PATH, folder)
    for subfolder in SUBFOLDERS:
        sperm_folder2 = os.path.join(sperm_folder, subfolder)
        #print(sperm_folder2)
        sperms_in_folder = os.listdir(sperm_folder2)
        #print(sperms_in_folder)
        for sperm in sperms_in_folder:
            if subfolder=='imagen':
                filename = os.path.join(sperm_folder2, sperm)
```



```

        print (filename)
        img = cv2.imread(filename, cv2.IMREAD_COLOR)
        img = cv2.resize(img, (IMG_WIDTH, IMG_HEIGHT))
        plt.imshow(img)
        x_train[file_idx]=x_train[file_idx]+img

    else:
        filename = os.path.join(sperm_folder2, sperm)
        print (filename)
        img = cv2.imread(filename, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
        img = cv2.resize(img, (IMG_WIDTH, IMG_HEIGHT))
        plt.imshow(img)
        y_train[file_idx]=y_train[file_idx]+img

    file_idx=file_idx+1

np.save(os.path.join(PATH, 'x_train.npy'), x_train.astype(np.uint8))
np.save(os.path.join(PATH, 'y_train.npy'), y_train.astype(np.bool))

"""cargar datos:
"""

PATH = 'esp1'

x_f=os.path.join(PATH, 'x_train.npy')
y_f=os.path.join(PATH, 'y_train.npy')

x_t=np.load(x_f)/255.0
y_t=np.load(y_f)

"""Estructura de U-Net"""

import tensorflow as tf
import keras
from keras.layers import Conv2D, MaxPooling2D, Dense, Flatten,
Dropout, Conv2DTranspose

from keras.engine import input_layer
inp =tf.keras.layers.Input((512,512,3))

c1=tf.keras.layers.Conv2D(filters=64, kernel_size=(3,3), padding="same", activation="relu")(inp)
c1=tf.keras.layers.Conv2D(filters=64, kernel_size=(3,3), padding="same", activation="relu")(c1)
m1=tf.keras.layers.MaxPooling2D(pool_size=(2,2), strides=(2,2))(c1)

c2=tf.keras.layers.Conv2D(filters=128, kernel_size=(3,3), padding="same", activation="relu")(m1)
c2=tf.keras.layers.Conv2D(filters=128, kernel_size=(3,3), padding="same", activation="relu")(c2)
m2=tf.keras.layers.MaxPooling2D(pool_size=(2,2), strides=(2,2))(c2)

c3=tf.keras.layers.Conv2D(filters=256, kernel_size=(3,3), padding="same", activation="relu")(m2)
c3=tf.keras.layers.Conv2D(filters=256, kernel_size=(3,3), padding="same", activation="relu")(c3)

```

```

m3=tf.keras.layers.MaxPooling2D(pool_size=(2,2), strides=(2,2)) (c3)

c4=tf.keras.layers.Conv2D(filters=512,kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu") (m3)
c4=tf.keras.layers.Conv2D(filters=512,kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu") (c4)
m4=tf.keras.layers.MaxPooling2D(pool_size=(2,2), strides=(2,2)) (c4)

c5=tf.keras.layers.Conv2D(filters=1024,kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu") (m4)
c5=tf.keras.layers.Conv2D(filters=1024,kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu") (c5)

t6=tf.keras.layers.Conv2DTranspose(filters=512,kernel_size=(2,2),padding="valid", strides=(2,2)) (c5)
cc6=tf.keras.layers.concatenate([t6,c4])
c6=tf.keras.layers.Conv2D(filters=512,kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu") (cc6)
c6=tf.keras.layers.Conv2D(filters=512,kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu") (c6)

t7=tf.keras.layers.Conv2DTranspose(filters=256,kernel_size=(2,2),padding="valid", strides=(2,2)) (c6)
cc7=tf.keras.layers.concatenate([t7,c3])
c7=tf.keras.layers.Conv2D(filters=256,kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu") (cc7)
c7=tf.keras.layers.Conv2D(filters=256,kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu") (c7)

t8=tf.keras.layers.Conv2DTranspose(filters=128,kernel_size=(2,2),padding="valid", strides=(2,2)) (c7)
cc8=tf.keras.layers.concatenate([t8,c2])
c8=tf.keras.layers.Conv2D(filters=128,kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu") (cc8)
c8=tf.keras.layers.Conv2D(filters=128,kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu") (c8)

t9=tf.keras.layers.Conv2DTranspose(filters=64,kernel_size=(2,2),padding="valid", strides=(2,2)) (c8)
cc9=tf.keras.layers.concatenate([t9,c1])
c9=tf.keras.layers.Conv2D(filters=64,kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu") (cc9)
c9=tf.keras.layers.Conv2D(filters=64,kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu") (c9)

out=tf.keras.layers.Conv2D(filters=1,kernel_size=(3,3),padding="same",activation="sigmoid") (c9)

model=tf.keras.Model(inputs=[inp],outputs=[out])

cd//content/drive/MyDrive/Colab Notebooks

model.compile(optimizer='adam',loss='binary_crossentropy',metrics=('accuracy'))

from keras.callbacks import Callback

```

```

# Commented out IPython magic to ensure Python compatibility.
from tensorflow.keras.callbacks import TensorBoard
import datetime
# Cargamos la extensión, definimos la carpeta logs para guardar los datos
de entrenamiento, y definimos el callback
# %load_ext tensorboard
logdir = os.path.join("logs", datetime.datetime.now().strftime("%Y%m%d-
%H%M%S"))
tensorboard_callback = TensorBoard(logdir, histogram_freq=1)

"""Entrenamiento de red neuronal"""

model.fit(x_t,y_t,batch_size=1,epochs=100,validation_split=0.2,
callbacks=[tensorboard_callback])

# Commented out IPython magic to ensure Python compatibility.
# %reload_ext tensorboard
# %tensorboard --logdir logs --host localhost

y_true=x_t
y_pred=y_t
import matplotlib.pyplot as plt
import cv2
i=cv2.imread('mo6.png')
x_test = cv2.resize(i, (512, 512))

from numpy.ma.core import expand_dims
print (x_test.shape)
x_t=expand_dims(x_test,0)
print(x_t.shape)
preds = model.predict(x_t/255.0)
print(preds.shape )
print (max(preds))
j=np.squeeze(preds, (0,3))
z=(j*255)
plt.imshow(z)
print (np.max(preds))
print(preds)

```

## Código de programación de flujo óptico.

```

import cv2
import os
import numpy as np
PATH = r'/Users/darkangel/Downloads/cuadrosvid2/'
myfile = 'spd8.mp4'
video_path = os.path.join(PATH, myfile)

# Cargar el video
cap = cv2.VideoCapture(video_path)

# Leer el primer frame del video
ret, frame = cap.read()
prev_gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

```

```

# Preparar los puntos de seguimiento
feature_params = dict(maxCorners=200,
                      qualityLevel=0.3,
                      minDistance=7,
                      blockSize=7)
prev_points = cv2.goodFeaturesToTrack(prev_gray, mask=None,
**feature_params)

# Crear una máscara para dibujar los rastros
mask = np.zeros_like(frame)

# Iterar sobre los frames del video
while True:
    # Leer el siguiente frame
    ret, frame = cap.read()
    if not ret:
        break

    # Convertir a escala de grises
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    # Calcular el flujo óptico
    next_points, status, _ = cv2.calcOpticalFlowPyrLK(prev_gray, gray,
prev_points, None)

    # Seleccionar los puntos válidos
    valid_points = next_points[status == 1]
    valid_prev_points = prev_points[status == 1]

    # Dibujar los rastros
    for i, (next_point, prev_point) in enumerate(zip(valid_points,
valid_prev_points)):
        x1, y1 = next_point.ravel()
        x0, y0 = prev_point.ravel()
        x1 = int(x1)
        y1 = int(y1)
        x0 = int(x0)
        y0 = int(y0)

        mask = cv2.line(mask, (x1, y1), (x0, y0), (0, 255, 0), 3)
        frame = cv2.circle(frame, (x1, y1), 3, (255, 0, 0), 3)

    # Combinar el frame y la máscara
    output = cv2.add(frame, mask)
    #output=mask
    # Mostrar el frame con los rastros
    cv2.imshow("Video", output)

    # Actualizar los valores para el siguiente frame
    prev_gray = gray.copy()
    prev_points = valid_points.reshape(-1, 1, 2)

    # Detener la ejecución si se presiona la tecla 'q'
    if cv2.waitKey(500) & 0xFF == ord('q'):
        break

# Liberar los recursos

```

```
cap.release()  
cv2.destroyAllWindows()
```