



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 998 518**

⑮ Int. Cl.:

<b>A01K 67/033</b>	(2006.01)	<b>G06V 20/66</b>	(2012.01)
<b>A01M 1/02</b>	(2006.01)		
<b>A01K 29/00</b>	(2006.01)		
<b>G06N 5/02</b>	(2013.01)		
<b>B07C 5/342</b>	(2006.01)		
<b>B07C 5/36</b>	(2006.01)		
<b>A01M 1/22</b>	(2006.01)		
<b>G06N 3/08</b>	(2013.01)		
<b>G06V 10/141</b>	(2012.01)		
<b>G06V 20/00</b>	(2012.01)		

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧6 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.08.2020 PCT/IL2020/050927**

⑧7 Fecha y número de publicación internacional: **04.03.2021 WO21038561**

⑨6 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.08.2020 E 20856416 (1)**

⑨7 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2024 EP 4018372**

⑯4 Título: **Sistema y método para la clasificación sexual de insectos preadultos**

⑩3 Prioridad:

**25.08.2019 US 201962891360 P**

⑯5 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.02.2025**

⑯73 Titular/es:

**DIPTERA.AI LTD. (100.00%)  
P.O.B. 39047  
9139001 Jerusalem, IL**

⑯72 Inventor/es:

**LIVNE, ARIEL y  
ORDAN, ELLY**

⑯74 Agente/Representante:

**IZQUIERDO BLANCO, María Alicia**

ES 2 998 518 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Sistema y método para la clasificación sexual de insectos preadultos

## 5 CAMPO DE LA INVENCIÓN

**[0001]** La presente invención se relaciona con el campo de la clasificación de insectos. Más específicamente, la presente invención se refiere a un sistema y método para la clasificación por sexo de insectos preadultos.

## 10 ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

**[0002]** La identificación y separación de insectos macho y hembras es necesaria en diversos aspectos agrícolas e industriales. Por ejemplo, la cría industrial de insectos, por ejemplo, como fuente de proteínas o para la eliminación de desechos, busca optimizar la reproducción para un mayor rendimiento. Esto depende, en parte, de la proporción de sexos de machos y hembras en las jaulas de cría. En otro ejemplo, los insectos desempeñan un papel importante en la investigación genética, ya que tienen ciclos de vida cortos y son fáciles de trabajar y contener. La identificación y separación de insectos macho y hembras son necesarias en cualquier estudio genético. La separación de sexos a gran escala se considera además altamente deseable o esencial para la técnica de insectos estériles (TIE). La TIE es un método de control de plagas de insectos que implica la cría y esterilización en masa, por ejemplo, utilizando radiación, 15 manipulación genética, esterilización química, ARNi e infección con Wolbachia, de una plaga objetivo, seguida de la liberación sistemática en toda el área de los machos estériles, sobre áreas definidas. Los machos estériles se aparean con hembras silvestres, lo que da como resultado menos crías y una población de plagas en declive. La Convención Internacional de Protección Fitosanitaria clasifica a los insectos estériles como organismos benéficos. La TIE se diferencia 20 de control biológico clásico, que implica la introducción de agentes de control biológico no nativos, en varios aspectos: (1) los insectos estériles no se autorreplican y, por lo tanto, no pueden establecerse en el medio ambiente, (2) la interrupción del ciclo reproductivo de la plaga, también llamada control autocida, es por definición específica de la especie, 25 y (3) la TIE no introduce especies no nativas en un ecosistema.

**[0003]** La aplicación de la técnica de insectos estériles (TIE) requiere un sistema de separación de sexos eficiente y eficaz. 30 Los sistemas de separación de sexos eliminan a las hembras de la línea de producción y antes de la liberación en el campo de los machos estériles. Esto es particularmente importante para el control de mosquitos porque las hembras pican y pueden transmitir enfermedades y, por lo tanto, se debe evitar su liberación.

**[0004]** Los métodos actuales de separación biológica de sexos presentan inconvenientes, como el hecho de que se basan 35 en caracteres sexualmente dimórficos (por ejemplo, tamaño o tasa de desarrollo) que están sujetos a variación natural, lo que requiere un ajuste y recalibración regulares de los sistemas de clasificación utilizados. Se llevan a cabo en la etapa de pupa y/o de adulto.

**[0005]** Los métodos de separación de sexos basados en el uso y liberación de organismos genéticamente modificados 40 se enfrentan a regulación y oposición pública.

**[0006]** En la técnica se describen varias soluciones que intentan automatizar la separación de mosquitos adultos.

**[0007]** La solicitud PCT WO/2018/134829 divulga un aparato y un método para la clasificación mecánica por sexo de 45 mosquitos mediante la extracción de una clase de mosquitos de mosquitos no clasificados. Esta publicación enseña la separación de los mosquitos utilizando un brazo robótico.

**[0008]** La solicitud de patente estadounidense 2018121764 divulga un método y un sistema implementados por 50 computadora para clasificar insectos según categorías predeterminadas. La solicitud estadounidense antes mencionada enseña que los mosquitos se analizan cuando se encuentran sobre una superficie.

**[0009]** La patente estadounidense 10278368 divulga un aparato separador de insectos. El método de separación 55 divulgado se basa en información indicativa de un desplazamiento Doppler causado por el movimiento del insecto. Esta patente enseña a clasificar mosquitos principalmente por su frecuencia de aleteo (usando Doppler). Por lo tanto, está diseñado para insectos voladores y no para larvas o pupas.

**[0010]** La solicitud de patente estadounidense 2018092339 divulga un sistema automatizado de cría de insectos que comprende: una estación de distribución de insectos, una estación de distribución de alimentos y un sistema de 60 almacenamiento robótico configurado para mover el recipiente de cría. Esta solicitud estadounidense divulga además que el sistema de cría puede comprender una unidad de clasificación sexual automatizada que incluye un dispositivo de obtención de imágenes y un ultrasonido para clasificar insectos adultos que han madurado a partir de las larvas dentro del recipiente de cría. Se enseña que las pupas se pueden clasificar por características como el tamaño, el peso, etc. Además, se sugiere un enfoque de dos etapas: antes de que las pupas se conviertan en adultas, se utiliza un dispositivo de imágenes para clasificar las pupas en función de su tamaño. Después de que las pupas se conviertan en adultas, la clasificación por sexo se realiza según la frecuencia de aleteo.

5 [0011] La patente estadounidense 10178857 divulga un sistema que se puede utilizar para separar un grupo de insectos utilizando medios no forzados para analizar las características de los insectos y clasificarlos en función de estas características. El sistema incluye una cámara de singulación que tiene características específicas (superficies en rampa) que alientan a los mosquitos a navegar voluntariamente a través de la cámara de singulación en una sola fila para ser clasificados en función de sus características físicas (por ejemplo, forma, tamaño, etc.). Por lo tanto, esta patente enseña a analizar insectos que llegan a la región de prueba en una sola fila. Los insectos deben ser mosquitos adultos que vuelen o caminen.

10 El documento WO 2019/008591 presenta un método para clasificar insectos en clases o para el control de calidad de los insectos clasificados. El método implica colocar los insectos en un recipiente con una abertura que se puede cerrar y luego liberarlos a través de esta abertura en un flujo de aire en forma de embudo. El flujo de aire dirige a los insectos a un lugar de recolección transportable. Al llegar a este lugar, se aplica un agente inmovilizador a los insectos, dejándolos inmóviles para su posterior clasificación o control de calidad. Este enfoque hace hincapié en la manipulación y preparación eficientes de los insectos para su análisis detallado o clasificación en función de criterios predeterminados.

15 15 [0012] CN107838054 A divulga un dispositivo de clasificación biológica para la detección y clasificación de organismos tales como nematodos.

20 [0013] En vista de lo anterior, todavía existe una necesidad largamente sentida e insatisfecha de una técnica eficiente y rentable para la clasificación rápida por sexo de insectos preadultos.

## RESUMEN DE LA INVENCIÓN

25 [0014] Por consiguiente, un objetivo principal de la presente invención es superar las desventajas de la técnica anterior. Esto se logra en una forma de realización mediante la divulgación de un sistema para la separación de sexos de insectos preadultos que comprende: (a) un canal fluídico que tiene un espacio interior y una pared exterior, comprendiendo dicho canal fluídico una entrada y al menos una salida, cada una de dichas una o más salidas está asociada con una categoría de clasificación seleccionada del grupo que consiste en insecto macho, insecto hembra y otros, en donde dicho canal está configurado para permitir el flujo de insectos preadultos suspendidos en un medio líquido; (b) un procesador; y, (c) un controlador en comunicación con dicho procesador; en donde dicho canal fluídico comprende una región de clasificación, y la región de clasificación comprende un módulo electroóptico en comunicación con el procesador, dicho módulo electroóptico comprende al menos un sensor configurado para adquirir datos ópticos de un insecto preadulto individual mientras está suspendido en un medio líquido y fluye en dicho canal fluídico, y para transmitir dichos datos ópticos al procesador, además en donde el procesador está configurado para procesar los datos ópticos adquiridos, para clasificar dicho insecto preadulto en base a los datos ópticos adquiridos, y para instruir al controlador para que clasifique dicho insecto preadulto en base a la clasificación de dicho insecto preadulto.

30 35 [0015] Un objeto adicional de la presente invención es divulgar el sistema como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde dicho canal fluídico comprende más de una salida, y en donde cada salida es operada independientemente por el controlador; la configuración de la salida cambia de 'abierta' a 'cerrada', y de 'cerrada' a 'abierta'.

40 45 [0016] Un objeto adicional de la presente invención es divulgar el sistema como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el canal fluídico comprende además una región de separación, en donde dicha región de separación está ubicada entre la región de clasificación y la pluralidad de salidas; en donde dicha región de separación comprende al menos una herramienta de guía de insectos configurada para guiar a dicho insecto preadulto a una salida asociada con la clasificación de insectos, y en donde la herramienta de guía de insectos se selecciona del grupo que consiste en una o más válvulas, un transductor configurado para generar fuerzas de radiación acústica, electrodos configurados para aplicar fuerzas electroosmóticas al medio líquido, electrodos configurados para aplicar fuerzas dielectroforéticas al insecto preadulto y cualquier combinación de los mismos.

50 55 [0017] Un objeto adicional de la presente invención es divulgar el sistema como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el canal fluídico comprende además una región de destrucción; en donde dicha región de destrucción comprende al menos una herramienta de destrucción de insectos en comunicación con el controlador; y en donde dicha región de destrucción de insectos tiene configuraciones de "encendido" y "apagado" operadas por el controlador.

60 65 [0018] Un objeto adicional de la presente invención es divulgar el sistema como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el canal fluídico comprende además una región de destrucción; en donde dicha región de destrucción comprende al menos una herramienta de destrucción de insectos en comunicación con el controlador; y en donde dicha región de destrucción de insectos tiene configuraciones de "encendido" y "apagado" operadas por el controlador.

[0019] Un objeto adicional de la presente invención es divulgar el sistema como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el módulo electroóptico de la región de clasificación comprende al menos uno de: una o más fuentes de luz configuradas para iluminar la región de clasificación emitiendo luz con un espectro y/o intensidades predeterminados, uno o más sensores de imagen, una o más fuentes acústicas configuradas para generar ondas sonoras que pasan a través de la región de clasificación, al menos un elemento óptico y una unidad de control interna en

comunicación con el procesador, en donde el módulo electroóptico está configurado para obtener múltiples imágenes del insecto preadulto desde diferentes ángulos, y en donde la iluminación de la fuente de luz es estroboscópica o pulsada.

5 [0020] Un objeto adicional de la presente invención es divulgar el sistema como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde dicho sistema comprende además un sensor en comunicación con el controlador, en donde el controlador está configurado además para controlar la cantidad de individuos de insectos en la entrada al canal fluídico en base a los datos adquiridos por dicho sensor, para permitir de ese modo el paso de un solo insecto preadulto a la vez al canal fluídico.

10 [0021] Otro objeto de la presente invención es divulgar el sistema tal como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en el que el procesador está configurado para realizar funciones seleccionadas entre recibir los datos ópticos de un insecto preadulto individual adquiridos por el sensor del módulo electroóptico, procesar los datos ópticos, extraer un conjunto de parámetros indicativos del sexo del insecto preadulto a partir de los datos ópticos, clasificar el insecto preadulto en función del conjunto de parámetros extraídos de los datos ópticos, proporcionar instrucciones al controlador 15 en función de la clasificación del insecto preadulto.

20 [0022] Otro objeto de la presente invención es divulgar el sistema tal como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en el que los parámetros indicativos del sexo del insecto preadulto se seleccionan del grupo que consiste en el tamaño total del insecto preadulto, morfología del insecto preadulto, forma, relación del tamaño de los segmentos, absorción de IR (infrarrojos), color, fluorescencia, morfología del disco gonadal, morfología del órgano sexual secundario, tamaño de las gónadas, morfología de las gónadas, autofluorescencia de las gónadas, tamaño de los testículos, tamaño 25 de las glándulas accesorias masculinas, morfología de los testículos, morfología de las glándulas accesorias masculinas, autofluorescencia de los testículos, autofluorescencia de las glándulas accesorias masculinas, tamaño de las estructuras reproductivas primarias o secundarias masculinas y femeninas en desarrollo, órganos sexuales primitivos, morfología de las estructuras reproductivas primarias o secundarias masculinas y femeninas en desarrollo, autofluorescencia de las 30 estructuras reproductivas primarias o secundarias masculinas y femeninas en desarrollo y cualquier combinación de los mismos.

35 [0023] Un objeto adicional de la presente invención es divulgar el sistema como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde dicho sistema comprende además un recipiente en conexión fluida con un canal fluídico para la separación sexual de insectos preadultos, dicho recipiente contiene insectos preadultos no clasificados suspendidos en un medio líquido, y que tiene una salida configurada para permitir el paso de un solo insecto preadulto a la vez al canal fluídico, dicho recipiente comprende además medios de presurización, tales como gas presurizado, vacío, fuerzas de gravedad y/o una o más bombas para impulsar un flujo de insectos preadultos no clasificados hacia la salida del recipiente 40 al canal fluídico.

45 [0024] Un objeto adicional de la presente invención es divulgar un método implementado por computadora para la separación por sexo de insectos preadultos que comprende: (a) proporcionar el sistema para la separación por sexo de insectos preadultos como se define en cualquiera de los puntos anteriores; (b) hacer fluir los insectos preadultos suspendidos en el medio líquido a través de la entrada hacia el canal fluídico hacia la región de clasificación; (c) adquirir datos ópticos del insecto preadulto individual en la región de clasificación mediante uno o más sensores del módulo electroóptico; (d) transmitir los datos ópticos del insecto preadulto individual al procesador; (e) procesar los datos ópticos y clasificar el insecto preadulto individual en base a un conjunto de parámetros indicativos del sexo del insecto preadulto extraído de los datos ópticos; (f) proporcionar instrucciones al controlador en base a la clasificación del insecto preadulto individual; y, (g) clasificar el insecto preadulto de acuerdo con las instrucciones recibidas por el controlador.

50 [0025] Un objeto adicional de la presente invención es revelar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde los insectos preadultos se clasifican en al menos dos clases seleccionadas de un grupo que consiste en: machos y no machos, o hembras y no hembras.

55 [0026] Un objeto adicional de la presente invención es revelar el método como se definió anteriormente, en donde el insecto preadulto es una larva o una pupa o una ninfa.

60 [0027] Un objeto adicional de la presente invención es divulgar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el tipo de insecto preadulto se selecciona del grupo de Endopterygota que consiste en: Coleoptera (Escarabajos), Diptera (Moscas), Hymenoptera (Hormigas, abejas, moscas sierra y avispas), Lepidoptera (Mariposas y polillas), Mecoptera (Moscas escorpión), Megaloptera (Moscas aliso, moscas dobson y moscas de los peces), Miomoptera, Neuroptera (Crisopas, antiones), Raphidioptera (Moscas serpiente), Siphonaptera (Pulgas), Strepsiptera (Parásitos de alas retorcidas) y Trichoptera (Moscas tricópteras), y en donde la especie de insecto preadulto se selecciona del grupo que consiste en: a) Especies de Diptera, tales como de la familia Culicidae, por ejemplo, Culex pipiens, Aedes Aegypti, Aedes albopictus, Anopheles gambiae; de la familia Drosophilidae, por ejemplo Drosophila melanogaster, Drosophila suzukir; de la familia Tephritidae, por ejemplo Bactrocera tryoni, Anastrepha fraterculus, Anastrepha ludens; de la familia Stratiomyidae, por ejemplo Hermetia illucens de la familia Syrphidae, por ejemplo Eristalis tenax b) Especies de fepidópteros, como de la familia Plutellidae, p. ej. Plutella xylostella de la familia Pyralidae, por ejemplo Plodia interpunctella c) Especies de coleópteros, como de la familia Tenebrionidae, p. ej. Tribolium castaneum.

**[0028]** Un objeto adicional de la presente invención es divulgar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, que comprende además pasos para reducir o elevar la temperatura del medio líquido a fin de controlar los movimientos de serpenteo de los insectos preadultos que fluyen dentro del canal fluídico.

5 **[0029]** Un objeto adicional de la presente invención es revelar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde dicha clasificación comprende utilizar una red neuronal entrenada.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

10 **[0030]** Para una mejor comprensión de la invención y para mostrar cómo la misma puede llevarse a cabo, ahora se hará referencia, puramente a modo de ejemplo, a los dibujos adjuntos en los que números similares designan elementos o secciones correspondientes en todas partes.

15 **[0031]** Con referencia específica ahora a los dibujos en detalle, se enfatiza que los detalles mostrados son a modo de ejemplo y con fines de discusión ilustrativa de las formas de realización preferidas de la presente invención solamente, y se presentan con el fin de proporcionar lo que se cree que es la descripción más útil y de fácil comprensión de los principios y aspectos conceptuales de la invención. En este sentido, no se intenta mostrar detalles estructurales de la invención con más detalle del necesario para una comprensión fundamental de la invención, ya que la descripción tomada con los dibujos hace evidente para los expertos en la materia cómo se pueden incorporar en la práctica las diversas formas de la invención. En los dibujos adjuntos:

20 La figura 1 es un diagrama de flujo ilustrativo de formas de realización de la presente invención que describe un sistema de flujo para clasificar larvas y/o pupas y clasificarlas en consecuencia;

25 Las figuras 2A-2C ilustran esquemáticamente ejemplos no limitativos de un sistema de flujo con una región de clasificación integrada y una región de clasificación (figuras 2A-B) y opcionalmente una región de destrucción (figura 2C), de acuerdo con algunas formas de realización de la presente invención; y

La figura 3 ilustra esquemáticamente un recipiente con larvas y/o pupas sin clasificar, de acuerdo con ciertas formas de realización de la presente invención.

#### 30 DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

**[0032]** Antes de explicar en detalle al menos una forma de realización de la invención se debe entender que la invención no se limita en su aplicación a los detalles de construcción y la disposición de los componentes expuestos en la siguiente descripción o ilustrados en los dibujos. La invención es aplicable a otras formas de realización o a su puesta en práctica o realización de diversas maneras. Asimismo, se debe entender que la fraseología y la terminología empleadas en el presente documento tienen fines descriptivos y no deben considerarse como limitativas.

40 **[0033]** La presente invención proporciona una técnica novedosa, rápida y rentable de clasificación por sexo de larvas y/o pupas y/o ninfas en sus etapas de desarrollo. El proceso, como se describe entre otras cosas, está automatizado y preferiblemente no requiere la intervención del usuario. En algunos de los aspectos, los algoritmos de análisis de imágenes empleados en el proceso y sistema descritos en el presente documento garantizan una separación precisa de los insectos. Además, la separación es indiferente al tipo de mosquito (u otros insectos) y a cómo se esteriliza. Estas ventajas permiten utilizar el sistema y el método de la presente invención para aplicaciones de cría comercial de mosquitos (u otros insectos).

45 **[0034]** La separación por sexos en etapas preadultas, por ejemplo, etapa larvaria o pupal, tiene varias ventajas sobre la separación en la etapa adulta. En primer lugar, las hembras se desechan (es decir, se eliminan de la población de cría) en una etapa más temprana, ahorrando así alimento, espacio y energía en el proceso de crianza. En segundo lugar, dado que los machos estériles tienen una vida útil limitada (normalmente unos 10 días para los mosquitos), la separación en una etapa temprana del desarrollo facilita su liberación en una etapa más temprana (por ejemplo, poco después de 50 emergir de la envoltura de pupa), aumentando así su exposición a las hembras. En tercer lugar, la separación en la etapa larvaria o pupal permite más tiempo para transportar a los insectos macho desde el lugar de cría hasta el sitio de destino de la liberación. Además, el transporte en sí también puede ser más sencillo, ya que las larvas y/o pupas son menos frágiles que los insectos adultos.

55 **[0035]** La invención proporciona, en algunos de sus aspectos, un nuevo canal fluídico que comprende una entrada y una o más salidas; una región o unidad o zona o módulo de clasificación y una región o unidad o zona o módulo de separación y/o una región o unidad o zona o módulo de destrucción. El canal está configurado para recibir larvas y/o pupas suspendidas en un líquido. Las larvas y/o pupas pasan a través de una región de clasificación donde se les toma una imagen y se clasifican según su sexo. Según esta clasificación, en algunas formas de realización, las larvas y/o pupas se separan en diferentes salidas, donde luego se pueden recolectar. En algunas formas de realización, las larvas y/o pupas se clasifican según su sexo, pasando una clase intacta a la salida única para su recolección, y el resto se destruye.

65 **[0036]** La presente invención proporciona un sistema para la separación sexual de insectos preadultos que comprende: (a) un canal fluídico que tiene un espacio interior y una pared exterior, comprendiendo dicho canal fluídico una entrada y al menos una salida, en donde dicho canal está configurado para permitir el flujo de insectos preadultos suspendidos en un medio líquido; (b) un procesador; y, (c) un controlador en comunicación con dicho procesador. En aspectos centrales

de la presente invención, el canal fluídico comprende una región de clasificación, y la región de clasificación comprende un módulo electroóptico en comunicación con el procesador, dicho módulo electroóptico comprende al menos un sensor configurado para adquirir datos ópticos de un insecto preadulto individual y para transmitir dichos datos al procesador, en donde además el procesador está configurado para procesar los datos adquiridos, para clasificar dicho insecto preadulto en base a los datos adquiridos, y para dar instrucciones al controlador para que clasifique dicho insecto preadulto en base a la clasificación de dicho insecto preadulto.

5 [0037] La presente invención proporciona además un método implementado por ordenador para la separación por sexo de insectos preadultos que comprende los pasos de: (a) proporcionar el sistema para la separación por sexo de insectos preadultos como se define en cualquiera de los puntos anteriores; (b) hacer fluir los insectos preadultos suspendidos en el medio líquido a través de la entrada hacia el canal fluídico hacia la región de clasificación; (c) adquirir datos ópticos del insecto preadulto individual en la región de clasificación mediante uno o más sensores del módulo electroóptico; (d) transmitir los datos ópticos del insecto preadulto individual al procesador; (e) procesar los datos ópticos y clasificar el insecto preadulto individual basándose en un conjunto de parámetros indicativos del sexo del insecto preadulto extraído de los datos; (f) proporcionar instrucciones al controlador basándose en la clasificación del insecto preadulto individual; y, (g) clasificar el insecto preadulto según las instrucciones recibidas por el controlador. En otros aspectos principales, la presente invención proporciona un algoritmo implementado por ordenador que comprende un código para realizar los pasos del método como se define en cualquiera de los puntos anteriores.

10 20 [0038] Tal como se utilizan en el presente documento, los términos "comprende", "que comprende", "incluye", "incluyendo", "teniendo" y sus conjugados significan "incluyendo, pero no limitado a".

15 25 [0039] Tal como se utiliza en el presente documento, la forma singular "un", "una", "el" y "ella" incluyen referencias en plural a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Por ejemplo, el término "un compuesto" o "al menos un compuesto" puede incluir una pluralidad de compuestos, incluidas mezclas de los mismos.

20 30 35 [0040] El uso de "adaptado a" o "configurado para" en el presente documento se entiende como un lenguaje abierto e inclusivo que no excluye dispositivos adaptados o configurados para realizar tareas o pasos adicionales. Además, el uso de "basado en" se entiende como abierto e inclusivo, en el sentido de que un proceso, paso, cálculo u otra acción "basada en" una o más condiciones o valores enumerados puede, en la práctica, basarse en condiciones o valores adicionales más allá de los enumerados. De manera similar, el uso de "basado al menos en parte en" se entiende como abierto e inclusivo, en el sentido de que un proceso, paso, cálculo u otra acción "basada al menos en parte en" una o más condiciones o valores enumerados puede, en la práctica, basarse en condiciones o valores adicionales más allá de los enumerados. Los encabezados, listas y numeración incluidos en el presente documento son solo para facilitar la explicación y no pretenden ser limitantes.

40 [0041] El término "aproximadamente" como se utiliza en este documento denota  $\pm 25\%$  de la cantidad, medida o valor definido.

45 [0042] El término "insecto" tal como se utiliza en el presente documento se refiere generalmente a la clase de invertebrados hexápodos dentro del filo de los artrópodos. Los insectos tienen cuerpos segmentados, patas articuladas y esqueletos externos (exoesqueletos). Según otros aspectos, un artrópodo de la clase Insecta se caracteriza por tener seis patas, hasta cuatro alas y un exoesqueleto quitinoso.

50 55 [0043] El término "Endopterygota" tal como se utiliza en el presente documento, también referido como Holometabola, se entiende que se relaciona con un superorden de insectos dentro de la infraclass Neoptera que pasan por etapas larvarias, pupales y adultas distintivas. Experimentan una metamorfosis radical, y las etapas larvarias y adultas difieren considerablemente en su estructura y comportamiento. Este proceso también se denomina holometabolismo o metamorfismo completo. En ciertos aspectos de la presente invención, los Endopterygota constituyen el superorden de insectos más diverso, con aproximadamente 11 órdenes, que contienen insectos como mariposas, moscas, pulgas, abejas, hormigas y escarabajos.

60 [0044] Los ejemplos de tipos de insectos dentro del alcance de la presente invención incluyen órdenes tales como: Coleoptera - Escarabajos, Diptera - Moscas, Hymenoptera - Hormigas, abejas, moscas sierra y avispas, Lepidoptera - Mariposas y polillas, Mecoptera - Moscas escorpión, Megaloptera - Moscas de los alisos, moscas dobson y moscas de los peces, Miomoptera (extinto), Neuroptera - Crisopas, antiones, etc., Raphidioptera - Moscas serpiente, Siphonaptera - Pulgas, Strepsiptera - Parásitos de alas retorcidas y Trichoptera - Tricópteros.

65 [0045] Más particularmente, los tipos de insectos dentro del alcance de la presente invención incluyen, pero no se limitan a, especies de mosquitos, por ejemplo, del género: Culex, Aedes, Anopheles, Bactrocera, Hermetia, Anastrepha y Eristalis, especies de Drosophilidae, por ejemplo, del género: Drosophila, especies de polillas, por ejemplo, de la familia Plutellidae y/o Pyralidae, por ejemplo, del género Plutella, especies de moscas, por ejemplo, de la familia Tephritidae y/o Stratiomyidae, especies de escarabajos, por ejemplo, de la familia Tenebrionidae, por ejemplo, del género Tribolium, y Lepidoptera, por ejemplo, del género: Plodia.

5

**[0046]** Ejemplos aún más específicos y no limitantes de especies de insectos dentro del alcance de la presente invención incluyen *Culex pipiens*, *Aedes Aegypti*, *Aedes albopictus*, *Anopheles gambiae*, *Drosophila melanogaster*, *Plutella xylostella*, *Bactrocera tryoni*, *Drosophila suzukii*, *Hermetia illucens*, *Anastrepha fraterculus*, *Anastrepha ludens*, *Tribolium castaneum*, *Plodia interpunctella* y *Eristalis tenax*.

10

**[0047]** El término "preadulto" tal como se utiliza en el presente documento se refiere en el contexto de la presente invención a etapas del ciclo de vida de un insecto, incluyendo la etapa larvaria, pupal, ninfa o cualquier otra etapa juvenil. En algunos aspectos se refiere a la etapa no adulta, etapa imaginal, etapas de desarrollo de estadio inmaduro, etapa inmadura o ninfa.

15

**[0048]** El término "canal fluídico" como se utiliza en el presente documento se refiere a un dispositivo, aparato o recipiente que tiene un espacio interior y paredes exteriores, en donde el espacio interior está contenido con y/o permite el paso de un fluido o medio líquido o solución, por ejemplo, agua o solución acuosa isotónica. Tal canal fluídico tiene al menos una entrada y al menos una salida y en el contexto de la presente invención está adaptado para contener insectos preadultos suspendidos en un medio líquido que pasa o fluye desde la porción de entrada del canal hacia la porción de salida del canal mientras se somete a un proceso de clasificación automática/calculado desde un insecto no clasificado hasta un insecto clasificado por sexo (por ejemplo, insecto macho o hembra).

20

**[0049]** El término "movimiento" en el contexto de la invención debe entenderse como un movimiento voluntario o involuntario del insecto preadulto a medida que pasa a través del sistema de clasificación.

**[0050]** El término "flujo" en el presente documento se refiere al flujo o al rápido flujo de un líquido o fluido o suspensión, por ejemplo, un flujo de velocidad o volumen en un canal.

25

**[0051]** El término "medio líquido" se refiere, sin limitación, a una sustancia en un estado físico en el que no resiste el cambio de forma, pero sí resiste el cambio de tamaño.

30

**[0052]** El término "flujo pasivo" se refiere a métodos de control de flujo que no requieren energía auxiliar. La lista no limitativa de métodos de control de flujo pasivo incluye cualquier dispositivo pasivo que sea estable y no requiera energía por definición (por ejemplo, derivada de fuerzas de gravedad), como turbuladores, elementos de rugosidad o cualquier otro dispositivo pasivo que influya en la dinámica de fluidos del flujo.

35

**[0053]** El término "flujo activo" se refiere a métodos de control de flujo que requieren gasto de energía. La lista no limitativa de métodos de control de flujo activo incluye válvulas, bombas, medios de presurización, aplicación de una diferencia de presión positiva o negativa (vacío) con respecto a partes del sistema de la presente invención o cualquier otro actuador accionado artificialmente que requiera energía.

40

**[0054]** Está dentro del alcance de la presente invención que el sistema y método para la separación por sexo o clasificación de insectos preadultos comprende medios para expulsar a los insectos de un recipiente que contiene insectos no clasificados y a través del sistema que puede estar conectado a dicho recipiente hacia la salida de dicho sistema. Estos medios incluyen vacío, válvulas, fuerzas de gravedad y bombas. Estos medios pueden incluir además una herramienta de guía de insectos configurada para guiar al insecto preadulto hacia una salida asociada con la clasificación de insectos. Ejemplos de dicha herramienta de guía de insectos pueden comprender una o más válvulas, un transductor configurado para generar fuerzas de radiación acústica, electrodos configurados para aplicar fuerzas electroosmóticas al medio líquido, electrodos configurados para aplicar fuerzas dielectroforéticas al insecto preadulto y cualquier combinación de los mismos.

45

**[0055]** El término "controlador" se refiere, sin limitación, a cualquier dispositivo de hardware o programa de software, o una combinación de ambos, que gestiona o dirige el flujo de datos entre dos o más entidades. En un sentido general, un controlador puede considerarse como algo o alguien que actúa de interfaz entre dos sistemas y gestiona las comunicaciones entre ellos.

55

**[0056]** El sistema de la presente invención puede comprender un centro de control, en donde dicho centro de control está configurado para monitorear el rendimiento del sistema.

50

**[0057]** Está dentro del alcance de la presente invención que el sistema, por ejemplo, utilizando la región de clasificación, el procesador y las partes del controlador, esté configurado para clasificar un insecto preadulto individual en clases seleccionadas del grupo que consiste en macho, hembra y/u otros mediante un conjunto de parámetros indicativos del sexo del insecto preadulto (por ejemplo, basándose en datos ópticos y/u otros del insecto).

60

**[0058]** Como se utiliza en el presente documento, el término "parámetros indicativos del sexo del insecto preadulto" incluye, de manera no limitativa: tamaño total del insecto preadulto, morfología del insecto preadulto, forma, relación del tamaño de los segmentos, absorción de IR (infrarrojos), color, fluorescencia, morfología del disco gonadal, morfología del órgano sexual secundario, tamaño de la gónada, morfología de la gónada, autofluorescencia de la gónada, tamaño de los testículos, tamaño de las glándulas accesorias masculinas, morfología de los testículos, morfología de las glándulas accesorias masculinas, autofluorescencia de los testículos, autofluorescencia de las glándulas accesorias masculinas,

5 tamaño de las estructuras reproductivas primarias o secundarias masculinas y femeninas en desarrollo, órganos sexuales primitivos, morfología de las estructuras reproductivas primarias o secundarias masculinas y femeninas en desarrollo, autofluorescencia de las estructuras reproductivas primarias o secundarias masculinas y femeninas en desarrollo y cualquier combinación de los mismos.

10 [0059] El término "Sistema de iluminación estroboscópica" se refiere a un sistema capaz de emitir pulsos cortos de luz (1 microsegundo - 10 milisegundos). Los pulsos de luz pueden ser generados por: diodos emisores de luz (LED), láseres, fuentes de luz de estado sólido y lámparas de xenón. Este sistema minimiza el tiempo de iluminación, reduciendo así la fototoxicidad y los artefactos de fotoblanqueo, así como la borrosidad debida al movimiento.

15 [0060] El término "Cámara de alta velocidad de cuadros" se refiere a una cámara capaz de capturar imágenes con exposiciones inferiores a 1/1.000 de segundo o velocidades de cuadros superiores a 30 cuadros por segundo. Puede resultar útil para grabar objetos que se mueven rápidamente como imágenes fotográficas en un medio de almacenamiento.

20 [0061] El término "parámetros de rendimiento del sistema" se refiere a capacidades clave del sistema que deben cumplirse para que un sistema alcance sus objetivos operativos. Una lista no limitativa de parámetros de rendimiento del sistema de la invención incluye: caudal, velocidad de clasificación, precisión de clasificación, recuento de insectos, especificidad, sensibilidad, supervivencia, aptitud y rendimiento.

25 [0062] Los términos "precisión", "especificidad" y "sensibilidad" de una prueba pueden definirse en términos de TP, TN, FN y FP como se detalla a continuación. En el contexto de la presente invención, el parámetro probado puede ser un insecto macho o hembra, en un ejemplo particular, un insecto macho.

30 [0063] Verdadero positivo (TP) = el número de casos identificados correctamente como positivos para el parámetro probado.

[0064] Falso positivo (FP) = el número de casos identificados incorrectamente como positivos para el parámetro probado.

35 [0065] Verdadero negativo (TN) = el número de casos identificados correctamente como negativos para el parámetro probado.

[0066] Falso negativo (FN) = el número de casos identificados incorrectamente como negativos para el parámetro probado.

40 [0067] "Precisión": La precisión de una prueba es su capacidad para diferenciar correctamente los casos positivos y negativos. Para estimar la exactitud de una prueba, se debe calcular la proporción de verdaderos positivos (por ejemplo, insectos macho) y verdaderos negativos (por ejemplo, insectos hembra) en todos los casos evaluados. Matemáticamente, esto se puede expresar como:

45 Precisión =  $(TN+TP)/(TN+TP+FN+FP)$  = (Número de evaluaciones correctas)/Número de todas las evaluaciones)

[0068] Sensibilidad: La sensibilidad de una prueba es su capacidad para determinar correctamente los casos positivos para el parámetro probado (por ejemplo, insectos macho). Para estimarla, se debe calcular la proporción de verdaderos positivos en los casos evaluados como positivos para el parámetro probado (por ejemplo, insectos macho). Matemáticamente, esto se puede expresar como:

50 Sensibilidad =  $TP/(TP+FN)$  = (Número de evaluaciones positivas verdaderas)/(Número de todas las evaluaciones positivas)

55 [0069] Especificidad: La especificidad de una prueba es su capacidad para determinar los casos negativos para el parámetro probado (por ejemplo, insectos hembra) correctamente. Para estimarlo, se debe calcular la proporción de verdaderos negativos en los casos evaluados como negativos para el parámetro ensayado (por ejemplo, insectos hembra). Matemáticamente, esto se puede expresar como:

60 Especificidad =  $TN/(TN+FP)$  = (Número de evaluaciones negativas verdaderas)/(Número de todas las evaluaciones negativas)

[0070] Se reconoce en el presente documento que la morfología es una rama de la biología que se ocupa del estudio de la forma y la estructura de los organismos y sus características estructurales específicas. Esto incluye aspectos de la apariencia externa (forma, estructura, color, patrón, tamaño), es decir, la morfología externa (o eidonomía), así como la forma y la estructura de las partes internas como los huesos y los órganos, es decir, la morfología interna (o anatomía). La morfología es una rama de las ciencias de la vida que se ocupa del estudio de la estructura general de un organismo o taxón y sus partes componentes.

65 [0071] El término "módulo electroóptico" tal como se utiliza en el presente documento se refiere a un módulo o unidad o región que comprende dispositivos (por ejemplo, láseres, LED, guías de ondas, etc.) y/o sistemas y/o sensores que

funcionan mediante la propagación e interacción de la luz (electromagnética u óptica) y el estado eléctrico (electrónico). Un sensor electroóptico es un detector electrónico que convierte la luz, o un cambio en la luz, en una señal electrónica. Estos sensores pueden detectar la radiación electromagnética desde las longitudes de onda infrarrojas hasta las ultravioletas. Un sensor óptico convierte los rayos de luz en señales electrónicas. Sin querer limitarnos a la teoría, el efecto electroóptico es un cambio en las propiedades ópticas debido a la interacción con la luz. Un módulo de este tipo puede cumplir las funciones de modulación de la luz, enrutamiento de señales, filtrado ajustable y conversión de polarización. Tienen aplicaciones potenciales tales como la comunicación óptica de banda ancha, el procesamiento de señales ópticas y los sensores. En el contexto de la presente invención, el módulo electroóptico de la región de clasificación comprende al menos uno de: una o más fuentes de luz configuradas para iluminar la región de clasificación, una o más fuentes acústicas configuradas para generar ondas sonoras que pasan a través de la región de clasificación, uno o más sensores de imagen, al menos un elemento óptico y una unidad de control interna en comunicación con el procesador.

5 [0072] Según una forma de realización, el módulo electroóptico comprende más de una fuente de luz. En ciertos aspectos, cada fuente de luz está configurada para emitir luz con un espectro y/o intensidades predeterminados. Más particularmente, la iluminación puede ser de banda ancha (por ejemplo, luz blanca) o monocromática.

10 [0073] El término "sensor" tal como se utiliza en el presente documento se refiere generalmente a un dispositivo, módulo, máquina o sistema capaz de detectar o medir una propiedad o cambios en su entorno y enviar la información o los datos (por ejemplo, datos ópticos, de imagen o acústicos) a otros dispositivos electrónicos, con frecuencia un procesador de ordenador. Los ejemplos no limitativos de tipos de sensores dentro del alcance de la presente invención incluyen, pero 15 no se limitan a, sensores acústicos, de sonido y/o de vibración, sensores de corriente eléctrica, de potencial eléctrico, magnéticos y/o de radio, sensores de flujo y/o de velocidad de fluido, sensores ópticos, de luz, de formación de imágenes y/o de fotones, sensores de presión, sensores térmicos, de calor y/o de temperatura y sensores de posición/ubicación.

20 25 [0074] El término "sensor óptico" o "elemento óptico" tal como se utiliza en el presente documento pretende incluir dispositivos fotoconductores que convierten un cambio de luz incidente en un cambio de resistencia, fotodiodos que convierten una cantidad de luz incidente en una corriente de salida, fototransistores que son un tipo de transistor bipolar donde la unión base-colector está expuesta a la luz. Los sensores ópticos dentro del alcance de la presente invención pueden incluir: detector óptico, una cámara, un fotodiodo, un fotomultiplicador, un sensor de adquisición de imágenes, un 30 sensor de adquisición óptica, un sensor electroóptico, detector de luz, un sensor de fotones, un reflectómetro, un fotodetector, un sensor de imágenes espectrales y cualquier combinación de los mismos. Este término abarca además un elemento óptico tal como una lente, un espejo, un polarizador, un filtro de excitación, un filtro de emisión, un espejo dicroico, un revestimiento óptico tal como un revestimiento antirreflectante, una rejilla óptica, al menos un microscopio estereoscópico, al menos un microscopio de fluorescencia y cualquier combinación de los mismos.

35 40 [0075] El término "sensor de formación de imágenes" o "sensor de imagen" o "sensor de adquisición de imágenes" como se utiliza en este documento se refiere a un sensor que detecta y transmite información utilizada para crear una imagen. Sin querer limitarnos a la teoría, un sensor de formación de imágenes transmite la atenuación variable de las ondas de luz, que pasan a través de objetos o se reflejan en ellos, en señales, que transmiten la información. Las ondas pueden ser luz u otra radiación electromagnética. Los sensores de imagen se utilizan en dispositivos de formación de imágenes electrónicos de tipo analógico y digital, que incluyen cámaras digitales, módulos de cámara, teléfonos con cámara y otros

45 [0076] Los sensores de formación de imágenes ejemplares dentro del alcance de la presente invención incluyen: espectro de frecuencia RGB (rojo, verde, azul), multiespectral, hiperespectral, rango de frecuencia de luz visible, rango de frecuencia de infrarrojo cercano (NIR), rango de frecuencia de infrarrojo (IR), monocromo, longitudes de onda de luz específicas (por ejemplo, LED o láser y/o halógeno y/o xenón y/o fluorescente), rango de frecuencia UV, un reflectómetro y combinaciones de los mencionados anteriormente.

50 55 [0077] Tal como se utiliza en el presente documento, el término "datos ópticos" se refiere generalmente a datos recuperados de medios ópticos que pueden almacenarse en un medio legible ópticamente. Ejemplos de dispositivos de almacenamiento óptico incluyen discos CD, DVD y Blu-ray, etc. En otros aspectos, se refiere a una reproducción formada ópticamente de un objeto, tal como una formada por una lente o un espejo. El término datos ópticos en el contexto de la presente invención abarca datos de imagen.

60 65 [0078] El término "datos de imagen" en el presente documento significa objetos fotográficos o de traza que representan los datos de píxeles subyacentes de un área de un elemento de imagen, que se crea, recopila y almacena utilizando dispositivos constructores de imágenes. Los atributos de los datos de imagen incluyen, por ejemplo, la resolución de la imagen, el tamaño de los puntos de datos y las bandas espectrales. En el contexto de la presente invención, el término "computadora" significa, entre otros, una máquina o dispositivo que realiza procesos, cálculos y operaciones basados en instrucciones proporcionadas por un programa de software o hardware. El término computadora también significa en el contexto de la presente invención una unidad de control o controlador. Está diseñada para procesar y ejecutar aplicaciones y proporciona una variedad de soluciones mediante la combinación de componentes de hardware y software integrados. La computadora de la invención está configurada para extraer un conjunto predeterminado de vectores de características de los datos de imagen de insectos preadultos; para calcular las características sexuales de los insectos en función del conjunto de vectores de características, atributos o parámetros; para generar una salida de clasificación sexual y para transmitir la salida a la unidad controladora.

- 5 [0079] La presente invención puede ser un sistema, un método y/o un producto de programa informático. El producto de programa informático puede incluir un medio (o medios) de almacenamiento legible por ordenador que contenga instrucciones de programa legibles por ordenador para hacer que un procesador lleve a cabo aspectos de la presente invención.
- 10 [0080] El medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser un dispositivo tangible que puede retener y almacenar instrucciones para su uso por un dispositivo de ejecución de instrucciones. El medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser, por ejemplo, pero no se limita a, un dispositivo de almacenamiento electrónico, un dispositivo de almacenamiento magnético, un dispositivo de almacenamiento óptico, un dispositivo de almacenamiento electromagnético, un dispositivo de almacenamiento semiconductor o cualquier combinación adecuada de los anteriores. Una lista no exhaustiva de ejemplos más específicos del medio de almacenamiento legible por ordenador incluye lo siguiente: un disquete de ordenador portátil, un disco duro, una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de solo lectura (ROM), una memoria de solo lectura programable y borrable (EPROM o memoria Flash), una memoria de acceso aleatorio estática (SRAM), una memoria de solo lectura de disco compacto portátil (CD-ROM), un disco versátil digital (DVD), una memoria extraíble, un disquete y cualquier combinación adecuada de los anteriores.
- 15 [0081] Un medio de almacenamiento legible por computadora, como se utiliza en este documento, no debe interpretarse como señales transitorias per se, tales como ondas de radio u otras ondas electromagnéticas que se propagan libremente, ondas electromagnéticas que se propagan a través de una guía de ondas u otros medios de transmisión (por ejemplo, pulsos de luz que pasan a través de un cable de fibra óptica), o señales eléctricas transmitidas a través de un cable.
- 20 [0082] Las instrucciones de programas legibles por computadora que se describen en este documento se pueden descargar a los dispositivos de procesamiento/computación respectivos desde un medio de almacenamiento legible por computadora o a una computadora externa o un dispositivo de almacenamiento externo a través de una red, por ejemplo, Internet, una red de área local, una red de área amplia y/o una red inalámbrica.
- 25 [0083] Los aspectos de la presente invención se describen en el presente documento con referencia a ilustraciones de diagramas de flujo y/o diagramas de bloques de métodos, aparatos (sistemas) y productos de programas informáticos según formas de realización de la invención. Se entenderá que cada bloque de las ilustraciones de diagramas de flujo y/o diagramas de bloques, y combinaciones de bloques en las ilustraciones de diagramas de flujo y/o diagramas de bloques, se pueden implementar mediante instrucciones de programa legibles por ordenador.
- 30 [0084] Estas instrucciones de programa legibles por ordenador se pueden proporcionar a un procesador de un ordenador de propósito general, un ordenador de propósito especial u otro aparato de procesamiento de datos programable para producir una máquina, de modo que las instrucciones, que se ejecutan a través del procesador del ordenador u otro aparato de procesamiento de datos programable, creen medios para implementar las funciones/actos especificados en el bloque o bloques del diagrama de flujo y/o diagrama de bloques. Estas instrucciones de programa legibles por computadora también pueden almacenarse en un medio de almacenamiento legible por computadora que puede dirigir una computadora, un aparato de procesamiento de datos programable y/u otros dispositivos para que funcionen de una manera particular, de modo que el medio de almacenamiento legible por computadora que tiene instrucciones almacenadas en el mismo comprende un artículo de fabricación que incluye instrucciones que implementan aspectos de la función/acto especificado en el diagrama de flujo y/o bloque o bloques del diagrama de bloques.
- 35 [0085] De acuerdo con ciertos aspectos, el método de la presente invención comprende etapas de aplicación de un proceso de aprendizaje automático con el algoritmo entrenado implementado por computadora para determinar el sexo de insectos preadultos. Por lo tanto, está dentro del alcance de la presente invención que el algoritmo (o programa legible por computadora) se implemente con un proceso de aprendizaje automático utilizando una red neuronal con los datos procesados.
- 40 [0086] El término entrenamiento en el contexto del aprendizaje automático implementado dentro del sistema de la presente invención se refiere al proceso de creación de un algoritmo de aprendizaje automático. El entrenamiento implica el uso de un marco de aprendizaje profundo y un conjunto de datos de entrenamiento. Se puede utilizar una fuente de datos de entrenamiento para entrenar modelos de aprendizaje automático para una variedad de casos de uso, desde la detección de fallas hasta la inteligencia del consumidor.
- 45 [0087] La red neuronal puede calcular una categoría de clasificación, y/o la incrustación, y/o realizar agrupamiento, para identificar el sexo de un insecto individual en una etapa preadulta, es decir, macho o hembra.
- 50 [0088] Las instrucciones legibles por computadora también se pueden cargar en una computadora, otro aparato de procesamiento de datos programable u otro dispositivo para hacer que se realicen una serie de pasos operativos en la computadora, otro aparato programable u otro dispositivo para producir un proceso implementado por computadora, de modo que las instrucciones que se ejecutan en la computadora, otro aparato programable u otro dispositivo implementen las funciones/actos especificados en el diagrama de flujo y/o el bloque o bloques del diagrama de bloques descritos en este documento.

- 5 [0089] Como se utiliza en el presente documento, el término "clasificar" a veces puede intercambiarse con el término agrupamiento o etiquetado, por ejemplo, cuando se analizan múltiples imágenes de insectos, cada imagen puede clasificarse de acuerdo con sus vectores de características predefinidos y usarse para crear agrupamientos, y/o las imágenes de insectos pueden incrustarse y las incrustaciones pueden agruparse. El término categoría de clasificación a veces puede intercambiarse con el término incrustación, por ejemplo, la salida de la red neuronal entrenada en respuesta a una imagen de un insecto puede ser una o más categorías de clasificación, o un vector que almacena una incrustación calculada. Se observa que la categoría de clasificación y la incrustación pueden ser emitidas por la misma red neuronal entrenada, por ejemplo, la categoría de clasificación es emitida por la última capa de la red neuronal y la incrustación se genera mediante una capa de incrustación oculta de la red neuronal.
- 10 [0090] La arquitectura de la(s) red(es) neuronal(es) puede implementarse, por ejemplo, como capas convolucionales, de agrupamiento, de no linealidad, conectadas localmente, completamente conectadas y/o combinaciones de las mencionadas anteriormente.
- 15 [0091] Se observa que el etiquetado y la clasificación de los insectos en las imágenes o los objetivos característicos de clasificación por sexo pueden ser ingresados de forma manual o semimanual por un usuario (por ejemplo, a través de la GUI, por ejemplo, seleccionados de una lista de objetivos característicos fenotípicos disponibles), obtenidos como valores predefinidos almacenados en un dispositivo de almacenamiento de datos y/o calculados automáticamente.
- 20 [0092] El término "vector de características" se refiere en lo sucesivo, en el contexto del aprendizaje automático, a una propiedad o característica o parámetro o atributo medible individual de un fenómeno que se observa, por ejemplo, detectado por un sensor. Es evidente que la elección de una característica informativa, discriminante e independiente es un paso crucial para algoritmos eficaces en el reconocimiento de patrones, el aprendizaje automático, la clasificación y la regresión. Los algoritmos que utilizan la clasificación a partir de un vector de características incluyen la clasificación del vecino más próximo, las redes neuronales y las técnicas estadísticas.
- 25 [0093] En la visión por computadora y el procesamiento de imágenes, una característica es una información que es relevante para resolver la tarea computacional relacionada con una determinada aplicación. Las características pueden ser estructuras específicas en la imagen, tales como puntos, bordes u objetos. Las características también pueden ser el resultado de una operación de vecindad general o de una detección de características aplicada a la imagen. Cuando las características se definen en términos de operaciones de vecindad local aplicadas a una imagen, se ejecuta un procedimiento comúnmente denominado extracción de características.
- 30 [0094] Aunque las formas de realización de la divulgación no están limitadas en este sentido, las discusiones que utilizan términos tales como, por ejemplo, "procesamiento", "computación", "comunicación", "entrenamiento", "captura", "ejecución", "calcular", "alimentación", "determinación", "establecer", "analizar", "verificar", "etiquetar", "clasificar", "transmitir", "ejercer" o similares, pueden referirse a operaciones y/o procesos de una computadora, una plataforma informática, un sistema informático, un algoritmo implementado por computadora u otro dispositivo informático electrónico, que manipula y/o transforma datos representados como cantidades físicas (por ejemplo, electrónicas) dentro de los registros y/o memorias de la computadora en otros datos representados de manera similar como cantidades físicas dentro de los registros y/o memorias de la computadora u otro medio de almacenamiento no transitorio de información (por ejemplo, una memoria) que puede almacenar instrucciones para realizar operaciones y/o procesos.
- 35 [0095] Según una forma de realización, la presente invención proporciona un dispositivo, sistema y método para clasificar por sexo larvas y/o pupas. En algunos de sus aspectos, el sistema comprende un canal fluídico que comprende una entrada y una serie de salidas; una región de clasificación y una región de separación o destrucción. El canal está configurado para recibir larvas y/o pupas suspendidas en un líquido. Las larvas y/o pupas pasan a través de una región de clasificación donde se les toma una imagen y se clasifican según su sexo mediante una unidad de procesamiento. Según esta clasificación, en algunas formas de realización, las larvas y/o pupas se separan en diferentes salidas, donde 40 luego se pueden recolectar. En algunas formas de realización, las larvas y/o pupas se clasifican según su sexo, pasando una clase intacta a la salida única para su recolección, y el resto se destruye.
- 45 [0096] Está dentro del alcance de la presente invención que un líquido, típicamente agua, que contiene larvas y/o pupas ingrese al sistema, a través de la entrada y fluya, bajo presión o gravedad, hacia la(s) salida(s). Las dimensiones internas del canal de flujo pueden diseñarse de manera que solo pase una única larva o pupa a la vez. Además, estas dimensiones pueden establecerse de manera que limiten el movimiento de las larvas y/o pupas (por ejemplo, un canal lo suficientemente angosto constriñe a las larvas para que se extiendan paralelas a las paredes del canal). La temperatura del líquido puede modificarse o controlarse, es decir, calentarse (elevarse) o enfriarse (reducirse) según la necesidad. Uno de dichos usos puede ser controlar o afectar los movimientos de los insectos preadultos durante el proceso de 50 clasificación o separación (es decir, enfriarse para reducir los movimientos de serpenteo y calentarse para aumentar los movimientos de serpenteo). En una forma de realización, la temperatura del líquido puede enfriarse de manera que se reduzcan los movimientos de serpenteo. A medida que las larvas y/o pupas pasan a través de la región de clasificación, se toman imágenes de ellas. Las fotografías/ímagines son analizadas por una unidad de procesamiento y los insectos se clasifican según su sexo (macho, hembra e indeterminado).
- 55
- 60
- 65

- 5 [0097] En algunas formas de realización, se utiliza una región de separación en la que cada larva o pupa individual es guiada hacia la salida asociada con su clase. Esto se puede hacer dejando abierta únicamente la salida apropiada y cerrando el resto. Alternativamente, todas las salidas se pueden dejar abiertas y se puede utilizar una o más de las siguientes técnicas para guiar a cada individuo hacia la salida apropiada: (1) fuerzas de radiación acústica generadas por un transductor externo; (2) fuerzas electroosmóticas generadas por electrodos (fuerzas aplicadas sobre el líquido); o (3) fuerzas dielectroforéticas generadas por electrodos (fuerzas aplicadas sobre la larva o pupa). Las salidas mismas también se pueden diseñar para tener una resistencia hidrodinámica diferente. Por lo tanto, cuando no se aplica ninguna fuerza externa, las larvas y/o pupas fluyen hacia la salida con la resistencia más baja.
- 10 [0098] En algunas formas de realización, se controla el número de personas dispensadas en cada uno de los canales de salida. Esto es particularmente importante cuando un canal está conectado en su extremo a un recipiente que se va a utilizar para la liberación.
- 15 [0099] En algunas formas de realización, se utiliza una región de destrucción, a través de la cual pasan todos los individuos. Las larvas y/o pupas identificadas como pertenecientes a la clase que se necesita para la aplicación (por ejemplo, machos o hembras, según el propósito/aplicación para clasificar los insectos preadultos), pasan ilesas. El resto (también denominado en este documento como "otros" o "no especificados" o "no clasificados") se destruyen. Esto puede hacerse mediante al menos uno de los siguientes medios: un láser, un campo eléctrico de alta potencia, explosiones ultrasónicas o triturando o aplastando mecánicamente los insectos. En algunas formas de realización, se monitorea el número de individuos que se distribuyen ilesos.
- 20 [0100] Según otras formas de realización de la presente invención, se utiliza una configuración electroóptica junto a la región de clasificación para reconocer el sexo de las larvas y/o pupas. Incluye al menos uno de: una o más fuentes de luz para iluminar la región de clasificación (posiblemente desde diferentes direcciones y en diferentes colores); uno o más sensores de imagen, para fotografiar la región de clasificación (posiblemente desde diferentes direcciones); una configuración óptica, que comprende uno o más elementos ópticos, por ejemplo, lentes, espejos, polarizadores, filtros de excitación, filtros de emisión, espejos dicroicos, recubrimientos ópticos (por ejemplo, recubrimientos antirreflectantes) y rejillas ópticas, ubicados entre la(s) fuente(s) de luz y la región de clasificación y/o la región de clasificación y el (los) sensor(es) de imagen; y una conexión a una unidad de procesamiento. En algunas formas de realización, la configuración óptica está compuesta por uno o más microscopios estereoscópicos y/o microscopios de fluorescencia y los sensores de imagen son cámaras unidas a los microscopios.
- 25 [0101] Según algunas formas de realización, las imágenes tomadas por los sensores de imágenes se analizan en la unidad de procesamiento para determinar la clase de una larva o pupa individual. Se utilizan atributos visuales para la clasificación, como el tamaño y la morfología generales; el tamaño y la morfología de diferentes segmentos; el tamaño y/o la morfología y/o la autofluorescencia de las gónadas; el tamaño y/o la morfología y/o la autofluorescencia de los testículos y las glándulas accesorias masculinas; y el tamaño y/o la morfología y/o la autofluorescencia de las estructuras reproductivas secundarias masculinas y femeninas en desarrollo (por ejemplo, dentro del segmento anal).
- 30 [0102] Además, está dentro del alcance de la presente invención que las diferencias entre larvas/pupas macho y hembra se pueden clasificar por uno o más atributos que incluyen, pero no se limitan a, tamaño, forma, relación de tamaño de segmento, absorción de IR (infrarrojos), color, fluorescencia, morfología del disco gonadal y morfología del órgano sexual secundario.
- 35 [0103] Según otros aspectos de la presente invención, la clasificación puede llevarse a cabo automáticamente utilizando una o más de las siguientes técnicas: procesamiento de imágenes, aprendizaje automático y red neuronal entrenada. La red neuronal puede ser una red neuronal clásica o una red profunda (red de aprendizaje profundo), incluyendo una red neuronal convolucional, o cualquier otro tipo de red neuronal.
- 40 [0104] En otros aspectos de la presente invención, la velocidad de flujo de cada larva y/o pupa puede ser monitoreada para determinar cuándo llegan a la región de separación y necesitan ser guiadas a la salida apropiada o llegan a la región de destrucción y necesitan pasar libremente o ser destruidas. En algunas formas de realización, esto se hace tomando imágenes sucesivas en la región de clasificación. En algunas formas de realización, se utiliza un medidor de flujo o una cámara adicional con un campo de visión amplio para rastrear los insectos a lo largo del sistema.
- 45 [0105] A continuación se hace referencia a figuras en las que se describen formas de realización ejemplares no limitativas.
- 50 [0106] La figura 1 ilustra un diagrama de flujo que muestra una forma de realización generalizada de la presente invención. Un método para la clasificación de machos y hembras en un sistema de flujo puede comenzar con la provisión de larvas y/o pupas no clasificadas como se muestra en el paso 10. Dentro del sistema, las larvas y/o pupas individuales fluyen preferiblemente en una sola fila hacia la región de clasificación, como se muestra en el paso 12. Allí, se toman imágenes de cada individuo para fines de clasificación como se muestra en el paso 14 del diagrama de flujo. En el paso 16 se clasifica a cada individuo. Las clases utilizadas pueden incluir machos y el resto (otro, no especificado, no clasificado o cualquier otra cosa), o machos, hembras y el resto (otro, no especificado, no clasificado o cualquier otra cosa) o hembras y el resto (otro, no especificado, no clasificado o cualquier otra cosa). A continuación, las larvas y/o pupas individuales llegan a una región de separación, donde son guiadas, según su clasificación, a una salida de flujo predefinida 18.

Alternativamente, si solo se necesita una única clase, los individuos innecesarios pueden destruirse en el canal 20. El resultado del proceso descrito anteriormente son larvas y/o pupas clasificadas por sexo 22.

5 [0107] Las figuras 2A-C muestran ilustraciones esquemáticas del dispositivo o sistema de clasificación de larvas y/o pupas de la presente invención. Estas figuras muestran un canal fluídico principal 24 a través del cual las larvas y/o pupas individuales 26 fluyen de izquierda a derecha. Cuando las larvas y/o pupas pasan a través de la región de clasificación 28, se iluminan y se toman imágenes utilizando un sistema o sensor óptico. A continuación, siguen a través del canal principal hasta llegar a una región de separación 30. En la región de separación 30, las larvas y/o pupas individuales son guiadas a diferentes canales de acuerdo con su clasificación realizada por una unidad de procesamiento 32 conectada de manera comunicativa al sistema o dispositivo. Los atributos de clasificación pueden incluir, entre otros, tamaño, forma, relación de tamaño de segmento, absorción IR (infrarroja), color, fluorescencia, morfología del disco gonadal y morfología del órgano sexual secundario. La figura 2A muestra una ilustración esquemática, donde las larvas y/o pupas individuales son guiadas a un canal 34 "solo para machos" o "solo para hembras" o a un canal 36 "para cualquier otra cosa". La figura 2B muestra una ilustración esquemática, donde las larvas y/o pupas individuales pueden ser guiadas a un canal 34 "solo para machos", un canal 38 "solo para hembras" o a un canal 36 "para cualquier otra cosa". La figura 2C muestra una ilustración esquemática, donde después de la región de clasificación solo una única clase de larvas y/o pupas continúa fluyendo, sin daños, a través del canal principal. El resto se destruye en una región de destrucción 40.

20 [0108] Según una forma de realización, la presente invención proporciona un sistema para la separación sexual de insectos preadultos que comprende: (a) un canal fluídico que tiene un espacio interior y una pared exterior, comprendiendo el canal fluídico una entrada y al menos una salida, en donde el canal está configurado para permitir el flujo de insectos preadultos suspendidos en un medio líquido; (b) un procesador; y, (c) un controlador en comunicación con el procesador; en donde el canal fluídico comprende una región de clasificación, y la región de clasificación comprende un módulo electroóptico en comunicación con el procesador, el módulo electroóptico comprende al menos un sensor configurado para adquirir datos ópticos de un insecto preadulto individual y para transmitir los datos ópticos al procesador, en donde además el procesador está configurado para procesar los datos ópticos adquiridos, para clasificar al insecto preadulto basándose en los datos ópticos adquiridos, y para instruir al controlador para que clasifique al insecto preadulto basándose en la clasificación del insecto preadulto.

30 [0109] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el espacio interior del canal fluídico es ajustable a las dimensiones de un solo insecto preadulto.

[0110] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el canal fluídico está diseñado para permitir el paso de un solo insecto preadulto a la vez.

35 [0111] Según una forma de realización adicional, el sistema está configurado además para controlar el movimiento del insecto preadulto cuando pasa a través del canal fluídico.

[0112] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el flujo del insecto preadulto suspendido en el medio líquido a través del canal fluídico es un flujo pasivo.

[0113] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el flujo del insecto preadulto suspendido en el medio líquido a través del canal fluídico es un flujo activo.

45 [0114] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el flujo es impulsado por una bomba, vacío, medios de presurización tales como gas presurizado, fuerzas de gravedad o cualquier combinación de los mismos.

50 [0115] Según una forma de realización adicional, el sistema comprende más de una salida, en donde cada salida es operada independientemente por el controlador.

[0116] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, cada una de las una o más salidas está asociada con una categoría de clasificación seleccionada del grupo que consiste en insecto macho, insecto hembra y otros.

55 [0117] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, la al menos una salida tiene una configuración "abierta" y una "cerrada".

60 [0118] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, la salida está acoplada operativamente a un recipiente.

[0119] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el canal fluídico comprende además una región de separación, en donde la región de separación está ubicada entre la región de clasificación y la al menos una salida; y en donde la región de separación comprende al menos una herramienta de guía de insectos configurada para guiar al insecto preadulto a una salida asociada con la clasificación de insectos.

- 5 [0120] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, la herramienta de guía de insectos se selecciona del grupo que consiste en una o más válvulas, un transductor configurado para generar fuerzas de radiación acústica, electrodos configurados para aplicar fuerzas electroosmóticas al medio líquido, electrodos configurados para aplicar fuerzas dielectroforéticas al insecto preadulto y cualquier combinación de los mismos.
- 10 [0121] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el canal fluídico comprende además una región de destrucción; en donde la región de destrucción comprende al menos una herramienta de destrucción de insectos en comunicación con el controlador; y en donde la región de destrucción de insectos tiene configuraciones de "encendido" y "apagado" operadas por el controlador.
- 15 [0122] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, la al menos una herramienta de destrucción de insectos se selecciona del grupo que consiste en un rayo láser, un campo eléctrico de alta potencia, ráfagas ultrasónicas, una herramienta de molienda, una herramienta de aplastamiento y cualquier combinación de los mismos.
- 20 [0123] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el controlador está configurado para ejecutar funciones seleccionadas del grupo que consiste en: recibir instrucciones del procesador, controlar el caudal, encender la herramienta de guía de insectos, apagar la herramienta de guía de insectos, encender la herramienta de destrucción de insectos, apagar la herramienta de destrucción de insectos, cambiar la configuración de la salida de "abierta" a "cerrada" y cambiar la configuración de la salida de "cerrada" a "abierta".
- 25 [0124] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el sensor se selecciona del grupo que consiste en un detector óptico, una cámara, un fotodiodo, un fotomultiplicador, un sensor de adquisición de imágenes, un sensor de adquisición óptica, un sensor electroóptico, un detector de luz, un sensor de fotones, un reflectómetro, un fotodetector, un sensor de imágenes espectrales y cualquier combinación de los mismos.
- 30 [0125] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el sensor es un sensor de imágenes seleccionado del grupo que consiste en espectro de frecuencia RGB, multiespectral, hiperespectral, rango de frecuencia de luz visible, rango de frecuencia de infrarrojo cercano (NIR), rango de frecuencia de infrarrojo (IR), monocromo, longitudes de onda de luz específicas (por ejemplo, LED y/o láser y/o halógeno y/o xenón y/o fluorescente), rango de frecuencia UV y cualquier combinación de los mismos.
- 35 [0126] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el módulo electroóptico de la región de clasificación comprende al menos uno de: una o más fuentes de luz configuradas para iluminar la región de clasificación, uno o más sensores de imagen, una o más fuentes acústicas configuradas para generar ondas de sonido que pasan a través de la región de clasificación, al menos un elemento óptico y una unidad de control interna en comunicación con el procesador.
- 40 [0127] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el módulo electroóptico comprende más de una fuente de luz, en donde cada fuente de luz está configurada para emitir luz con espectro y/o intensidades predeterminados.
- 45 [0128] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el módulo electroóptico está configurado para obtener múltiples imágenes del insecto preadulto desde diferentes ángulos.
- 50 [0129] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el sensor de adquisición de imágenes es de alta velocidad de cuadros.
- 55 [0130] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, la iluminación de la fuente de luz es estroboscópica o pulsada.
- 60 [0131] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el elemento óptico se selecciona del grupo que consiste en una lente, un espejo, un polarizador, un filtro de excitación, un filtro de emisión, un espejo dicroico, un recubrimiento óptico tal como un recubrimiento antirreflectante, una rejilla óptica y cualquier combinación de los mismos.
- 65 [0132] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el elemento óptico comprende al menos un microscopio estereoscópico, al menos un microscopio de fluorescencia, o una combinación de los mismos.
- [0133] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el sensor está unido al menos a un microscopio.
- [0134] Según una forma de realización adicional, el sistema de la presente invención comprende además un sensor en comunicación con el controlador, en donde el controlador está configurado además para controlar la cantidad de individuos de insectos en la entrada al canal fluídico en base a los datos adquiridos por el sensor, para permitir de ese modo el paso de un solo insecto preadulto a la vez al canal fluídico.

- 5 [0135] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el procesador está configurado para realizar funciones seleccionadas entre recibir los datos ópticos de un insecto preadulto individual adquiridos por el sensor del módulo electroóptico, procesar los datos ópticos, extraer un conjunto de parámetros indicativos del sexo del insecto preadulto a partir de los datos ópticos, clasificar el insecto preadulto en función del conjunto de parámetros extraídos de los datos ópticos, proporcionar instrucciones al controlador en función de la clasificación del insecto preadulto.
- 10 [0136] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el procesador está configurado para clasificar el insecto preadulto individual en al menos dos clases seleccionadas del grupo que consiste en macho y no macho.
- 15 [0137] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el procesador está configurado para clasificar el insecto preadulto individual en al menos dos clases seleccionadas del grupo que consiste en hembra y no hembra.
- 20 [0138] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el procesador está configurado para clasificar el insecto preadulto individual en tres clases seleccionadas del grupo que consiste en macho, hembra y otros.
- 25 [0139] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, los parámetros indicativos del sexo del insecto preadulto se seleccionan del grupo que consiste en tamaño total del insecto preadulto, morfología del insecto preadulto, forma, relación del tamaño de los segmentos, absorción de IR (infrarrojos), color, fluorescencia, morfología del disco gonadal, morfología del órgano sexual secundario, tamaño de la gónada, morfología de la gónada, autofluorescencia de la gónada, tamaño de los testículos, tamaño de las glándulas accesorias masculinas, morfología de los testículos, morfología de las glándulas accesorias masculinas, autofluorescencia de los testículos, autofluorescencia de las glándulas accesorias masculinas, tamaño de las estructuras reproductivas primarias o secundarias masculinas y femeninas en desarrollo, órganos sexuales primitivos, morfología de las estructuras reproductivas primarias o secundarias masculinas y femeninas en desarrollo, autofluorescencia de las estructuras reproductivas primarias o secundarias masculinas y femeninas en desarrollo y cualquier combinación de los mismos.
- 30 [0140] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, la región de clasificación comprende además un capilar de vidrio a través del cual fluye el insecto preadulto.
- 35 [0141] Según una forma de realización adicional, el sistema de la presente invención comprende además un termostato operado opcionalmente por el controlador, en donde el termostato está configurado para controlar la temperatura en el canal fluídico.
- 40 [0142] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el medio líquido es agua o una solución acuosa isotónica.
- 45 [0143] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, la tasa de clasificación es de aproximadamente 0,1 a 100 insectos preadultos por segundo.
- [0144] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el espacio interior del canal fluídico tiene un tamaño en el rango de 0,1 mm a 10 mm.
- 50 [0145] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, la precisión de clasificación está en el rango de 50 % a 100 %, particularmente 80 % a 100 %, más particularmente al menos 90 %.
- [0146] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, la especificidad de clasificación está en el rango de 50 % a 100 %, particularmente 80 % a 100 %, más particularmente al menos 90 %.
- 55 [0147] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, la selectividad de clasificación está en el rango de 50 % a 100 %, particularmente 80 % a 100 %, más particularmente al menos 90 %.
- [0148] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el insecto preadulto es una larva o una pupa o una ninfa.
- 60 [0149] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, el tipo de insecto preadulto se selecciona del grupo de Endopterygota que consiste en: Coleoptera (Escarabajos), Diptera (Moscas), Hymenoptera (Hormigas, abejas, moscas sierra y avispas), Lepidoptera (Mariposas y polillas), Mecoptera (Moscas escorpión), Megaloptera (moscas de los alisos, moscas dobson y moscas de los peces), miomópteros, neurópteros (crisopas, antiones), rafidiópteros (moscas serpiente), sifonápteros (pulgas), estrepsípteros (parásitos de alas retorcidas) y tricópteros (moscas tricópteras).
- 65 [0150] Según una forma de realización adicional del sistema de la presente invención, la especie de insecto preadulto se selecciona del grupo que consiste en: (a) especies de dípteros, tales como de la familia Culicidae, p. ej. Culex pipiens,

5 Aedes Aegypti, Aedes albopictus, Anopheles gambiae; de la familia Drosophilidae, p. ej. Drosophila melanogaster, Drosophila suzukii; de la familia Tephritidae, p. ej. Bactrocera tryoni, Anastrepha fraterculus, Anastrepha ludens; de la familia Stratiomyidae, p. ej. Hermetia illucens; de la familia Syrphidae, p. ej. Eristalis tenax; (b) especies de lepidópteros, tales como de la familia Plutellidae, p. ej. Plutella xylostella; de la familia Pyralidae, p. ej. Plodia interpunctella; y (c) especies de coleópteros, como las de la familia Tenebrionidae, p. ej. Tribolium castaneum.

10 [0151] Según una forma de realización adicional, el sistema de la presente invención comprende además un recipiente en conexión fluida con el canal fluídico, el recipiente contiene insectos preadultos no clasificados suspendidos en un medio líquido, el recipiente tiene una salida configurada para permitir el paso de un solo insecto preadulto a la vez al canal fluídico, el recipiente comprende además medios de presurización, tales como gas presurizado, vacío, fuerzas de gravedad y/o una o más bombas para impulsar un flujo de los insectos preadultos no clasificados hacia la salida del recipiente al canal fluídico.

15 [0152] Está además dentro del alcance de la presente invención proporcionar un recipiente en conexión fluida con un canal fluídico para la separación sexual de insectos preadultos, el recipiente contiene insectos preadultos no clasificados suspendidos en un medio líquido, el recipiente tiene una salida configurada para permitir el paso de un solo insecto preadulto a la vez al canal fluídico, el recipiente comprende además medios de presurización, tales como gas presurizado, vacío, fuerzas de gravedad y/o una o más bombas para impulsar un flujo de insectos preadultos no clasificados hacia la salida del recipiente al canal fluídico.

20 [0153] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar un método implementado por computadora para la separación por sexo de insectos preadultos que comprende: (a) proporcionar el sistema para la separación por sexo de insectos preadultos como se define en cualquiera de los puntos anteriores; (b) hacer fluir los insectos preadultos suspendidos en el medio líquido a través de la entrada hacia el canal fluídico hacia la región de clasificación; (c) adquirir 25 datos ópticos del insecto preadulto individual en la región de clasificación mediante uno o más sensores del módulo electroóptico; (d) transmitir los datos ópticos del insecto preadulto individual al procesador; (e) procesar los datos ópticos y clasificar el insecto preadulto individual en función de un conjunto de parámetros indicativos del sexo del insecto preadulto extraído de los datos ópticos; (f) proporcionar instrucciones al controlador en función de la clasificación del insecto preadulto individual; y, (g) clasificar el insecto preadulto de acuerdo con las instrucciones recibidas por el 30 controlador.

[0154] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se definió anteriormente, en donde el paso de clasificación del insecto preadulto de acuerdo con las instrucciones recibidas por el controlador comprende al menos uno de: controlar el caudal, controlar la velocidad de clasificación, encender la herramienta de guía 35 de insectos, apagar la herramienta de guía de insectos, encender la herramienta de destrucción de insectos, apagar la herramienta de destrucción de insectos, cambiar la configuración de la salida de "abierta" a "cerrada" y cambiar la configuración de la salida de "cerrada" a "abierta".

40 [0155] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde los insectos preadultos se clasifican en dos clases, en donde las dos clases son machos y no machos.

45 [0156] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde los insectos preadultos se clasifican en dos clases, en donde las dos clases son hembras y no hembras.

50 [0157] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde los insectos preadultos se clasifican en tres clases, en donde las tres clases son machos, hembras y otros.

[0158] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde los individuos preadultos clasificados como no machos se dirigen a la región de destrucción para ser destruidos por la al menos una herramienta de destrucción.

55 [0159] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde los individuos preadultos clasificados como no hembras son dirigidos a la región de destrucción para ser destruidos por la al menos una herramienta de destrucción.

60 [0160] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el insecto preadulto es una larva o una pupa o una ninfa.

65 [0161] Está además dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el tipo de insecto preadulto se selecciona del grupo de Endopterygota que consiste en: Coleoptera (Escarabajos), Diptera (Moscas), Hymenoptera (Hormigas, abejas, moscas sierra y avispas), Lepidoptera (Mariposas y polillas), Mecoptera (Moscas escorpión), Megaloptera (Moscas aliso, moscas Dobson y moscas de los

peces), Miomoptera, Neuroptera (Crisopas, antiones), Raphidioptera (Moscas serpiente), Siphonaptera (Pulgas), Strepsiptera (Parásitos de alas retorcidas) y Trichoptera (Moscas tricópteras).

5 [0162] Está además dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde la especie de insecto preadulto se selecciona del grupo que consiste en: (a) especies de dípteros, tales como de la familia Culicidae, por ejemplo, Culex pipiens, Aedes Aegypti, Aedes albopictus, Anopheles gambiae; de la familia Drosophilidae, por ejemplo, Drosophila melanogaster, Drosophila suzukii; de la familia Tephritidae, por ejemplo, Bactrocera tryoni, Anastrepha fraterculus, Anastrepha ludens; de la familia Stratiomyidae, por ejemplo, Hermetia illucens; de la familia Syrphidae, por ejemplo, Eristalis tenax; (b) especies de fepidópteros, tales como de la familia Plutellidae, por ejemplo, Plutella xylostella; de la familia Pyralidae, por ejemplo, Plodia interpunctella; y (c) especies de coleópteros, como las de la familia Tenebrionidae, por ejemplo, Tribolium castaneum.

10 15 [0163] Está además dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, comprende además pasos de ajuste de las dimensiones del espacio interior del canal fluídico para permitir el paso de un solo insecto preadulto a la vez.

20 [0164] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, que comprende además pasos de ajuste de las dimensiones del espacio interior del canal fluídico de tal manera que un solo insecto preadulto se extienda paralelo a las paredes del canal.

25 [0165] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, que comprende además los pasos de presurizar o dirigir por fuerzas de gravedad a los insectos preadultos no clasificados hacia la salida del canal fluídico.

30 35 [0166] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, que comprende además pasos para reducir o elevar la temperatura del medio líquido a fin de controlar los movimientos de serpenteo de los insectos preadultos que fluyen dentro del canal fluídico.

40 [0167] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, que comprende además pasos para reducir la temperatura del medio líquido a fin de reducir los movimientos de serpenteo de los insectos preadultos que fluyen dentro del canal fluídico.

45 [0168] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, que comprende los pasos de adquirir datos ópticos mediante un sensor seleccionado del grupo que consiste en un detector óptico, una cámara, un fotodiodo, un fotomultiplicador, un sensor de adquisición de imágenes, un sensor electroóptico, un sensor de adquisición óptica, un detector de luz, un sensor de fotones, un reflectómetro, un fotodetector, un sensor de imágenes espectrales y cualquier combinación de los mismos.

50 55 [0169] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el módulo electroóptico de la región de clasificación comprende al menos uno de: una o más fuentes de luz configuradas para iluminar la región de clasificación, una o más fuentes acústicas configuradas para generar ondas sonoras que pasan a través de la región de clasificación, uno o más sensores de imágenes, al menos un elemento óptico y una unidad de control interna en comunicación con el procesador.

60 [0170] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde la clasificación comprende el uso de una red neuronal entrenada.

[0171] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el paso de procesamiento comprende pasos de cálculo de los datos ópticos utilizando un algoritmo implementado por computadora entrenado para generar una salida basada en los datos ópticos.

65 [0172] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el algoritmo implementado por computadora está entrenado para generar una salida basada en vectores de características o atributos predeterminados extraídos de los datos ópticos.

70 75 [0173] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el método comprende pasos de implementar con el algoritmo un proceso de entrenamiento de acuerdo con un conjunto de datos de entrenamiento que comprende una pluralidad de imágenes de entrenamiento de una pluralidad de insectos preadultos capturados por el al menos un sensor de imágenes, en donde cada respectiva imagen de entrenamiento de la pluralidad de imágenes de entrenamiento está asociada con la determinación del sexo del insecto preadulto representado en la respectiva imagen de entrenamiento.

80 85 [0174] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el proceso de entrenamiento comprende los pasos de (a) capturar imágenes de insectos preadultos utilizando un sensor de imágenes; (b) clasificar imágenes en categorías de clasificación aplicando una etiqueta asociada con parámetros o atributos indicativos del sexo del insecto preadulto extraído de los datos ópticos;

y (c) aplicar un algoritmo de visión por computadora para determinar un conjunto de vectores de características asociados con cada categoría de clasificación.

5 [0175] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, que comprende además los pasos de aplicar un proceso de aprendizaje automático con el algoritmo entrenado implementado por computadora para determinar el sexo del insecto preadulto fotografiado.

10 [0176] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el algoritmo se implementa con un proceso de aprendizaje automático que utiliza una red neuronal con los datos procesados.

15 [0177] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el proceso de aprendizaje automático comprende calcular por la al menos una red neuronal, una etiqueta de al menos una categoría de clasificación para el al menos un insecto preadulto, en donde la etiqueta de al menos una categoría de clasificación se calcula al menos de acuerdo con pesos de la al menos una red neuronal, en donde la al menos una red neuronal se entrena de acuerdo con un conjunto de datos de entrenamiento que comprende una pluralidad de imágenes de entrenamiento de una pluralidad de insectos preadultos capturados por el al menos un sensor de imágenes, en donde cada respectiva imagen de entrenamiento de la pluralidad de imágenes de entrenamiento está asociada con la etiqueta de al menos una categoría de clasificación de al menos un insecto preadulto representado en la respectiva imagen de entrenamiento; y generar de acuerdo con la etiqueta de al menos una categoría de clasificación, instrucciones para su ejecución por el controlador.

20 [0178] Además, está dentro del alcance de la presente invención proporcionar el método como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el sensor está configurado para capturar y procesar imágenes, con o sin utilizar Inteligencia Artificial (IA) y/o aprendizaje automático y/o redes neuronales.

25 [0179] Está además dentro del alcance de la presente invención proporcionar un algoritmo implementado por computadora que comprende código para realizar los pasos del método como se define en cualquiera de los puntos anteriores.

30 [0180] Según una forma de realización adicional, el algoritmo implementado por computadora como se definió anteriormente, en donde el algoritmo es un algoritmo de aprendizaje automático.

35 [0181] Según una forma de realización adicional, el algoritmo implementado por computadora como se define en cualquiera de los puntos anteriores, en donde el algoritmo de aprendizaje automático utiliza datos de entrenamiento verificados.

40 [0182] Para comprender la invención y ver cómo se puede implementar en la práctica, a continuación, se describirán una pluralidad de formas de realización preferidas, sólo a modo de ejemplo no limitativo, con referencia a los siguientes ejemplos.

#### EJEMPLO 1

##### Un sistema para clasificar insectos por sexo

45 [0183] Un sistema de clasificación por sexos exemplificado se basa esencialmente en lo siguiente: las larvas de mosquito se mantienen en su entorno natural, es decir, el agua. Las larvas no clasificadas fluyen, bajo presión o gravedad, hacia las salidas del sistema. Las dimensiones internas del canal de flujo se eligieron de manera que solo pueda pasar una larva a la vez. Además, estas dimensiones constriñen a las larvas para que se extiendan paralelas a las paredes del canal.

50 La temperatura del líquido también se puede enfriar para reducir los movimientos de serpenteo. A medida que las larvas pasan a través de una región de clasificación, se toman imágenes de ellas.

##### Características opcionales adicionales:

55 [0184] El espesor de los tubos y capilares puede variar según el tamaño de las larvas/pupas del insecto que se está clasificando y la etapa de desarrollo en la que se encuentra en el momento en que se realiza la clasificación. Por ejemplo, para las larvas de *Culex pipiens* y *Aedes albopictus*, el tamaño de la dimensión interna varía de 0,3 a 3 mm.

60 [0185] El medio acuoso utilizado para hacer fluir las larvas/pupas (normalmente agua) se puede enfriar para reducir sus movimientos durante el proceso de clasificación.

[0186] Las larvas/pupas no clasificadas pueden mantenerse dispersas en el líquido antes de ingresar al sistema de clasificación mediante agitación. Esto puede ayudar a que las larvas/pupas ingresen al sistema una por una y a un ritmo constante.

- [0187] Se puede utilizar un sensor en la entrada del sistema para detectar si dos o más larvas/pupas han entrado en él en proximidad cercana. Si esto ocurre, las larvas se desvían hacia el exterior para evitar posibles errores (como obstrucciones o identificación de múltiples larvas/pupas como una sola).
- 5 [0188] Se puede utilizar gas presurizado para mezclar las larvas/pupas y hacerlas pasar a través del sistema (véase la figura 3).
- [0189] La obtención de imágenes con una cámara a color permite mejorar la diferenciación mediante el uso de las 10 diferentes características de absorción de los diferentes órganos.
- [0190] Toma de imágenes desde 2 o más ángulos distintos para mejorar la detección de objetos de interés (por ejemplo, las gónadas deben ser visibles desde uno de los ángulos). Esto se puede realizar utilizando 2 o más cámaras o utilizando una sola cámara y dirigiendo la luz desde diferentes regiones sobre diferentes partes del sensor de imágenes.
- 15 [0191] Se puede utilizar una alta velocidad de cuadros (>30 cuadros por segundo) e iluminación estroboscópica para obtener imágenes de las larvas que fluyen sin tener que detenerlas antes de capturar la imagen.
- [0192] En la región/unidad de obtención de imágenes, las larvas/pupas pueden fluir a través de un capilar de vidrio para 20 mejorar la calidad de la imagen. Se puede utilizar un capilar cuadrado o rectangular para lograr un fondo más uniforme y eliminar aberraciones esféricas.
- [0193] Se pretende, por ejemplo, un caudal de ~20 ml por minuto y una densidad de larvas de ~1,5 por ml para la separación de sexos de las larvas de mosquitos.
- 25 [0194] Se pueden utilizar órganos sexuales primitivos (no completamente desarrollados) primarios y secundarios tanto masculinos como femeninos.
- EJEMPLO 2
- 30 Clasificación sexual de insectos mediante el sistema de la presente invención
- [0195] En el primer paso, se probó la supervivencia y eclosión (o emergencia de adultos de pupas) de mosquitos que fueron clasificados por el sistema como se describe en cualquiera del Ejemplo 1 y las Figuras 1 y 2; no se encontraron 35 efectos adversos para los mosquitos.
- [0196] Además, se demostró que se puede reconocer de forma fiable el sexo de las larvas de dos especies pertenecientes a dos familias distintas, a saber, *Culex pipiens* y *Aedes albopictus*. Esto se realizó observando las larvas con un microscopio óptico, determinando el sexo y cultivando cada larva por separado hasta la edad adulta, una etapa en la que el sexo es claramente distinguible (casi inconfundible).
- 40 [0197] Las imágenes de larvas macho y hembra de *Culex pipiens* y *Aedes albopictus* muestran que los órganos sexuales primitivos son fácilmente discernibles, incluso con un aumento bajo ( $\times 0,5$ - $\times 10$ ) de un microscopio óptico, en la etapa L3 del ciclo de desarrollo larvario.
- 45 [0198] Se ha comprobado que se puede predecir el sexo de cada larva, basándose principalmente en la presencia o ausencia de las gónadas masculinas. Según otros aspectos de la presente invención, estos órganos sexuales (incluidos los órganos sexuales primitivos) pueden detectarse incluso en etapas de desarrollo más tempranas.
- 50 [0199] Para comprobar las predicciones anteriores, cada larva individual se cultivó hasta la edad adulta, momento en el que el sexo es fácilmente discernible. La Tabla 1 presenta los resultados obtenidos después de analizar más de 120 larvas.

Tabla 1: Resultados de la clasificación por sexo

	Especificidad ( % )	Sensibilidad ( % )
<i>Culex pipiens</i>	100	-90
<i>Aedes albopictus</i>	100	-85

60

[0200] Se encontró que la especificidad fue del 100 % (es decir, ninguna hembra fue reconocida como macho). La sensibilidad para *Culex pipiens* fue superior al 90 % y para *Aedes albopictus* fue de alrededor del 85 % (es decir, se pasó por alto entre el 10 y el 15 % de los machos, respectivamente).

65

- [0201] Se demostró además que al utilizar el sistema para la separación de sexos de *Drosophila melanogaster*, el mismo proceso es incluso más confiable, mostrando una sensibilidad de casi el 100 % con una especificidad del 100 %.
- [0202] Los resultados anteriores muestran que el proceso de clasificación por sexos tal como se describe en el presente documento es adecuado o aplicable a la mayoría de los insectos con una etapa larvaria distinta. Estos incluyen, por ejemplo, mosquitos, moscas, polillas y escarabajos. Para ajustar el sistema, por ejemplo, tal como se describe en el Ejemplo 1 y las Figuras 1 y 2, a un tipo o especie de insecto predeterminado, se deben realizar los siguientes pasos:
1. Ajustar la geometría del sistema de flujo para adaptarse al tamaño de las especies de larvas predeterminadas.
  2. Obtener imágenes de dichas larvas mediante el sistema de la presente invención para asegurar que se puedan diferenciar de forma fiable los sexos.
  3. Entrenar un algoritmo de aprendizaje automático para diferenciar entre los sexos de las especies predeterminadas de larvas/pupas
- [0203] En el caso de los insectos cuyas larvas no viven naturalmente en el agua, las larvas deben transferirse del medio de crecimiento al agua (o a cualquier otra solución acuosa isotónica). Esto se puede realizar mediante el tamizado físico de las larvas del medio de crecimiento, haciendo flotar las larvas utilizando una solución viscosa o utilizando el comportamiento natural/biológico del insecto (por ejemplo, algunas larvas de mosca se desprenden del alimento cerca de la pupación, de modo que si el alimento se mantiene por encima del agua se transferirán por sí solas, dejándose caer antes de la pupación).
- [0204] Ejemplos no limitantes de insectos incluidos dentro del alcance de la presente invención, o en otras palabras, insectos que pueden clasificarse por sexo mediante el sistema y método de la presente invención incluyen: *Plutella xylostella*, *Bactrocera tryoni*, *Drosophila suzukii*, *Hermetia illucens*, *Anastrepha fraterculus*, *Anastrepha ludens*, *Tribolium castaneum* y *Plodia interpunctella*.
- [0205] Con respecto a la plataforma de obtención de imágenes, se comparó la calidad de imagen entre un microscopio Feica DM IRE2 invertido (x10, objetivo NA 0,3), un microscopio estereoscópico Olympus SZH10 y una Raspberry Pi con módulo de cámara VI y lente macro. No se encontraron diferencias significativas entre los tres sistemas, y las gónadas, cuando eran visibles, eran claramente discernibles en los tres.
- [0206] Se aplica un código de aprendizaje automático (ME) entrenado y realiza una separación del 100 %, como se logró manualmente. En un ejemplo específico, se entrena una red neuronal con un pequeño corpus de 40 larvas y mostró una precisión de al menos el 90 %. Si es necesario, se puede aumentar la precisión haciendo pasar nuevamente las larvas/pupas clasificadas de interés por el sistema.
- [0207] En resumen, los inventores desarrollaron un sistema semiautomático o automatizado para la clasificación por sexo de larvas de mosquitos. En algunas formas de realización, el sistema realiza el siguiente proceso:
- Recibe un recipiente con agua y larvas sin clasificar.
- [0208] Las larvas pasan una a una a un sistema de flujo.
- [0209] Se toman imágenes de las larvas que fluyen.
- [0210] Despues de la obtención de imágenes, el sistema puede cambiar las larvas a la salida adecuada (recipiente macho o hembra) de acuerdo con un algoritmo informático prediseñado.
- [0211] Las larvas no resultan dañadas por el proceso.
- [0212] De los resultados experimentales se puede concluir que:
- [0213] No se produjo ningún daño a las larvas que fueron clasificadas por sexo mediante el sistema de la presente invención y todas las larvas se desarrollaron adecuadamente hasta la edad adulta.
- [0214] Las tasas de clasificación de 0,1 a 100 insectos preadultos por segundo, particularmente de 0,5 a 50, más particularmente de 1 a 10, incluso más particularmente de 1 a 2 larvas por segundo.
- EJEMPLO 3
- Un recipiente con larvas y/o pupas sin clasificar
- [0215] Ahora se hace referencia a la Fig. 3 que presenta un recipiente ejemplificado 100 lleno de larvas no clasificadas 140 y agua 160 que, en algunas formas de realización, está conectado al sistema de clasificación de la presente invención.

Un recipiente de este tipo puede tener una salida estrecha 130 a través de la cual las larvas 140 fluyen hacia el sistema de clasificación (por ejemplo, como se describe en el Ejemplo 1 y las Figs. 1 y 2). Se puede liberar gas presurizado (normalmente aire) 120 en el recipiente, a través de un tubo 110 sumergido en el agua. La presión de gas 150 (generada por cualquier medio aceptable conocido en la técnica relevante) empuja o impulsa las larvas 140 con el agua 160 hacia la salida 130. También mezcla las larvas 140 en el recipiente burbujeando el agua. Esta agitación suave dispersa las larvas 140 en el recipiente sin dañarlas, superando su automovimiento.

5 [0216] Se aprecia que ciertas características de la invención, que, para mayor claridad, se describen en el contexto de formas de realización separadas, también pueden proporcionarse en combinación en una única realización. Por el contrario, varias características de la invención que, para mayor brevedad, se describen en el contexto de una única realización, también pueden proporcionarse por separado o en cualquier subcombinación adecuada.

10 15 [0217] A menos que se defina lo contrario, todos los términos técnicos y científicos utilizados en el presente documento tienen los mismos significados que los que entiende comúnmente una persona con conocimientos ordinarios en la técnica a la que pertenece esta invención. Aunque se pueden utilizar métodos similares o equivalentes a los descritos en el presente documento en la práctica o prueba de la presente invención, en el presente documento se describen métodos adecuados.

20 [0218] Los expertos en la materia comprenderán que la presente invención no se limita a lo que se ha mostrado y descrito en particular anteriormente, sino que el alcance de la presente invención está definido por las reivindicaciones adjuntas.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema para la separación de sexos de insectos preadultos que comprende:

- 5 a) canal fluídico (24) que tiene un espacio interior y una pared exterior, comprendiendo dicho canal fluídico una entrada y en al menos una salida (34, 36), cada una de dichas una o más salidas está asociada a una categoría de clasificación seleccionada del grupo que consiste en insecto macho, insecto hembra y otros, en donde dicho canal está configurado para permitir el flujo de insectos preadultos (26) suspendidos en medios líquidos;
- 10 b) un procesador; y,
- c) un responsable del tratamiento en comunicación con dicho encargado del tratamiento;

en donde dicho canal fluídico comprende una región de clasificación (28), y la región de clasificación comprende un módulo electroóptico en comunicación con el procesador, dicho módulo electroóptico comprende al menos un sensor configurado para adquirir datos ópticos de un insecto preadulto individual mientras está suspendido en un medio líquido y fluye en dicho canal fluídico, y para transmitir dichos datos ópticos al procesador, además en donde el procesador está configurado para procesar los datos ópticos adquiridos, para clasificar dicho insecto preadulto en base a los datos ópticos adquiridos, y para instruir al controlador para que clasifique dicho insecto preadulto en base a la clasificación de dicho insecto preadulto.

20 2. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicho canal fluídico comprende más de una salida, en el que cada salida es operada independientemente por el controlador; la configuración de la salida cambia de "abierta" a "cerrada", y de "cerrada" a "abierta".

25 3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, en el que el canal fluídico comprende además una región de separación (30), en la que dicha región de separación está ubicada entre la región de clasificación y la pluralidad de salidas; en donde dicha región de separación comprende al menos una herramienta de guía de insectos configurada para guiar a dicho insecto preadulto hacia una salida asociada con la clasificación de insectos, y en donde la herramienta de guía de insectos se selecciona del grupo que consiste en una o más válvulas, un transductor configurado para generar fuerzas de radiación acústica, electrodos configurados para aplicar fuerzas electroosmóticas al medio líquido, electrodos configurados para aplicar fuerzas dielectroforéticas al insecto preadulto y cualquier combinación de los mismos.

35 4. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el canal fluídico comprende además una región de destrucción; en la que dicha región de destrucción comprende al menos una herramienta de destrucción de insectos en comunicación con el controlador; y en donde dicha región destructora de insectos tiene configuraciones de "encendido" y "apagado" operadas por el controlador.

40 5. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el módulo electroóptico de la región de clasificación comprende al menos una de: una o más fuentes de luz configuradas para iluminar la región de clasificación emitiendo luz con un espectro y/o intensidades predeterminados, uno o más sensores de imagen, una o más fuentes acústicas configuradas para generar ondas sonoras que pasan a través de la región de clasificación, al menos un elemento óptico y una unidad de control interno en comunicación con el procesador, en donde el módulo electroóptico está configurado para obtener múltiples imágenes del insecto preadulto desde diferentes ángulos, y donde la iluminación de la fuente de luz es estroboscópica o pulsada.

45 6. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además un sensor en comunicación con el controlador, en donde el controlador está configurado además para controlar la cantidad de insectos en la entrada del canal fluídico en base a los datos adquiridos por dicho sensor, para permitir así el paso de un solo insecto preadulto a la vez al canal fluídico.

50 7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el procesador está configurado para realizar funciones seleccionadas de recibir los datos ópticos de un insecto preadulto individual adquiridos por el sensor del módulo electroóptico, procesando los datos ópticos, extrayendo un conjunto de parámetros indicativos del sexo del insecto preadulto a partir de los datos ópticos, clasificando al insecto preadulto en función del conjunto de parámetros extraídos de los datos ópticos, proporcionando instrucciones al controlador en función de la clasificación del insecto preadulto.

55 8. El sistema de la reivindicación 7, en el que los parámetros indicativos del sexo del insecto preadulto se seleccionan del grupo que consiste en el tamaño total del insecto preadulto, morfología del insecto preadulto, forma, proporción del tamaño del segmento, absorción de IR (infrarrojos), color, fluorescencia, morfología del disco gonadal, morfología del órgano sexual secundario, tamaño de las gónadas, morfología de las gónadas, autofluorescencia de las gónadas, tamaño de los testículos, tamaño de las glándulas accesorias masculinas, morfología de los testículos, morfología de las glándulas accesorias masculinas, autofluorescencia de los testículos, autofluorescencia de las glándulas accesorias masculinas, tamaño de las estructuras reproductivas primarias o secundarias masculinas y femeninas en desarrollo, órganos sexuales primitivos, morfología de las estructuras reproductivas primarias o secundarias masculinas y femeninas en desarrollo, autofluorescencia de las estructuras reproductivas primarias o secundarias masculinas y femeninas en desarrollo y cualquier combinación de ellas.

9. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que dicho sistema comprende además un recipiente en conexión fluida con un canal fluídico para la separación sexual de insectos preadultos, dicho recipiente contiene insectos preadultos no clasificados suspendidos en un medio líquido, y que tiene una salida configurada para permitir el paso de un solo insecto preadulto a la vez al canal fluídico, comprendiendo dicho recipiente además medios de presurización, tales como gas presurizado, vacío, fuerzas de gravedad y/o una o más bombas para impulsar un flujo de insectos preadultos no clasificados hacia la salida del recipiente hasta el canal fluidico.
10. Un método implementado por computadora para la separación de sexos de insectos preadultos que comprende:
- proporcionar el sistema para la separación de sexos de insectos preadultos de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9;
  - hacer pasar los insectos preadultos suspendidos en el medio líquido a través de la entrada hacia el canal fluídico hacia la región de clasificación;
  - adquirir datos ópticos del insecto preadulto individual en la región de clasificación mediante uno o más sensores de módulo electroóptico;
  - transmitir los datos ópticos del insecto preadulto individual al procesador;
  - procesar los datos ópticos y clasificar cada insecto preadulto en función de un conjunto de parámetros indicativos del sexo del insecto preadulto extraído de los datos ópticos;
  - proporcionar instrucciones al controlador en función de la clasificación del insecto preadulto individual; y
  - clasificar el insecto preadulto de acuerdo a las instrucciones recibidas por el controlador.
11. El método de la reivindicación 10, en el que los insectos preadultos se clasifican en al menos dos clases seleccionadas de un grupo compuesto por:
- 25 masculino y no masculino, o femenino y no femenino.
12. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10, 11 en el que el insecto preadulto es una larva o una pupa o una ninfa.
- 30
13. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en el que el tipo de insecto preadulto se selecciona del grupo de Endopterygota que consiste en: Coleoptera (escarabajos), Diptera (moscas), Hymenoptera (hormigas, abejas, moscas sierra y avispas), Lepidoptera (mariposas y polillas), Mecoptera (moscas escorpión), Megaloptera (moscas de los alisos, moscas Dobson y moscas de los peces), miomópteros, neurópteros (crisopas, antiones), rafidiópteros (moscas serpiente), sifonápteros (pulgas), estrepsípteros (Parásitos de alas retorcidas) y Tricópteros (moscas tricópteras), y en donde la especie de insecto preadulto se selecciona del grupo formado por: a) Especies de dípteros, como las de la familia Culicidae, por ejemplo, Culex pipiens, Aedes Aegypti, Aedes albopictus, Anopheles gambiae; de la familia Drosophilidae, p. ej. Drosophila melanogaster, Drosophila suzukir, de la familia Tephritidae, p. ej. Bactrocera tryoni, Anastrepha fraterculus, Anastrepha ludens; de la familia Stratiomyidae, p. ej. Hermetia illucens de la familia Syrphidae, p. ej. Eristalis tenax b) especies de fepidópteros, como por ejemplo, de la familia Plutellidae, p. ej. Plutella xylostella de la familia Pyralidae, p. ej. Plodia interpunctella c) especies de coleópteros, como las de la familia Tenebrionidae, por ejemplo, Tribolium castaneum.
- 40
14. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, comprende además etapas de reducción o elevación de la temperatura del medio líquido para controlar los movimientos sinuosos de los insectos preadultos que fluyen dentro del canal fluídico.
- 45
15. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el que dicha clasificación comprende utilizar una red neuronal entrenada.
- 50

55

60

65

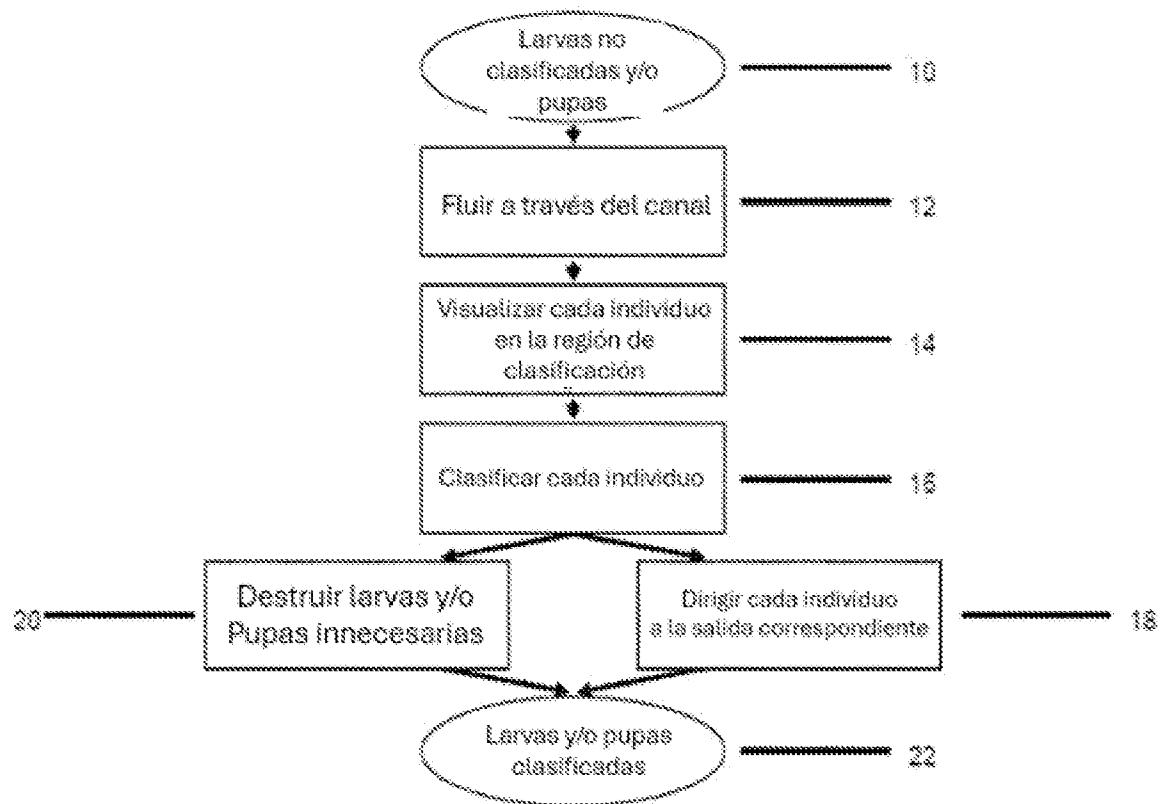


FIG. 1

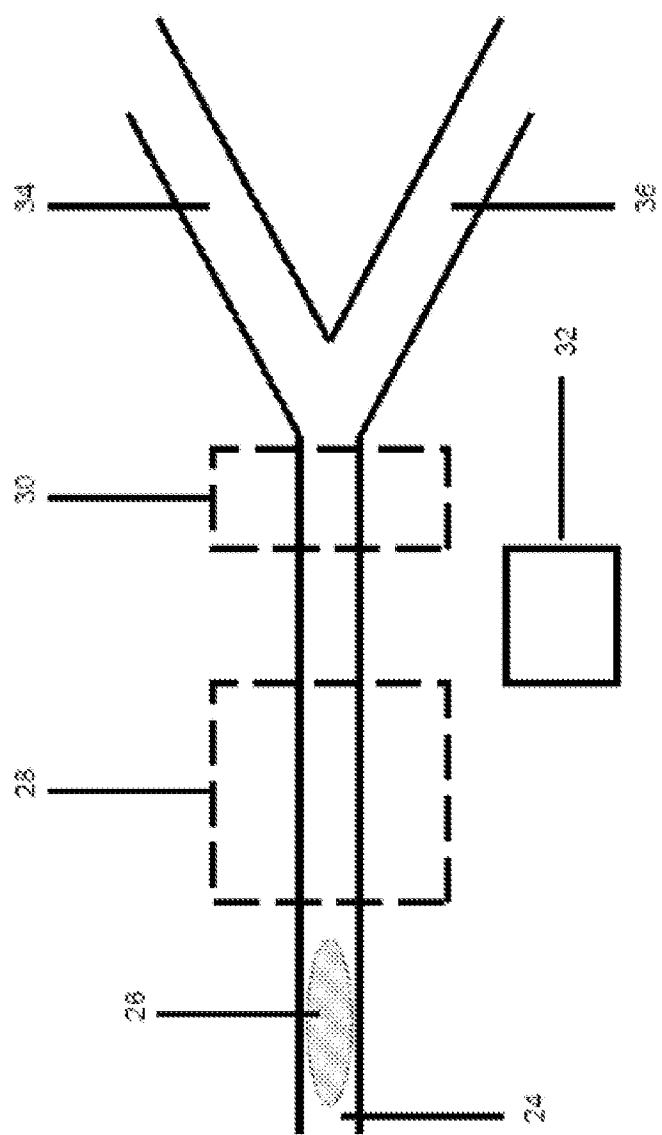
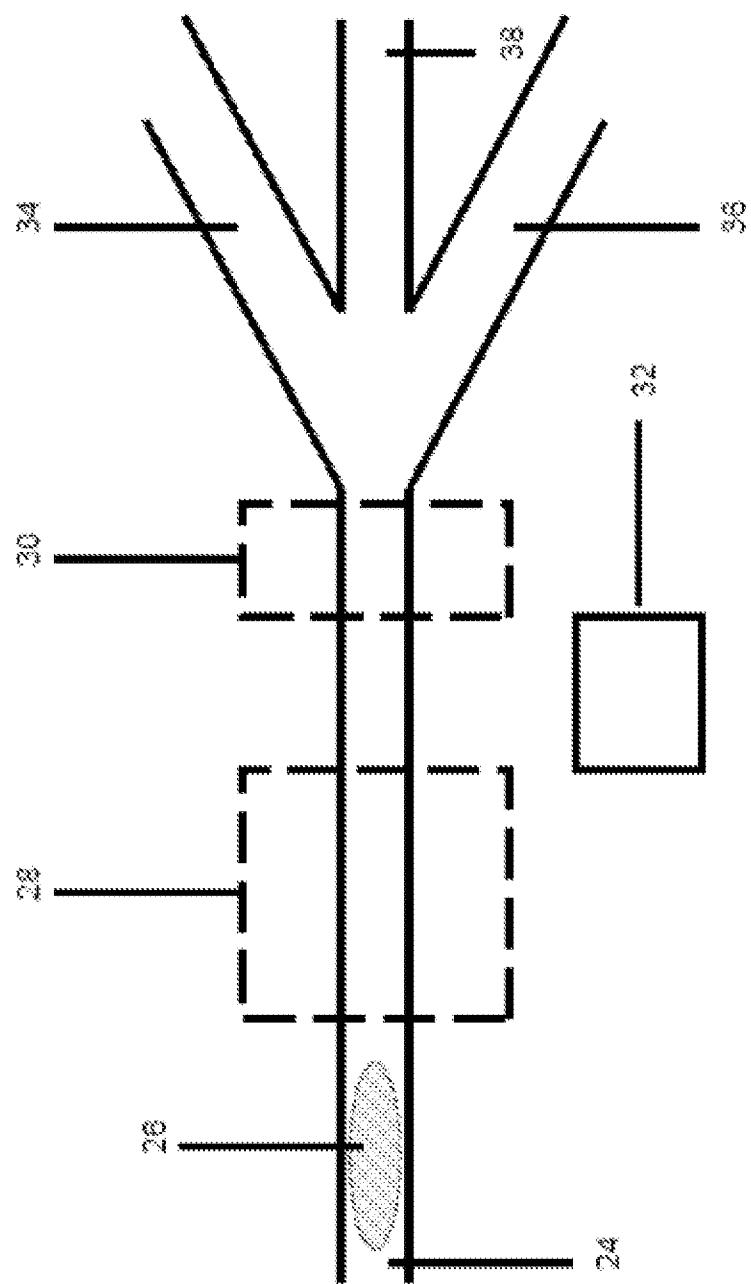
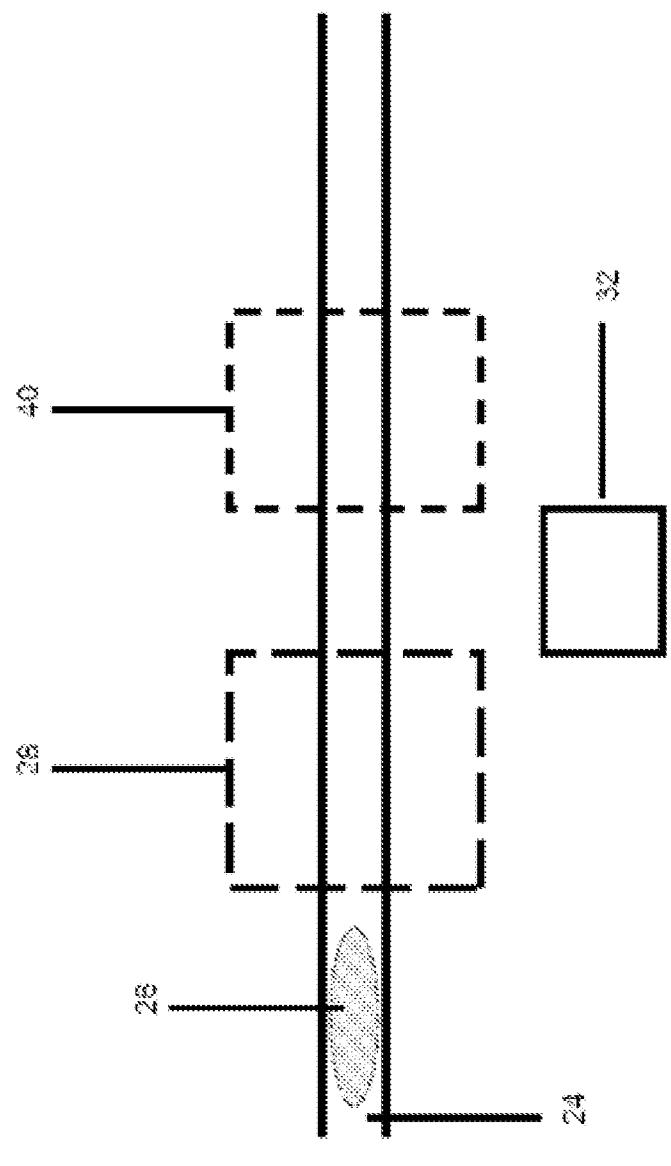


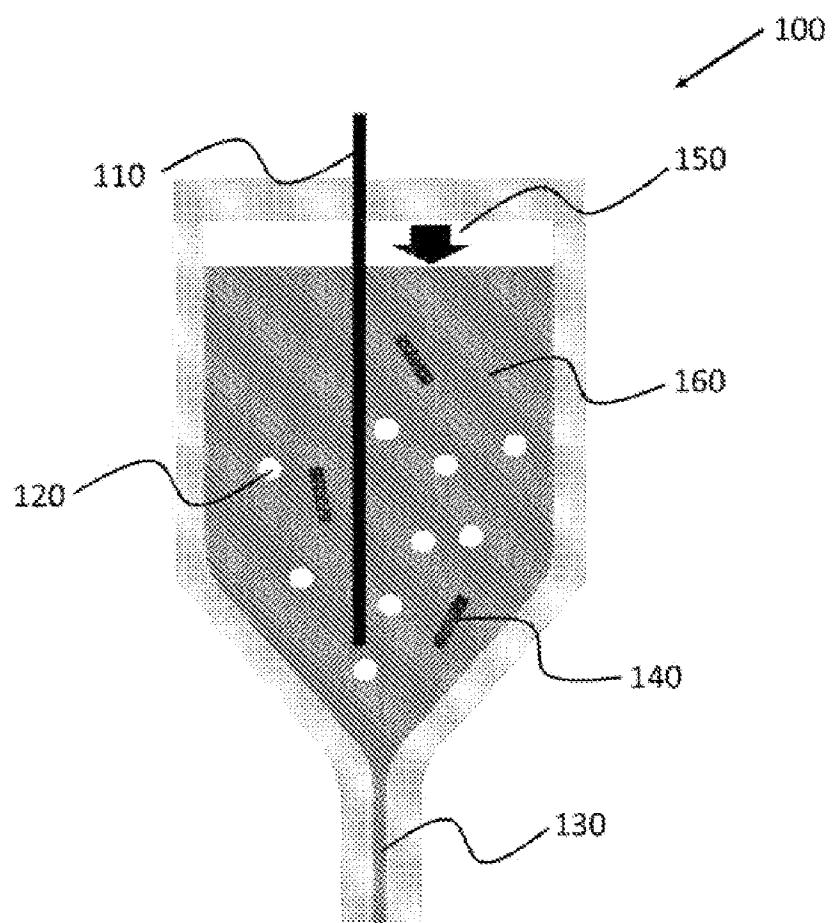
FIG. 2A



**FIG. 2B**



**FIG. 2C**



**FIG. 3**