

**Proceso de identificación automática de la región de interés en imágenes de larvas de mosquito de cuarto estadio, con fines de clasificación e identificación entre especies de vectores entomológicos**

**Process of automatic identification of the region of interest in images of fourth stage mosquito larvae, for the purpose of classification and identification among species of entomological vectors**

LUGO-RODRÍGUEZ, Pamela†\*, MORENO-ALVARADO, Rodolfo, CUATEPOTZO-JIMENEZ, Vanessa, SIMANCAS-ACEVEDO, Eric y ROBLES-CAMARILLO Daniel

*Universidad Politécnica de Pachuca, Posgrado UPP, MTIC*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Pamela, Lugo-Rodríguez* / **ORC ID:** 0000-0002-3181-9487, **Researcher ID Thomson:** T-3496-2018, **CVU CONACYT ID:** 783952

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Rodolfo, Moreno-Alvarado* / **ORC ID:** 0000-0001-8378-3941, **Researcher ID Thomson:** T-3577-2018, **CVU CONACYT ID:** 331535

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Vanessa, Cuatepotzo-Jiménez* / **ORC ID:** 0000-0003-4769-900X, **Researcher ID Thomson:** U-5616-2018, **CVU CONACYT ID:** 938554

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Eric, Simancas-Acevedo* / **ORD ID:** 0000-0001-7823-709X, **Researcher ID Thomson:** T-4733-2018, **CVU CONACYT ID:** 38750

ID 4<sup>to</sup> Coautor: *Daniel, Robles-Camarillo* / **ORC ID:** 0000-0002-7637-5904, **Researcher ID Thomson:** T-4560-2018, **CVU CONACYT ID:** 161666

P. Lugo, R. Moreno, V. Cuatepotzo, E. Simancas y D. Robles

\*pamelalugo.23@micorreo.upp.edu.mx

F. Trejo, (Dr.). Ciencias Biologicas y de la Salud, Proceedings-©ECORFAN-México, Pachuca, 2018.

## Abstract

The female of the mosquito of the genus *Aedes*, is considered the main carrier of the dengue virus, chikungunya fever, zika, and others. So, in support to the efforts made by the health authorities of the State of Hidalgo, it is intended to develop an Information Technologies system to identify in an automatic way mosquito larva at the species level. To achieve automation it is necessary to apply image processing techniques to the images of larvae, these techniques have as objective that the region of interest of the body of the larva that specifically is the region where the physiological characteristics are found can be determined automatically and in the same way for each image and thus use it as a training dataset to some classification algorithm that allows identified larvae.

## ROI, Larvas, Imágenes, TRD, Identificación, Mosquitos

### 1 Introducción

Las enfermedades transmitidas por vectores representan más del 17% de todas las enfermedades infecciosas y provocan cada año más de 700 000 defunciones; los vectores son organismos vivos que pueden transmitir enfermedades infecciosas entre personas, o de animales a personas, los mosquitos son los vectores de enfermedades mejor conocidos (World Health Organization, 2017), siendo identificados en el 2015 como el primer lugar de los animales más letales del mundo con 830 000 de muertes al año (WHO, Crocodile-attack, Kasturiratne, FAO, 2015). El mosquito del género-especie *Aedes aegypti* es considerado el principal vector portador de enfermedades como Zika, chikungunya y dengue, aunque también han sido encontradas en otras especies del género *Aedes albopictus* (Uribarren, 2017).

Estos vectores se distribuyen principalmente en zonas tropicales y subtropicales (Beltrán-Silva, Chacón-Hernández, Moreno-Palacios, & Pereyra-Molina, 2016), por lo que la ubicación geográfica de México permite un hábitat favorable para el desarrollo y supervivencia de éstos (INEGI, 2017), en el estado de Hidalgo se cuenta con el programa de prevención, promoción y control de enfermedades transmitidas por vectores el cual consiste en brigadas de recolección de muestras en las jurisdicciones sanitarias de los municipios, las cuales después de ser recolectadas son enviadas al laboratorio estatal de salud pública de Hidalgo (LESPH) donde los biólogos expertos en entomología, clasifican cada una de las larvas, identificando las características fisiológicas de los organismos, conocido como peine, el cual puede presentarse como un parche semi triangular de espinas, o una hilera de espinas, dependiendo la especie (Ibañez-Bernal, S Martínez-Campos, 1994), mediante la visualización de éstos en su etapa larvaria de cuarto estadio, dichas características únicamente pueden observarse haciendo uso de un microscopio y para determinar la especie a la que pertenece se comparan estas características con claves de identificación de mosquitos, por ejemplo Zootaxa o claves de identificación del instituto nacional de diagnóstico y referencia epidemiológicos.

Así en apoyo a los esfuerzos realizados por las autoridades de salud se pretende desarrollar un sistema de Tecnologías de Información que mediante fotos de microscopio identifique a nivel de especie las larvas de mosquito, reduciendo los tiempos de procesamiento y emisión de resultados del área de entomología del LESP.

El primer paso para este sistema, es identificar las características fisiológicas de las larvas, lo que se conoce como región de interés. Para lograr la extracción de esta región de interés (ROI, por sus siglas en inglés), es necesaria la estandarización del método de captura de la imagen, además de la aplicación de algoritmos de procesamiento de imágenes que serán explicados a detalle en este capítulo, los cuales permitirán extraer la ROI con el fin de que ésta sea usada como entrada de algún algoritmo inteligente que permita clasificar a las larvas.

### 2. Método de Captura de Imagen

La estandarización del método de captura es una de las partes esenciales para la identificación de la ROI, aunque se realizaron pruebas con imágenes de mosquitos obtenidas mediante técnicas de captura diferente, los resultados óptimos se obtuvieron a partir de las imágenes cuyo método de captura fue normalizado, esta normalización incluye la utilización de un dispositivo único de captura, controlar condiciones de iluminación, forma de captura (ángulo, distancia) y algunos otros materiales que permiten obtener una imagen adecuada para el sistema.

## 2.1 Cámara utilizada

Para el presente desarrollo se utilizó una cámara tipo “microscopio digital USB” de la marca CoolingTech figura 5.1, la cual cuenta con un sensor de imagen CMOS, rango de enfoque óptico de 0 mm a 40 mm y rango de acercamiento óptico manual de 50X a 500X, con conexión USB “B”, compatible con sistema operativo Windows.

Se hizo uso del software distribuido por el fabricante para calibrarla previamente con los siguientes parámetros de captura, mismos que se recomiendan para mejores resultados en la aplicación del proceso: Compensación de brillo neutra, compensación de contraste al 50%, matiz neutro, saturación al 64%, nitidez al 50%, corrección gamma al 50% y sin compensación de la luz de fondo.

**Figura 5.1** Microscopio digital USB



Fuente de Consulta: Elaboración Propia

## 2.2 Iluminación

Para evitar ruido en la imagen o diferencias provocadas por efecto de la iluminación ambiental, se ha usado una caja abierta plegable de polipropileno color blanco con dimensiones: 0.22 m x 0.23 m x 0.24 m, como estudio fotográfico portátil (sin marca disponible). Sobre las paredes al interior de la caja se instaló un módulo de lámparas LED ultrabrillante blanco marca Mitsu modelo MLM-5050WH, el montaje descrito se aprecia en la figura 5.2.

**Figura 5.2** Caja de iluminación



Fuente de Consulta: Elaboración Propia

### 2.3 Otros materiales

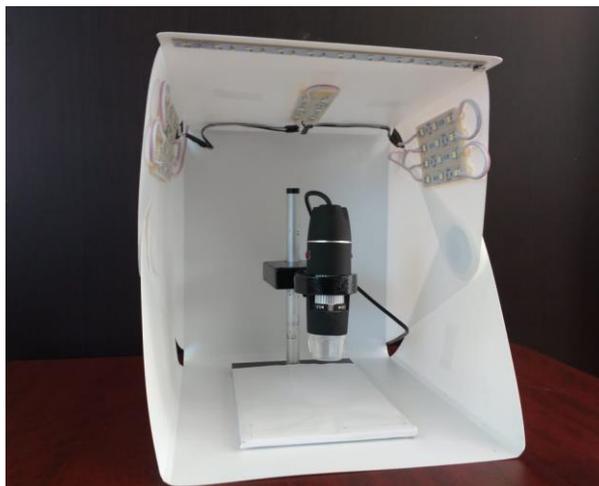
Otros materiales que se utilizaron para la preparación de los especímenes y la correspondiente obtención de las imágenes son:

- Pinzas Kelly curvas: Se utilizan para poder extraer a la larva del recipiente donde están alojadas desde su recolección, para colocarlas bajo el microscopio.
- Portaobjetos: Este se utiliza para ubicar a la larva bajo la cámara.
- Papel couché acabado mate: Por las características de las larvas, es necesario utilizar un fondo blanco para poder minimizar el ruido del ambiente al momento de capturar la foto, además el fondo debe contar con la característica de no ser poroso ni brillante para evitar reflejos de las lámparas LED, por ello las características del papel couché acabado mate, permiten que éste sea ideal para ser utilizado como fondo de la imagen, colocándose sobre la base del soporte de la cámara por debajo del portaobjetos.

### 2.3 Forma de Captura

Para capturar la foto es necesario que la cámara esté montada en el soporte que distribuye el mismo fabricante de la cámara para mantenerla fija e inmóvil en posición vertical, así mismo ésta debe estar dentro de la caja de iluminación con todos los módulos LED encendidos, la separación entre la cámara y el portaobjetos debe ser la mínima, prácticamente apoyada en el portaobjetos, así mismo es necesario que al colocar la larva en el portaobjetos, se agregue una gota de alcohol, con el fin de que la larva no se deshidrate, en la figura 5.3 se incluye una imagen del equipo de captura descrito.

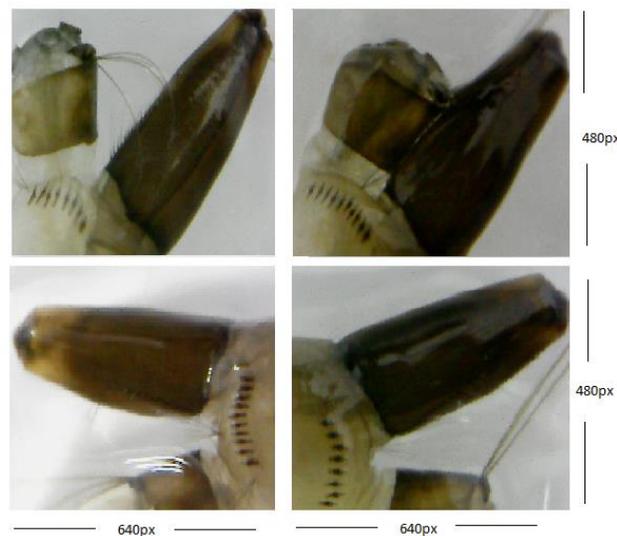
**Figura 5.3** Equipo de captura



Fuente de Consulta: Elaboración Propia

## 3. Desarrollo de algoritmos

Después de obtener la captura digital, la imagen que se obtiene debe tener el tamaño de 480 pixeles de altura por 640 pixeles de largo, con mapa de color estándar RGB de 8 bits y formato PNG; En dicha imagen se deben observar claramente el octavo segmento del abdomen, el sifón y el segmento anal de la larva de cuarto estadio, como se observa en la figura 5.4. Posterior a la obtención de las imágenes con las características mencionadas se pueden aplicar las técnicas de procesamiento de imágenes para obtener la ROI. Antes de comenzar es necesario almacenar una copia de la imagen, sin ninguna técnica aplicada.

**Figura 5.4** Imágenes Capturadas

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

### 3.1 Binarizado

El primer paso propuesto es el binarizado de la imagen. Es una técnica que consiste en la realización de un barrido en la matriz de la imagen digital recursivamente, con el fin de que el proceso produzca la reducción a dos únicos valores en resolución binaria de 8 bits: negro (0) y blanco (255), dicho en otras palabras, un sistema binario de ausencia y presencia de color 0-1. La comparación de cada píxel de la imagen está determinada por el umbral de sensibilidad (valor  $T = \text{Threshold}$ ), los valores que sean mayores que el umbral tendrán asignado el valor 255 (blanco) y los píxeles con valor numérico debajo del umbral se asignarán con 0 (negro) (Magro, 2013), para este trabajo se considera un umbral de 0.5, la figura 5.5 muestra el resultado del proceso mencionado.

$$G(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{si } g(x, y) < T \\ 1 & \text{si } g(x, y) \geq T \end{cases} \quad (1)$$

(Magro, 2013)

**Figura 5.5** Imagen original y binarizada

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

### 3.2 Cerradura morfológica

La morfología matemática se basa en el estudio de la geometría y forma mediante métodos matemáticos, el objetivo esencial es la extracción de estructuras geométricas mediante la utilización de un conjunto conocido como elemento estructura, la forma y tamaño del elemento estructura se elige de acuerdo a la extracción de formas que se desean obtener (Mart, Mej, M, & Mart, 2015).

La dilatación binaria es conocida como de expansión, se usa para rellenar huecos de tamaño igual o menor que el elemento estructura. Por otra parte, también existe la erosión, que es la operación inversa a la dilatación, actúa reduciendo la imagen, se utiliza para eliminar islas de menor tamaño que el elemento estructura.

La operación combinada de dilatación y erosión es llamada cierre o cerradura, y este produce que la dilatación rellene las estructuras que la erosión no puede eliminar. Los contornos de los objetos también serán suavizados, pero habiendo rellanado las fisuras (Mart et al., 2015).

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2)$$

(Mart et al., 2015)

Una vez que la imagen ha sido binarizada, la siguiente técnica que se necesita es la cerradura morfológica, cuya función ya ha sido explicada. Ésta técnica se aplica con el fin de obtener un objeto de interés con menos imperfecciones originadas en la captura a causa de factores no controlados por la normalización.

Es necesario aclarar que por ahora la ROI será todo el octavo segmento de la larva. Para la cerradura morfológica se hace uso de una estructura de disco de diferente tamaño para ambas operaciones (dilatación y erosión), esta estructura depende del área de la ROI en relación con el área total de la imagen, usando una estructura disco como se indica en la tabla 5.1, al terminar este paso es necesario generar un respaldo de la imagen con los resultados obtenidos hasta este punto. De modo que se cuenta con imágenes almacenadas que corresponden a la imagen original y la cerradura morfológica. Con esta técnica se obtienen imágenes como la que se muestra en la figura 5.6.

**Tabla 5.1** Tamaño de disco según área

Tamaño de disco	Valor de area
75	área ≤ 36% de la imagen total
45	36% < área ≤ 47% de la imagen total
5	47% < área ≤ 52% de la imagen total
Sin Cerradura	52% < área

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

**Figura 5.6** Imagen binarizada e imagen con Cerradura



Fuente de Consulta: Elaboración Propia

### 3.3 Transformada rápida de distancia

La transformada rápida de distancia (TRD) es un operador que normalmente solo se aplica a imágenes binarias. El resultado de la transformación es una imagen en escala de grises que parece similar a la imagen de entrada, excepto que las intensidades de grises de los puntos dentro de las regiones de primer plano se cambian para mostrar la distancia hasta el límite más cercano de cada punto (Mart et al., 2015), algunas de las funciones más comunes para obtener medidas de distancia son la euclidiana, City-block y la ChessBoard.

Por su parte la TRD, no necesita las funciones para obtener medidas que se mencionan anteriormente, existe un teorema que explica lo siguiente (Ramírez, 2011):

**Teorema:** Si  $d$  es una de las métricas  $d_4$ ,  $d_8$ ,  $d_{6R}$ ,  $d_{6L}$ , y  $N(c) = \{p_i \in \mathbb{Z}^2 \mid d(c, p_i) = 1\}$ , para  $c, p_i \in \mathbb{Z}^2$  y  $c \neq p_i$  se tiene que:

$$1. d(c, p) = \min\{d(p, p_i) : p_i \in N(c)\} + 1$$

$$2. d(c, p) = \max\{d(p, p_i) : p_i \in N(c)\} - 1$$

Con este teorema se puede definir lo siguiente: Sí se tiene la TRD de los vecinos de  $c$  se puede encontrar la transformación de distancia  $\delta(c)$ , donde (Ramírez, 2011):

$$\delta(c) = \min\{\delta(c) + 1\} \quad (3)$$

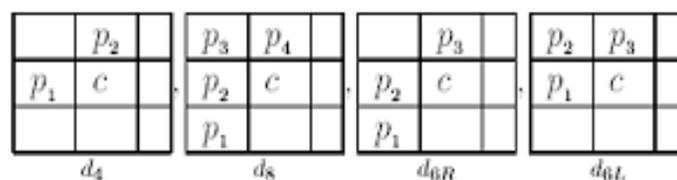
ahora se tiene la una transformada de distancia en 2 pasos:

1. Barrer la imagen binaria de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. Para cada pixel  $c \in R$ , donde  $R$  es la región de interés, se asigna (Ramírez, 2011):

$$\delta(c) = 1 + \min(\delta(p_j) : p_j \in E) \quad (4)$$

Donde  $E$  es alguno de los siguientes conjuntos

**Figura 5.7** Conjunto  $E$  según la métrica



Fuente de Consulta: Memorias Asociativas en álgebra min y max robustas al ruido mezclado (Ramírez, 2011)

solo los puntos asignados en  $E$  son usados en la primera parte de la transformación.

2. Barrer la imagen binaria de abajo hacia arriba y de derecha a izquierda. Para cada pixel  $c \in R$ , donde  $R$  es la región de interés se asigna:

$$\delta(c) = \min\{\delta(c), 1 + \min(\delta(p_i) : p_i \in D)\} \quad (5)$$

$D$  es alguno de los siguientes conjuntos según la métrica a utilizar; solo los puntos asignados en  $D$  son usados para la segunda parte de la transformación:



**Figura 5.10** Borde obtenido con TRD



Fuente de Consulta: Elaboración Propia

**Figura 5.11** Rellenado de Borde

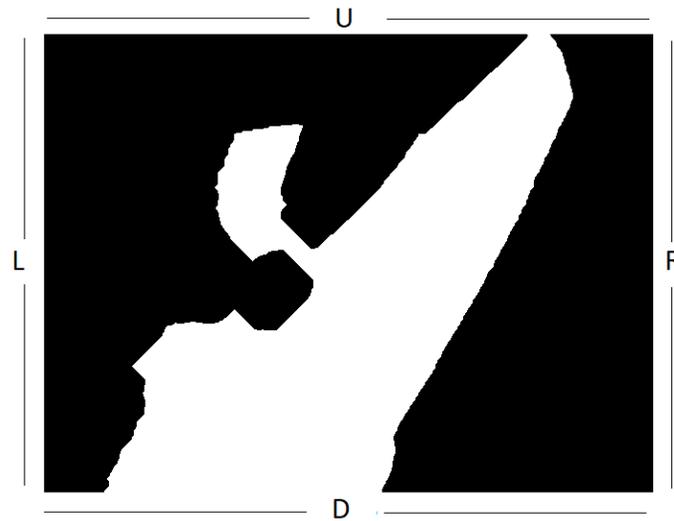


Fuente de Consulta: Elaboración Propia

### 3.4 Determinar la región de interés

Para determinar la región de interés, es necesario utilizar la imagen en tonos de grises obtenida por TRD a la cual se hará referencia desde ahora como  $img_{TRD}$ , la imagen rellena a partir de TRD, a la cual se hará referencia desde ahora como  $img_{Bin}$ , y la imagen original que se identificará como  $img_O$ , además la región de interés en este punto será la ROI objetivo, que contiene las características fisiológicas de las larvas de mosquitos.

Para el primer paso es necesario identificar donde se encuentra ubicado el cuerpo de la larva dentro de la imagen, para ello se debe identificar los lados de la imagen los cuales se etiquetan como en la figura 5.12.

**Figura 5.12** Identificación de lados

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

Estas etiquetas permiten ubicar las diferentes combinaciones en las que se puede encontrar el cuerpo de la larva, las combinaciones son:

1. Se encuentra únicamente en L
2. Se encuentra únicamente en R
3. Se encuentra únicamente en U
4. Se encuentra únicamente en D
5. Se encuentra en D y R
6. Se encuentra en D y L
7. Se encuentra en U y R
8. Se encuentra en U y L
9. Se encuentra en U, R y D
10. Se encuentra en U, L, D

Para determinar en qué posición se encuentra el cuerpo de la larva es necesario hacer una suma de los elementos de la imagen `imgBin` únicamente en la columna izquierda, la columna derecha, la fila superior y la fila inferior, dicha suma se almacenará con la etiqueta respectiva de cada posición:

L para la columna izquierda  
 R para la columna derecha  
 U para la fila superior  
 D para la fila inferior

Una vez identificados y obtenida la suma de los extremos, la combinación de donde está situado el octavo segmento se obtiene mediante las siguientes condicionales:

1. Sí la suma de cualquiera de los extremos es superior al 75% de la altura de la imagen a dicho extremo se le asigna por valor un 0. Por ejemplo, las imágenes utilizadas para esta propuesta tienen dimensiones de 480 de altura x 640 de ancho, entonces si L tuviese un valor de 390, al ser 390 mayor a 360 valor que corresponde al 75% de la altura de la imagen, L pasaría a tener un valor de 0, y así con cada uno de los extremos. La razón del 75% es porque al realizar pruebas se observó, que el 87.03% de las imágenes con las que se trabajó que sobrepasan esta medida en cualquiera de los extremos representan que el octavo segmento de la larva se encuentra en una posición donde la parte del sifón o el segmento anal, están localizados en los extremos lo que significa que dicho extremo nos daría coordenadas incorrectas de la ROI.
2. Para asignar valores a las combinaciones DR, DL, UR y UL se deben cumplir las siguientes condiciones:

Para DR:

- a. R debe tener un valor asignado diferente de cero.
- b. Si R es mayor a D, D debe ser mayor o igual al 60% de R, en caso contrario R debe ser mayor o igual al 60% de D, en ambos casos el valor asignado a DR es igual a D+R.
- c. El valor asignado a DR debe cumplir con el punto 1, si DR supera el 75% de la altura de la imagen su valor se convierte en 0.

Para UR:

- a. R debe tener un valor asignado diferente de cero.
- b. Si R es mayor a U, U debe ser mayor o igual al 60% de R, en caso contrario R debe ser mayor o igual al 60% de U, en ambos casos el valor asignado a UR es igual a U+R.
- c. El valor asignado a UR debe cumplir con el punto 1, si UR supera el 75% de la altura de la imagen su valor se convierte en 0.

Para LR:

- a. L debe tener un valor asignado diferente de cero.
- b. Si L es mayor a D, D debe ser mayor o igual al 60% de L, en caso contrario L debe ser mayor o igual al 60% de D, en ambos casos el valor asignado a DL es igual a D+L.
- c. El valor asignado a DL debe cumplir con el punto 1, si DL supera el 75% de la altura de la imagen su valor se convierte en 0.

Para UL

- a. L debe tener un valor asignado diferente de cero.
  - b. Si L es mayor a U, U debe ser mayor o igual al 60% de L, en caso contrario L debe ser mayor o igual al 60% de U, en ambos casos el valor asignado a UL es igual a U+L.
  - c. El valor asignado a UL debe cumplir con el punto 1, si UL supera el 75% de la altura de la imagen su valor se convierte en 0.
3. Para asignar valores a las combinaciones URD, ULD se deben cumplir las siguientes condiciones:
- a. Si el valor absoluto de U-D menor o igual a 30, y R es mayor que L, a URD se le asigna la suma U+D.
  - b. Si el valor absoluto de U-D menor o igual a 30, y L es mayor que R, a ULD se le asigna la suma U+D.

Hasta este punto se ha asignado un valor a cada etiqueta de posiciones, el paso siguiente es determinar cuál de las 10 etiquetas tiene asignado el valor numérico más grande, y una vez determinado se realizan los siguientes pasos, para cada una de las opciones se trabaja con la imagen imgBin e imgTRD:

1. Si L es el más grande:
  - a. En la imagen imgBin en el extremo L, se buscan todos los pixeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
  - b. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primer coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un pixel en blanco, y también se identifica la coordenada máxima, que representa la última coordenada o coordenada final donde se encuentra un pixel en blanco. Estas coordenadas representan las coordenadas donde inicia y termina el octavo segmento de la larva, por lo que serán las coordenadas de corte.

Para los siguientes pasos se trabaja con imgTRD

- c. Si la coordenada final, excede el tamaño de imgTRD, se asigna como coordenada final, el valor del tamaño de imgTRD,

- d. Se suman todas las filas existentes de `imgTRD` entre las coordenadas de corte, de este proceso se obtiene el mismo número de resultados que el de las filas existentes entre las coordenadas de corte, se selecciona el mayor de estos resultados, y a la fila que obtuvo ese valor, se le suma el valor de la coordenada inicial, esto para tomar en cuenta los píxeles en negro y se convierte en la coordenada de “Fila” de nuestra ROI.
- e. Para obtener la coordenada “Columna” de la ROI se suman todas las columnas existentes de `imgTRD` entre las coordenadas de corte, de este proceso se obtiene el mismo número de resultados que el de las columnas existentes entre las coordenadas de corte, se selecciona el mayor de estos resultados, en caso de que la coordenada seleccionada sobre pasa el tamaño de `imgTRD/2`, se asigna como coordenada la coordenada `imgTRD/2` y se convierte en la coordenada de columna de la ROI.

**2.** Si R es el más grande:

- a. En la imagen `imgBin` en el extremo R, se buscan todos los píxeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
- b. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primer coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un pixel en blanco, y también se identifica la coordenada máxima, que representa la última coordenada o coordenada final donde se encuentra un pixel en blanco. Estas coordenadas representan las coordenadas donde inicia y termina el octavo segmento de la larva, por lo que serán las coordenadas de corte.

Para los siguientes pasos se trabaja con `imgTRD`

- c. Si la coordenada final, excede el tamaño de `imgTRD`, se asigna como coordenada final, el valor del tamaño de `imgTRD`,
- d. Se suman todas las filas existentes de `imgTRD` entre las coordenadas de corte, de este proceso se obtiene el mismo número de resultados que el de las filas existentes entre las coordenadas de corte, se selecciona el mayor de estos resultados, y a la fila que obtuvo ese valor, se le suma el valor de la coordenada inicial, esto para tomar en cuenta los píxeles en negro y se convierte en la coordenada de “Fila” de la ROI.
- e. Para obtener la coordenada “Columna” de la ROI se suman todas las columnas existentes de `imgTRD` entre las coordenadas de corte, de este proceso se obtiene el mismo número de resultados que el de las columnas existentes entre las coordenadas de corte, se selecciona el mayor de estos resultados, en caso de que la coordenada seleccionada sea menor que el tamaño de `imgTRD/2`, se asigna como coordenada el tamaño horizontal de `imgTRD` y se convierte en la coordenada de “Columna” de la ROI.

**3.** Si D es el más grande:

- a. En la imagen `imgBin` en el extremo D, se buscan todos los píxeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
- b. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primer coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un pixel en blanco, y también se identifica la coordenada máxima, que representa la última coordenada o coordenada final donde se encuentra un pixel en blanco. Estas coordenadas representan las coordenadas donde inicia y termina el octavo segmento de la larva, por lo que serán las coordenadas de corte.

Para los siguientes pasos se trabaja con `imgTRD`:

- c. Si  $R+10$  o  $L+10$  es mayor igual a D, se asigna como ultima coordenada el tamaño horizontal de `imgTRD`, en caso contrario si la coordenada final encontrada en punto “a” es mayor a las dimensiones de `imgTRD`, se le asigna el tamaño horizontal de `imgTRD`.
- d. Si L es mayor a 35 y es mayor a R la coordenda inicial es 2, en otro caso si R es mayor a 35 y es mayor que L la coordenada final es el tamaño horizontal de `imgTRD`.
- e. Se suman todas las filas existentes de `imgTRD` entre las coordenadas de corte, de este proceso se obtiene el mismo número de resultados que el de columnas existentes entre las coordenadas de corte, se selecciona el mayor de estos resultados, y a la columna que obtuvo ese valor, se le suma el valor de la coordenada inicial, esto para tomar en cuenta los píxeles en negro y se convierte en la coordenada “Columna” de la ROI

- f. Si la coordenada inicial es igual o mayor al tamaño horizontal  $\text{imgTRD}/2-35$  o el punto final es igual o menor al tamaño horizontal  $\text{imgTRD}/2-35$  a la coordenada columna se le asigna el valor medio entre la coordenada inicial y la final.
- g. Para identificar la coordenada "Fila", se buscan puntos de corte como en el paso "a" únicamente dentro de la columna seleccionada como coordenada columna, y la coordenada fila corresponde a la coordenada media entre la coordenada inicial y la final.

**4.** Si U es el más grande:

- a. En la imagen  $\text{imgBin}$  en el extremo U, se buscan todos los píxeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
- b. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primera coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un píxel en blanco, y también se identifica la coordenada máxima, que representa la última coordenada o coordenada final donde se encuentra un píxel en blanco. Estas coordenadas representan las coordenadas donde inicia y termina el octavo segmento de la larva, por lo que serán las coordenadas de corte.

Para los siguientes pasos se trabaja con  $\text{imgTRD}$ :

- c. Si  $R+10$  o  $L+10$  es mayor igual a U, se asigna como última coordenada el tamaño horizontal de  $\text{imgTRD}$ , en caso contrario si la coordenada final encontrada en punto "a" es mayor a las dimensiones de  $\text{imgTRD}$ , se le asigna el tamaño horizontal de  $\text{imgTRD}$ .
- d. Si L es mayor a 35 y es mayor a R la coordenada inicial es 2, en otro caso si R es mayor a 35 y es mayor que L la coordenada final es el tamaño horizontal de  $\text{imgTRD}$ .
- e. Se suman todas las filas existentes de  $\text{imgTRD}$  entre las coordenadas de corte, de este proceso se obtiene el mismo número de resultados que el de columnas existentes entre las coordenadas de corte, se selecciona el mayor de estos resultados, y a la columna que obtuvo ese valor, se le suma el valor de la coordenada inicial, esto para tomar en cuenta los píxeles en negro y se convierte en la coordenada "Columna" de la ROI
- f. Si la coordenada inicial es igual o mayor al tamaño horizontal  $\text{imgTRD}/2-35$  o el punto final es igual o menor al tamaño horizontal  $\text{imgTRD}/2-35$  a la coordenada "Columna" se le asigna el valor medio entre la coordenada inicial y la final.
- g. Para identificar la coordenada "Fila", se buscan puntos de corte como en el paso "a" únicamente dentro de la columna seleccionada como coordenada "Columna", y la coordenada "Fila" corresponde a la coordenada media entre la coordenada inicial y la final.

**5.** Si DR es el más grande:

- a. En la imagen  $\text{imgBin}$  en el extremo D, se buscan todos los píxeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
- b. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primera coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un píxel en blanco.
- c. En la imagen  $\text{imgTRD}$  se busca el valor máximo entre el punto de corte y el final de la imagen (tamaño horizontal de  $\text{imgTRD}$ ). Y se asigna como "Columna" a la coordenada que contiene el máximo valor.
- d. En la imagen  $\text{imgBin}$  en el extremo R, se buscan todos los píxeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
- e. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primera coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un píxel en blanco.
- f. En la imagen  $\text{imgTRD}$  se busca el valor máximo entre el punto de corte y el final de la imagen (tamaño vertical de  $\text{imgTRD}$ ), únicamente en el extremo derecho, la coordenada donde se encuentre se convierte en la coordenada "Fila"

**6.** Si DL es el más grande:

- a. En la imagen imgBin en el extremo D, se buscan todos los píxeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
- b. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primer coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un píxel en blanco.
- c. En la imagen imgTRD se busca el valor máximo entre el punto de corte y el final de la imagen (tamaño horizontal de imgTRD). Y se asigna como “Columna” a la coordenada que contiene el máximo valor.
- d. En la imagen imgBin en el extremo L, se buscan todos los píxeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
- e. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primer coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un píxel en blanco.
- f. En la imagen imgTRD se busca el valor máximo entre el punto de corte y el final de la imagen (tamaño vertical de imgTRD), únicamente en el extremo izquierdo, la coordenada donde se encuentre se convierte en la coordenada “Fila”.

**7.** Si UR es el más grande:

- a. En la imagen imgBin en el extremo U, se buscan todos los píxeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
- b. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primer coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un píxel en blanco.
- c. En la imagen imgTRD se busca el valor máximo entre el punto de corte y el final de la imagen (tamaño horizontal de imgTRD). Y se asigna como “Columna” a la coordenada que contiene el máximo valor.
- d. En la imagen imgBin en el extremo R, se buscan todos los píxeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
- e. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primer coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un píxel en blanco.
- f. En la imagen imgTRD se busca el valor máximo entre el punto de corte y el final de la imagen (tamaño vertical de imgTRD), únicamente en el extremo derecho, la coordenada donde se encuentre se convierte en la coordenada “Fila”.

**8.** Si UL es el más grande:

- a. En la imagen imgBin en el extremo U, se buscan todos los píxeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
- b. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primer coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un píxel en blanco.
- c. En la imagen imgTRD se busca el valor máximo entre el punto de corte y el final de la imagen (tamaño horizontal de imgTRD). Y se asigna como “Columna” a la coordenada que contiene el máximo valor.
- d. En la imagen imgBin en el extremo L, se buscan todos los píxeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
- e. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primer coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un píxel en blanco.
- f. En la imagen imgTRD se busca el valor máximo entre el punto de corte y el final de la imagen (tamaño vertical de imgTRD), únicamente en el extremo izquierdo, la coordenada donde se encuentre se convierte en la coordenada “Fila”.

**9.** Si URD es el más grande:

- a. En la imagen imgBin en el extremo U, se buscan todos los píxeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
- b. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primer coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un píxel en blanco.
- c. En la imagen imgBin en el extremo D, se buscan todos los píxeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.

- d. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primer coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un pixel en blanco.
  - e. Se hace una comparación entre la coordenada inicial del punto “b” y la coordenada inicial del punto “c” y se conserva la menor.
  - f. En la imagen imgTRD se busca el valor máximo entre el punto de corte y el final de la imagen (tamaño horizontal de imgTRD). Y se asigna como “Columna” a la coordenada que contiene el máximo valor.
  - g. La coordenada “Fila” se obtiene a partir del valor máximo en imgTRD de la columna seleccionada.
- 10.** Si ULD es el más grande:
- a. En la imagen imgBin en el extremo U, se buscan todos los pixeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
  - b. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primer coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un pixel en blanco.
  - c. En la imagen imgBin en el extremo D, se buscan todos los pixeles con un valor de 255, que representan los blancos, con esto se obtienen las coordenadas de su ubicación.
  - d. Se identifica la coordenada mínima, que representa la primer coordenada o coordenada inicial donde se encuentra un pixel en blanco.
  - e. Se hace una comparación entre la coordenada inicial del punto “b” y la coordenada inicial del punto “c” y se conserva la menor.
  - f. En la imagen imgTRD se busca el valor máximo entre el punto de corte y el final de la imagen (tamaño horizontal de imgTRD). Y se asigna como “Columna” a la coordenada que contiene el máximo valor.
  - g. La coordenada “Fila” se obtiene a partir del valor máximo en imgTRD de la columna seleccionada.
- 11.** Caso Especial:

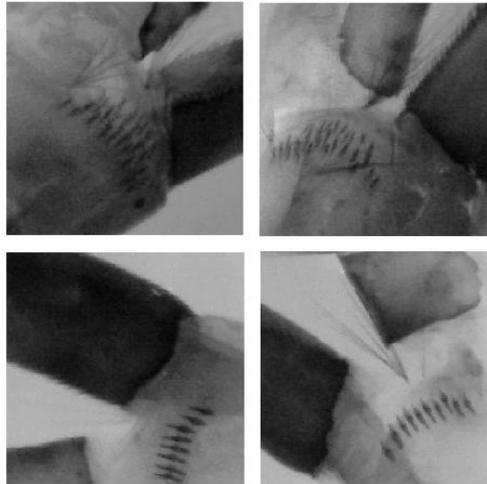
Cuando el octavo segmento de la larva no se encuentre, situado en ninguna de las combinaciones vistas, la forma de encontrar las coordenadas “Fila” y la coordenada “Columna” es la siguiente:

- a. Se hace una suma de todas las columnas, obtenido tantos resultados como columnas tenga la imagen y se encuentra el máximo valor, que se asigna como coordenada “Columna”
- b. Se hace una suma de todas las filas, obtenido tantos resultados como filas tenga la imagen y se encuentra el máximo valor, que se asigna como coordenada “Fila”.
- c. A partir de la coordenada “Fila” se busca en imgTRD, el valor máximo y se compara con la coordenada “Columna” ya asignada, si el valor máximo nuevo es mayor al ya asignado, el valor de coordenada “Columna” se modifica por el nuevo valor, lo mismo ocurre con la coordenada “Fila”.

Una vez identificada la coordenada “Columna” y la coordenada “Fila”, ya se tiene el punto central de nuestra ROI, después de esto se puede asignar una distancia cualquiera, para esta propuesta se asignó una distancia de 180 pixeles, los cuales se restarán y sumarán, horizontal y verticalmente al punto central encontrado, para obtener una región de interés de 360x360, en caso de que al sumar o restar los 180 pixeles a las coordenadas centrales de la ROI, se obtuvieran coordenadas fuera de las dimensiones de la imagen, se toma como coordenada el tamaño de la imagen, y los pixeles sobrantes se asignan del lado contrario para asegurar que la ROI siempre tenga las mismas dimensiones, por ejemplo:

Si el centro de la ROI se encuentra en la coordenada 224,630, con imágenes de dimensión 480x640 se tendría que hacer las siguientes operaciones:  $224-180=44$ ,  $224+180=404$  en ninguno de estos casos hay problemas, sin embargo  $630-180=450$ ,  $630+180=810$ , el 810 es superior al tamaño de la imagen por lo que a  $630+180$  se le asigna 640, sobraron por agregar  $810-640=170$ , así que a los 450 obtenidos al restar  $630-180$ , se le restan los 170 faltantes  $450-170=280$ , la ROI resultante es un rectángulo con coordenadas en la esquina inferior izquierda de 404,280 y coordenadas en la esquina superior derecha 44,640.

Después de obtener estas coordenadas se hace el recorte correspondiente a la imagen imgO figura 5.13, obteniendo como resultado la ROI la cual contiene las características fisiológicas de las larvas que sirven para diferenciar entre especies.

**Figura 5.13 ROI**

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

## Resultados

Al aplicar los algoritmos propuestos en este trabajo a 413 imágenes de larvas de mosquito, con dimensiones de 480 x 640 se obtuvieron las 413 ROI con dimensiones de 360 x 360, en las que se puede observar las características fisiológicas del octavo segmento, que facilitan la identificación de las larvas de mosquito (peine espicular).

A continuación, se muestran los resultados obtenidos con pruebas de clasificadores, las cuales sirven para comprobar que la región de interés obtenida a partir de los algoritmos propuestos es de utilidad en la identificación de vectores entomológicos.

Las pruebas realizadas se hicieron con 26 imágenes de regiones de interés obtenidas mediante los algoritmos propuestos, de 4 especies diferentes de mosquitos así que se utilizaron:

- 26 imágenes de ROI de *Aedes aegypti*
- 26 imágenes de ROI de *Aedes albopictus*
- 26 imágenes de ROI de *Culex coronator*
- 26 imágenes de ROI de *Ochlerotatus epactius*

Para estas pruebas se hizo uso de los siguientes clasificadores, obtenido el porcentaje de clasificación mostrado:

**Tabla 5.2 Clasificadores**

Clasificador	Porcentaje de clasificacion
Medium Tree	75.0%
Coarse Tree	51.0%
Linear Discriminant	45.2%
Quadratic Discriminant	46.2%
Linear SVM	45.2%
Quadratic SVM	55.8%
Cubic SVM	58.7%
Fine Gaussian SVM	84.6%
Medium Gaussian SVM	54.8%
Coarse Gaussiam SVM	43.3%

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

El Clasificador Fine Gaussian SVM que obtuvo un 84.6% de porcentaje de clasificacion, arroja las siguientes matrices de confusion:

**Figura 5.14** Matriz de confusión

True class	Aegypti	18	2	3	3
	Albopic	1	21	2	2
	CuCoron			25	1
	OchEpac			2	24
		Aegypti	Albopic	CuCoron	OchEpac
		Predicted class			

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

**Figura 5.15** Matriz de confusión

Model 1.9							
True class	Aegypti	69%	8%	12%	12%	69%	31%
	Albopic	4%	81%	8%	8%	81%	19%
	CuCoron			96%	4%	96%	4%
	OchEpac			8%	92%	92%	8%
		Aegypti	Albopic	CuCoron	OchEpac		
		Predicted class					

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

**Figura 5.16** Matriz de confusión

True class	Aegypti	95%	9%	9%	10%				
	Albopic	5%	91%	6%	7%				
	CuCoron			78%	3%				
	OchEpac			6%	80%				
		Aegypti	Albopic	CuCoron	OchEpac				
		Positive Predictive Value				95%	91%	78%	80%
		False Discovery Rate				5%	9%	22%	20%
		Predicted class							

Fuente de Consulta: Elaboración Propia

La matriz de confusión de la figura 5.14 muestra el número de imágenes clasificadas correcta e incorrectamente del total de las 26 imágenes utilizadas por especie, en la figura 5.15 se puede apreciar estos mismos datos, pero indicando el porcentaje de clasificación, por último, la figura 5.16 nos muestra una tabla de confusión en la que los porcentajes representan una predicción de clasificación al usar imágenes diferentes al *dataset* de entrenamiento.

Como se puede observar en la tabla de porcentajes y en las matrices de confusión, la máquina de soporte vectorial presenta una mejor clasificación al comparar entre diferentes especies usando la ROI obtenida en este trabajo, alcanzando el porcentaje de clasificación del 84.6%, lo que permite decir que esta región es de utilidad en la clasificación de vectores entomológicos.

### Agradecimientos

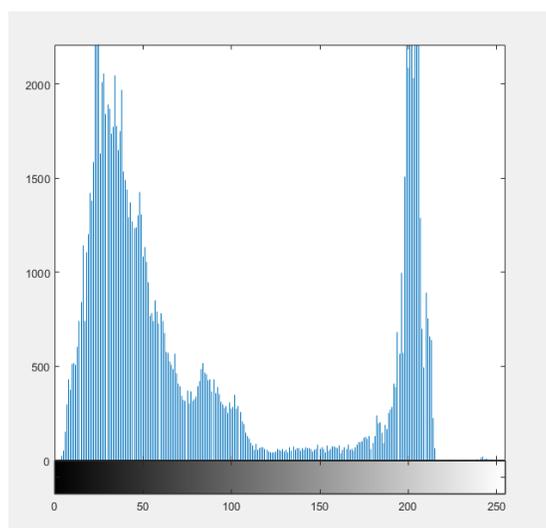
Los autores de este artículo agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo en la realización de esta investigación, a través de la beca nacional número: 451907. A si mismo agradecemos a las autoridades del Laboratorio Estatal de Salud Pública de Hidalgo (LESPH), especialmente a los biólogos del laboratorio de Entomología por la colaboración que hizo posible esta investigación. Del mismo modo a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Politécnico Nacional ESIME-Culhuacán, por la asesoría académica para la realización de la investigación.

### Conclusiones

Con los resultados obtenidos y en comparación con el trabajo titulado “Mosquito Larva Classification Method Based on Convolutional Neural Networks” (Sanchez-Ortiz et al., 2017), presentado en el 2017, donde se analiza la clasificación basada en redes neuronales convolucionales y procesamiento de imagen, determinado la región de interés en el octavo segmento, sin hacerlo de manera automática se puede concluir que es posible extraer la región de interés de larvas de mosquito de forma automática y obtener resultados aceptables en la identificación con clasificadores, pero de forma totalmente automática.

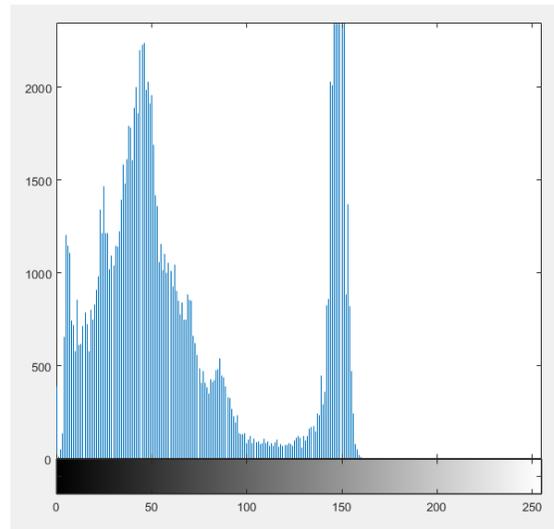
También se puede concluir que, durante las pruebas realizadas para obtener los resultados, se pudo notar que para las imágenes que tienen un histograma como el de la figura 5.17, el método propuesto funciona erráticamente, sin embargo, cuando el histograma de la imagen tiene siguientes características mostradas en la figura 5.18, el método propuesto no tiene ningún problema al extraer la ROI. Se puede observar que en el histograma de la figura 5.17 se tiene una alta concentración de datos, en las zonas más oscuras de la imagen, lo que permite identificar de que se trata de una imagen con una coloración oscura, esta coloración oscura en la larva puede tener diferentes motivos, que pueden originarse incluso desde el momento en que las brigadas de recolección, capturan a las larvas.

**Figura 5.17** Histograma donde la ROI no se extrae de forma adecuada



Fuente de Consulta: Elaboración Propia

**Figura 5.18** Histograma donde la ROI se extrae de forma adecuada



Fuente de Consulta: Elaboración Propia

## Referencias

- Beltrán-Silva, S. L., Chacón-Hernández, S. S., Moreno-Palacios, E., & Pereyra-Molina, J. Á. (2016). Clinical and differential diagnosis: Dengue, chikungunya and Zika. *Revista Médica Del Hospital General de México*. <https://doi.org/10.1016/j.hgmx.2016.09.011>
- Ibañez-Bernal, S Martínez-Campos, C. (1994). Clave para la identificación de larvas de mosquitos comunes en las areas urbanas y suburbanas de la republica mexicana. *Folia Entomologia Mexicana*, 92.
- INEGI. (2017). Regiones naturales y biogeografía de México. *Tecnología Educativa*, 38. Retrieved from <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/regionesnaturalesbiogeografiamexico.pdf>
- Magro, R. (2013). Binarización De Imágenes Digitales Y Su Algoritmia Como Herramienta Aplicada a La Ilustración Entomológica, 3112, 53–443. Retrieved from <http://sea-entomologia.org/PDF/Boletin53/443464BSEA53BinarizacionRMagro.pdf>
- Mart, E., Mej, R. I., M, E. A., & Mart, E. (2015). “Yeztli: Sistema de clasificación de anomalías en eritrocitos para pre diagnóstico de enfermedades mediante análisis de imágenes y reconocimiento de patrones.”
- Ramírez, J. C. S. (2011). Memorias Asociativas en ´ algebra min y max robustas al ruido mezclado.
- Sanchez-Ortiz, A., Fierro-Radilla, A., Arista-Jalife, A., Cedillo-Hernandez, M., Nakano-Miyatake, M., & Robles-Camarrillo, Daniel Cuatepotzo-Jimenez, V. (2017). Mosquito Larva Classification Method Based on Convolutional Neural Networks, 6.
- Uribarren, T. (2017). Dengue, y otras infecciones no hemorrágicas: fiebre chikungunya, zika, fiebre del nilo occidental y otros arbovirus., 23.
- WHO, Crocodile-attack, Kasturiratne, FAO, L. A. de maddalena. (2015). World’s Deadliest Animals. Retrieved from <https://www.gatesnotes.com/Health/Most-Deadly-Animal-Mosquito-Week-2016>
- World Health Organization. (2017). Enfermedades transmitidas por vectores, 1–5. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs387/es/>