

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 805 248**

51 Int. Cl.:

A01N 61/00 (2006.01)

A01M 1/10 (2006.01)

A01M 1/02 (2006.01)

A01M 1/20 (2006.01)

A01M 1/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.10.2011** **PCT/US2011/056555**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.04.2012** **WO12054397**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.10.2011** **E 11834936 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020** **EP 2627170**

54 Título: **Supervisión automática de poblaciones de insectos**

30 Prioridad:

17.10.2010 US 393919 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.02.2021

73 Titular/es:

PURDUE RESEARCH FOUNDATION (100.0%)
1281 Win Hentschel Boulevard
West Lafayette, IN 47906-4182, US

72 Inventor/es:

PARK, JOHNNY;
HOLGUIN LONDONO, GERMAN, ANDRES y
MEDEIROS, HENRY, PONTI

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 805 248 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

Supervisión automática de poblaciones de insectos

5 Referencia cruzada con la solicitud relacionada

La presente solicitud reclama la prioridad con respecto a la solicitud provisional de Estados Unidos n.º 61/393.919, presentada el domingo 17 de octubre de 2010, cuya divulgación completa se incorpora en el presente documento por referencia.

10 Derechos gubernamentales

Parte del trabajo durante el desarrollo de la presente invención fue financiado con el apoyo del gobierno del Instituto Nacional de Alimentación y Agricultura bajo la subvención SCRI-103480; el gobierno de los Estados Unidos puede tener ciertos derechos en la invención.

Campo técnico

La presente divulgación se refiere, por lo general, a sistemas integrados de manejo de plagas (IPM) y, de forma más particular, a redes inalámbricas de sensores para la supervisión automática de poblaciones de insectos.

Estado de la técnica

Existe un consenso entre las agencias gubernamentales, instituciones de investigación, industria, organizaciones de productores y el público en general que deberían reducirse las aplicaciones programadas regularmente de pesticidas de amplio espectro, puesto que estos pesticidas dan lugar a una serie de problemas económicos, ambientales y sociales (por ejemplo, uso excesivo de pesticidas, resistencia a pesticidas, toxicidad para los enemigos naturales, seguridad del trabajador, residuos de comida, etc.). El desarrollo de programas IPM basados en tecnologías ecológicamente sólidas ofrece una oportunidad única para satisfacer esta y otras necesidades.

La supervisión de las poblaciones de insectos es un componente importante en cualquier programa de IPM ecológicamente racional. Por ejemplo, si un productor subestima una población de insectos por debajo del umbral de tratamiento, es posible que el productor no aplique pesticida a pesar de que hay suficientes insectos para causar daños graves a la fruta. Por otra parte, si el productor sobreestima la población de insectos para estar por encima del umbral de tratamiento cuando en realidad está por debajo del umbral de tratamiento, el productor puede desperdiciar dinero y recursos aplicando pesticidas innecesarios.

En la industria de los árboles frutales, los insectos económicamente más significativos son las polillas, incluyendo, pero sin limitación, polillas (*Cydia pomonella*), polillas de frutas orientales (*Grapholitha molesta*), y enrolladores de hojas (*Archips argyrospila* y *Choristoneura rosaceana*). En la industria de productos almacenados, las polillas y los escarabajos son las dos plagas principales, incluyendo, pero sin limitación, polillas indias (*Plodia interpunctella*), polillas de harina mediterráneas (*Ephestia kuehniella*), escarabajos de cigarrillo (*Lasioderma serricorne*), y escarabajos de almacén (*Trogoderma variabile*). Para cada uno de estos insectos, se han desarrollado señuelos artificiales basados sobre la feromona sexual específica que la hembra de cada especie utiliza para atraer a los machos para el apareamiento. Durante las últimas tres o cuatro décadas, la captura de polillas macho en trampas con cebo de feromonas ha sido la medida más basada en principios utilizada para controlar las poblaciones de insectos e informar las decisiones de manejo de plagas (por ejemplo, cuándo iniciar un tratamiento con pesticidas, dónde y cuánto aplicar pesticidas, etc.). Dichas técnicas han permitido una disminución relativamente grande en el número de aplicaciones de pesticidas, como se describe en M.G. Salomón, Manejo Integrado de Plagas (1987); O.B. Kovanci y col., Comparación de la Interrupción del Apareamiento con Pesticidas para el Manejo de la Polilla Oriental de la Fruta (Lepidópteros: Tortricidae) en los huertos de manzanas de Carolina del Norte, J. Econ. Entomología 1248-58 (2005); D. Thomson y col., Diez Años Implementando la Interrupción del Apareamiento de la Polilla de la Manzana en los Huertos de Washington y Columbia Británica: Comenzar Bien y Gestionar el éxito, Boletín IOBC WPRS 23-30. (2001); T. Alway, Interrupción del Apareamiento de la Polilla de la Manzana y Establecimiento de un Sitio para el Manejo de la Polilla de la Manzana Basado en Feromonas en el Noroeste del Pacífico, Wash. State Univ. (1998); L.J. Gut y col., Manejo Basado en Feromonas de la Polilla de la Manzana (Lepidópteros: Tortricidae) en los Huertos de Manzanas de Washington, J. Agric. Entomología 387-405 (1998); y L.H. Blommers, Manejo Integrado de Plagas en Huertos de Manzanas Europeos, 39 Ann. Rev. Entomology 213-41 (1994), cuyas divulgaciones completas se incorporan por referencia en el presente documento.

A pesar del beneficio potencial, las actividades intensivas en mano de obra asociadas con el manejo de trampas de feromonas han sido un factor clave que desaceleró su adopción generalizada. Por lo general, se recomienda que las trampas de feromonas se distribuyan a densidades de una trampa por hectárea (es decir, aproximadamente a 100 m de distancia) para plagas de árboles frutales y una trampa por cada 100 m² (es decir, aproximadamente 10 m de separación) para plagas de productos almacenados. A menudo se necesitan trampas adicionales alrededor de la frontera y otras áreas susceptibles a nuevas migraciones de plagas. Actualmente, las trampas de feromonas deben

inspeccionarse regularmente, generalmente de una a cinco veces por semana, dependiendo del momento de la temporada y las especies de plagas. La inspección de trampas generalmente consiste en (1) localizar trampas individuales, (2) contar manualmente el número de plagas objetivo capturadas en cada trampa y escribir el número en una hoja de papel, y (3) reemplazar el fondo adhesivo en cada trampa, puesto que los insectos y otros desechos cubren el fondo pegajoso. Por tanto, los costes laborales asociados con las trampas de feromonas pueden volverse prohibitivamente caros (es decir, mayor que cualquier ahorro obtenido de la reducción de pesticidas). Estos costos laborales han sido documentados en S.C. Welter, Alcance de Atracción para Combinaciones de Señuelo-Trampa de Feromonas Modificadas para Huertos de Interrupción de Apareamiento, Cal. Pera Advisory Bd. (1997); E.R. Williamson y col., Economía de la Utilización de Feromonas para la Interrupción del Apareamiento de la Polilla de la Manzana, *Carpocapsa Pomonella*, Protección de cultivos 473-477 (1996); L.H. Blommers (citado anteriormente); y P.G. Fenemore y col., Problemas de Implementar Mejoras en el Control de Plagas: Un Caso de Estudio de Manzanas en el Reino Unido, Protección de cultivos 51-70 (1985), cuyas divulgaciones completas se incorporan por referencia en el presente documento. La supervisión constante de las poblaciones de insectos sigue siendo uno de los componentes más desafiantes de cualquier programa de IPM.

El documento US 2006/150470 desvela un método y sistema integrados para prevenir y resolver problemas relacionados con plagas de cualquier tipo en un sitio, en un edificio, en un proceso, instalación o en un área. El sistema implica la digitalización completa y la automatización de todas las funciones necesarias para controlar las plagas, como la vigilancia, registro, alarmas, regulación y acciones correctivas, así como la generación de informes, etc. El objetivo es hacer que el esfuerzo general contra las plagas sea más efectivo mediante la automatización completa de todos los procesos en la mayor medida posible.

El documento US 2004/093190 se refiere a la detección y supervisión de insectos voladores de una especie dada, colocando un conjunto de microcontrolador dentro de una trampa con cebo señuelo, que puede detectar y discriminar la presencia de esa especie, generalmente por su sonido. El conjunto del microcontrolador luego transmite un informe positivo a una estación central de supervisión por satélite, Internet, o transmisión de antenas. La estación central de supervisión recibe las identificaciones putativas de las especies de insectos objetivo, coincide con las ubicaciones de las trampas que responden positivamente, y luego mapea las ubicaciones de las respuestas de trampa positivas. Las características adicionales incluyen: identificación de especies de insectos por un rango característico de frecuencia acústica, un patrón almacenado en el microcontrolador y/o la estación central de supervisión; uso de trampas con señuelos múltiples; transferencia periódica de señales de prueba desde la estación central de supervisión a estaciones remotas de detección para verificar que el sistema funciona correctamente; y el uso del conjunto del sensor del microcontrolador sin trampas para supervisarlas formas de vida que emiten sonido en sitios atractivos para las especies objetivo.

Divulgación de la invención

De acuerdo con un aspecto, un dispositivo electrónico de supervisión de insectos (EIMD) puede comprender un señuelo para atraer al menos una especie de insecto objetivo, uno o más sensores que generan una o más señales de salida en respuesta a un insecto que se acerca al señuelo, y un controlador electrónico configurado para determinar si el insecto que se acerca al señuelo pertenece a la al menos una especie de insecto objetivo que utiliza una o más señales de salida, caracterizado por que uno o más sensores son sensores de bioimpedancia que comprenden una red de descarga eléctrica de alta tensión.

En algunas realizaciones del EIMD, el uno o más sensores pueden comprender un sensor de bioimpedancia. El sensor de bioimpedancia puede comprender una red de descarga eléctrica de alta tensión. La red de descarga eléctrica de alta tensión puede comprender una pluralidad de elementos metálicos que definen un cilindro con una superficie inferior abierta. La red de descarga eléctrica de alta tensión puede configurarse para producir una tensión que solo aturde temporalmente a un insecto que se acerca al señuelo. En otras realizaciones del EIMD, el uno o más sensores pueden comprender una óptica sensor. En otras realizaciones más del EIMD, el uno o más sensores pueden comprender un sensor ultrasónico. En algunas realizaciones, el uno o más sensores pueden comprender al menos dos sensores seleccionados del grupo que consiste en sensores ultrasónicos, sensores de bioimpedancia y sensores ópticos.

En algunas realizaciones del EIMD, el controlador electrónico puede configurarse para determinar si el insecto que se acerca al señuelo pertenece a la al menos una especie de insecto objetivo analizando al menos una de una pendiente, una amplitud, un tiempo de subida, un tiempo de caída, un ancho y una frecuencia de llamada de un pulso eléctrico de una o más señales de salida. En otras realizaciones del EIMD, el controlador electrónico puede configurarse para determinar si el insecto que se acerca al señuelo pertenece a la al menos una especie de insecto objetivo aplicando un algoritmo de fusión del sensor a la una o más señales de salida.

En algunas realizaciones, el EIMD puede comprender además un módulo de comunicación para comunicarse de forma inalámbrica con EIMD vecinos. En otras realizaciones, el EIMD puede comprender además un módulo de sistema de posicionamiento global para determinar una ubicación de despliegue del EIMD. En otras realizaciones adicionales, el EIMD puede comprender además una batería que suministra energía al controlador electrónico y al uno o más sensores a través de un controlador de potencia. El controlador de potencia puede configurarse para implementar un

esquema de ciclo de trabajo activo para conservar la energía suministrada por la batería.

En algunas realizaciones, El EIMD puede comprender además un recolector de insectos que tiene al menos una superficie superior inclinada hacia dentro. En otras realizaciones, el EIMD puede comprender además una carcasa que contiene el controlador electrónico. La carcasa puede estar configurada para ser intercambiable con un recolector de insectos en forma de delta y un recolector de insectos en forma de cubo.

De acuerdo con otro aspecto, un sistema integrado de manejo de plagas (IPM) puede comprender una pluralidad de dispositivos electrónicos de supervisión de insectos (EIMD). Cada uno de la pluralidad de EIMD puede comprender uno o más sensores configurados para detectar un insecto objetivo, un controlador electrónico configurado para contar una cantidad de insectos objetivo detectados durante un período de tiempo, y una radio inalámbrica configurada para comunicar la cantidad de insectos objetivo detectados durante el período de tiempo a través de una red inalámbrica compartida por la pluralidad de EIMD.

En algunas realizaciones del sistema IPM, cada uno de la pluralidad de EIMD puede comprender además un módulo de sistema de posicionamiento global configurado para determinar una ubicación del EIMD. La radio inalámbrica de cada uno de la pluralidad de EIMD puede configurarse además para comunicar la ubicación del EIMD a través de la red inalámbrica. La radio inalámbrica de cada uno de la pluralidad de EIMD puede configurarse para comunicarse directamente a través de la red inalámbrica con solo un primer subconjunto de la pluralidad de EIMD. La radio inalámbrica de cada uno de la pluralidad de EIMD puede configurarse para comunicarse indirectamente a través de la red inalámbrica con un segundo subconjunto de la pluralidad de EIMD utilizando comunicaciones de salto múltiple.

En algunas realizaciones del sistema IPM, el controlador electrónico de cada uno de la pluralidad de EIMD puede configurarse para aplicar un protocolo de agregación de datos basado en clúster a los datos comunicados a través de la red inalámbrica. En otras realizaciones del sistema IPM, el controlador electrónico de cada uno de la pluralidad de EIMD puede configurarse para aplicar un protocolo de agregación de datos oportunista a los datos comunicados a través de la red inalámbrica. En otras realizaciones adicionales del sistema IPM, El controlador electrónico de cada uno de la pluralidad de EIMD puede configurarse para aplicar un protocolo de compresión de datos multidimensional a los datos comunicados a través de la red inalámbrica.

En algunas realizaciones, el sistema IPM puede comprender además un sistema de soporte de decisiones (DSS) configurado para recibir el número de insectos objetivo detectados por cada uno de la pluralidad de EIMD y para generar información de manejo de plagas específica del sitio en respuesta al número de insectos objetivo detectados por cada uno de la pluralidad de EIMD. El sistema IPM puede comprender además una pasarela de red en comunicación directa con el DSS, la pasarela de red configurada para comunicarse con uno o más de la pluralidad de EIMD a través de la red inalámbrica. En otras realizaciones, el sistema IPM puede comprender además una estación base integrada configurada para comunicarse con uno o más de la pluralidad de EIMD a través de la red inalámbrica y para comunicarse con el DSS a través de una red pública.

En algunas realizaciones del sistema IPM, la información de manejo de plagas específica del sitio puede comprender una interfaz gráfica de usuario que incluye un mapa de población de insectos. La interfaz gráfica de usuario puede incluir además uno o más iconos que representan cada uno de la ubicación de uno de la pluralidad de EIMD. La interfaz gráfica de usuario también puede incluir un gráfico que ilustra el número de insectos objetivo detectados por uno o más de la pluralidad de EIMD durante el período de tiempo.

Breve descripción de los dibujos

La descripción detallada a continuación se refiere particularmente a las figuras adjuntas en las que:

- la Figura 1 ilustra una realización de un sistema automatizado de IPM;
- la Figura 2 ilustra una realización de un dispositivo electrónico de supervisión de insectos (EIMD) que puede usarse en el sistema IPM de la Figura 1;
- la Figura 3A ilustra una realización de un señuelo que puede usarse en el EIMD de la Figura 2;
- la Figura 3B ilustra una realización de un sensor de bioimpedancia que puede usarse en el EIMD de la Figura 2;
- la Figura 3C ilustra otra realización de un sensor de bioimpedancia que puede usarse en el EIMD de la Figura 2;
- la Figura 3D ilustra otra realización más de un sensor de bioimpedancia que puede usarse en el EIMD de la Figura 2;
- la Figura 3E ilustra una realización de un recolector de insectos que puede usarse en el EIMD de la Figura 2;
- la Figura 3F ilustra otra realización de un recolector de insectos que puede usarse en el EIMD de la Figura 2;
- la Figura 4 es un diagrama de bloques simplificado de una realización ilustrativa de una placa de circuito mixto que puede usarse en el EIMD de la Figura 2;
- la Figura 5 es un esquema en sección transversal de otra realización ilustrativa de un EIMD que puede usarse en el sistema IPM de la Figura 1;
- la Figura 6 ilustra un pulso eléctrico a modo de ejemplo generado por la presencia de un insecto objetivo en el EIMD de la Figura 5;
- la Figura 7 es un diagrama de bloques simplificado de la placa de circuito mixto del EIMD de la Figura 5;

la Figura 8 es un esquema en sección transversal de otra realización ilustrativa más de un EIMD que puede usarse en el sistema IPM de la Figura 1;

la Figura 9 ilustra los sensores ópticos del EIMD de la Figura 8;

la Figura 10 es un esquema en sección transversal de otra realización ilustrativa más de un EIMD que puede usarse en el sistema IPM de la Figura 1;

a Figura 11 es un diagrama de bloques simplificado de una realización ilustrativa de una estación base incorporada que puede usarse en el sistema IPM de la Figura 1;

la Figura 12 ilustra una realización de una red de EIMD que transmite datos a una pasarela de red utilizando rutas de múltiples saltos;

la Figura 13A ilustra el uso de la agregación de datos basada en clúster en la red de EIMD de la Figura 12;

la Figura 13B ilustra el uso de la agregación de datos oportunista en la red de EIMD de la Figura 12;

la Figura 14A ilustra una realización de una interfaz gráfica de usuario que incluye un mapa de población de insectos;

la Figura 14B ilustra otra realización de una interfaz gráfica de usuario que incluye un mapa de población de insectos con las ubicaciones de EIMD mostradas como iconos; y

la Figura 15 ilustra otra realización más de una interfaz gráfica de usuario que incluye un mapa de población de insectos y un gráfico que muestra variaciones en la población de insectos a lo largo del tiempo.

Los elementos similares se etiquetan con números de referencia similares en todas las figuras.

Mejor o mejores modos para llevar a cabo la invención

Si bien los conceptos de la presente divulgación son susceptibles de diversas modificaciones y formas alternativas, las realizaciones a modo de ejemplo específicas de la misma se han mostrado a modo de ejemplo en los dibujos y se describirán en detalle en el presente documento. Deberá entenderse, sin embargo, que no hay intención de limitar los conceptos de la presente divulgación a las formas particulares divulgadas, sino por el contrario, la intención es cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que caen dentro del espíritu y alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

En la siguiente descripción, numerosos detalles específicos, tales como los tipos e interrelaciones de componentes del sistema, pueden establecerse para proporcionar una comprensión más completa de la presente divulgación. Será apreciado, sin embargo, por un experto en la materia que las realizaciones de la divulgación se pueden practicar sin dichos detalles específicos. En otros casos, estructuras de Control, circuitos de nivel de compuerta y secuencias de instrucciones de software completas pueden no haberse mostrado en detalle para no oscurecer la divulgación. Aquellos expertos en la materia, con las descripciones incluidas, podrá implementar la funcionalidad adecuada sin una experimentación excesiva.

Referencias en la memoria descriptiva a "la realización" "una realización", "una realización ilustrativa" etc., indican que la realización descrita puede incluir un aspecto, estructura o característica particular, pero cada realización puede no incluir necesariamente el aspecto, estructura o característica particular. Asimismo, tales frases no se refieren necesariamente a la misma realización. Además, cuando un aspecto, estructura o característica particular se describe en relación con una realización, se afirma que está dentro del conocimiento de un experto en la materia afectar dicho aspecto, estructura o característica particular en relación con otras realizaciones, descritas o no explícitamente.

Las realizaciones de la divulgación pueden implementarse en hardware, firmware, software, o cualquier combinación de los mismos. Por ejemplo, algunas realizaciones ilustrativas de la divulgación pueden implementarse como instrucciones almacenadas en uno o más medios legibles por máquina no transitorios, que pueden ser leídos y ejecutados por uno o más procesadores. Un medio legible por máquina no transitorio puede incluir cualquier mecanismo tangible para almacenar o transmitir información en una forma legible por una máquina (por ejemplo, un procesador). Por ejemplo, un medio legible por máquina no transitorio puede incluir memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio (RAM), medios de almacenamiento en disco magnético, medios de almacenamiento ópticos, dispositivos de memoria flash y otros medios tangibles.

Una realización ilustrativa de un sistema automático integrado de manejo de plagas (IPM) 10 se muestra en la Figura 1. El sistema IPM 10 incluye varios dispositivos electrónicos de supervisión de insectos (EIMD) 12, formando una red de EIMD 14 desplegada en un campo 16 (por ejemplo, un huerto). Se contempla que la red de EIMD 14 pueda implementarse en cualquier ubicación en la que el sistema IPM 10 proporcionará un mejor manejo de plagas. Cada EIMD 12 supervisa automáticamente la población de insectos en su vecindario usando un señuelo (por ejemplo, una feromona sexual) que atrae al menos una especie de insecto objetivo y uno o más sensores electrónicos que detectan cuando un insecto objetivo se acerca al señuelo. A continuación se describen diversas realizaciones de EIMD 12 que pueden usarse en el sistema IPM 10 con referencia a las Figuras 2-10. Se contempla que el sistema IPM 10 puede incluir cualquier número de EIMD 12, dependiendo de las características de la ubicación de implementación (por ejemplo, el tamaño del campo 16).

En la realización ilustrativa de la Figura 1, los datos adquiridos por cada EIMD 12 se transmiten de forma inalámbrica a un sistema de soporte de decisiones (DSS) 18 a través de una pasarela de red 20 del sistema IPM 10. El DSS 18

- puede realizarse como cualquier tipo de dispositivo informático, o cualquier número de dispositivos informáticos. Por ejemplo, el DSS 18 puede ser incorporado como uno o más ordenadores personales, estaciones de trabajo, ordenadores portátiles, ordenadores de mano, dispositivos móviles de internet, teléfonos celulares, asistentes de datos personales, dispositivos de telefonía, dispositivos de red, dispositivos de virtualización, controladores de almacenamiento u otros dispositivos informáticos configurados para comunicarse con la red de EIMD 14. En la realización ilustrativa de la Figura 1, la pasarela de red 20 está dentro del alcance de comunicaciones de al menos un EIMD 12 implementado en el campo 16 (permitiendo que los EIMD 12 restantes se comuniquen indirectamente con la pasarela de red 20 a través de rutas de múltiples saltos, como se describirá adicionalmente a continuación con referencia a las Figuras 12, 13A y 13B). En otras realizaciones, en las que el DSS 18 y la pasarela de red 20 no pueden ubicarse convenientemente en o cerca del campo 16, el sistema IPM 10 también puede incluir una estación base integrada 28 desplegada en el campo 16. Como se describirá más detalladamente a continuación con referencia a la Figura 11, la estación base 28 es capaz de recopilar datos de la red de EIMD 14 sin conexión directa a un ordenador o fuente de alimentación externa.
- El DSS 18 interpreta los datos recibidos de la red de EIMD 14 y genera información de manejo de plagas específica del sitio relacionada con el campo 16. Por ejemplo, el DSS 18 puede generar una o más interfaces gráficas de usuario (GUI), tales como los descritos a continuación con referencia a las Figuras 14A, 14B y 15, utilizando los datos recibidos de la red de EIMD 14. Los usuarios pueden acceder a la información de manejo de plagas específica del sitio generada por el DSS 18 a través de uno o más dispositivos informáticos habilitados para el navegador, como un ordenador personal 22 o un teléfono móvil 24. El uno o más dispositivos informáticos 22, 24 pueden estar incorporados como uno o más ordenadores personales, estaciones de trabajo, ordenadores portátiles, ordenadores de mano, dispositivos móviles de internet, teléfonos celulares, asistentes de datos personales, dispositivos de telefonía, dispositivos de red, dispositivos de virtualización, controladores de almacenamiento u otros dispositivos basados en ordenador configurados para comunicarse con el DSS 18 a través de una red 26. La red 26 puede realizarse como cualquier tipo de red cableada y/o inalámbrica tal como una red de área local, una red de área amplia, una red global disponible públicamente (por ejemplo, Internet) y/u otra red. Adicionalmente, la red 26 puede incluir cualquier número de dispositivos adicionales para facilitar la comunicación entre el DSS 18 y el uno o más dispositivos informáticos 22, 24, como enrutadores, interruptores, ordenadores intervinientes, y similares.
- En las realizaciones ilustrativas, cada EIMD 12 del sistema IPM 10 incluye varios componentes modulares: una carcasa electrónica 30, uno o más sensores 32, uno o más señuelos 34, y un recolector de insectos 36. Una realización ilustrativa de un EIMD 12 que tiene estos cuatro componentes modulares se muestra en la Figura 2. La carcasa electrónica 30 del EIMD 12 encierra una placa de circuito mixto 40 (es decir, un circuito analógico y digital) que, junto con uno o más sensores 32, detecta e identifica insectos objetivo e informa los datos recopilados a la pasarela de red 20 (o a la estación base 28). El uno o más sensores 32 del EIMD 12 pueden realizarse como cualquier tipo de sensores electrónicos que generen una o más señales de salida en respuesta a la presencia de un insecto. El uno o más señuelos 34 del EIMD 12 se pueden incorporar como cualquier tipo de sustancia (por ejemplo, una feromona sexual) diseñada para atraer un insecto objetivo. En algunas realizaciones, el EIMD 12 puede incluir múltiples señuelos no interferentes 34 para diferentes especies de insectos objetivo (por ejemplo, un señuelo 34 para la polilla de las manzanas y otro señuelo 34 para la polilla oriental de la fruta). Como se muestra en la Figura 3A, el uno o más señuelos 34 pueden estar unidos a un soporte 38 que permite que uno o más señuelos 34 se suspendan entre uno o más sensores 32 del EIMD 12. El recolector de insectos 36 del EIMD 12 generalmente se coloca debajo de uno o más sensores 32 y recoge los insectos objetivo que son atraídos por uno o más señuelos 34.
- Como los componentes del EIMD 12 son modulares, muchos tipos diferentes de sensores 32, los señuelos 34 y los recolectores de insectos 36 pueden combinarse con el alojamiento de la electrónica 30 para ensamblar un EIMD 12 que apunte a un tipo particular de insecto o logre el rendimiento deseado. Por ejemplo, el uno o más sensores 32 del EIMD 12 pueden estar incorporados como uno o más sensores de bioimpedancia, sensores ópticos, sensores de ultrasonido y similares. En la realización ilustrativa mostrada en la Figuras 2, el uno o más sensores 32 comprenden un sensor de bioimpedancia que se incorpora como una red de descarga eléctrica de alta tensión 32. Este sensor de bioimpedancia particular 32, que se muestra con más detalle en la Figura 3B, comprende dos bobinas metálicas concéntricas que forman un cilindro con una superficie inferior abierta. También se contemplan diseños alternativos de la red de descarga eléctrica de alta tensión 32. Como se muestra en la Figura 3C, el sensor de bioimpedancia 32 puede comprender una pluralidad de varillas metálicas verticales que forman un cilindro con una superficie inferior abierta. Como se muestra en la Figura 3D, el sensor de bioimpedancia 32 puede comprender alternativamente una pluralidad de varillas metálicas verticales que forman una forma rectangular con una superficie inferior abierta (por ejemplo, dos filas paralelas de varillas metálicas verticales). Se contempla que el sensor de bioimpedancia 32 puede comprender una pluralidad de elementos metálicos que forman cualquier forma deseada (por ejemplo, una sola fila de varillas metálicas verticales). Como los sensores 32 anteriores son modulares, cada realización del EIMD 12 puede incorporar cualquier estilo deseado de sensor 32. De forma similar, se pueden usar múltiples estilos de recolector de insectos 36 con el EIMD 12. Por ejemplo, cada EIMD 12 puede emplear un recolector de insectos en forma de delta 36, similar al mostrado en la Figura 3E, o un recolector de insectos en forma de cubo 36, similar al mostrado en la Figura 3F.
- Tal y como se ha mencionado anteriormente, cada EIMD 12 incluye una placa de circuito mixto 40 que automatiza la detección de los insectos objetivo y el informe de los datos recopilados de vuelta al DSS 18. Una realización general

de la placa de circuito mixto 40 se muestra como un diagrama de bloques simplificado en la Figura 4. La placa de circuito mixto 40 incluye uno o más módulos de detección de insectos 42 que interactúan con el uno o más sensores 32. Cuando uno o más sensores 32 generan señales de salida en respuesta a la presencia de un insecto objetivo, estas señales de salida son reportadas a un controlador electrónico 44 por uno o más módulos de detección de insectos 42. El controlador electrónico 44 de la placa de circuito mixto 40 puede realizarse como cualquier tipo de procesador capaz de ejecutar software/firmware, tal como un microprocesador, procesador de señales digitales, microcontrolador, circuito integrado de aplicación específica (ASIC), matriz de puerta programable en campo (FPGA), o similar. El controlador electrónico 44 procesa la información recibida del uno o más módulos de detección de insectos 42 (entre otras fuentes) y envía información a otros EIMD 12, la pasarela de red 20, y/o la estación base 28 usando uno o más módulos de comunicación 46. Uno o más módulos de localización 48 permiten que cada EIMD 12 descubra su propia ubicación geográfica, para que sus detecciones de insectos objetivo puedan localizarse espacialmente. Adicionalmente, la placa de circuito mixto 40 puede extenderse y personalizarse usando uno o más módulos de extensión 50. Por ejemplo, en algunas realizaciones, cada EIMD 12 también puede medir variables ambientales relevantes, tales como temperatura y humedad relativa. En otras realizaciones, la placa de circuito mixto 40 también puede incluir una memoria no volátil para almacenar temporalmente información. El controlador de potencia 52 de la placa de circuito mixto 40 suministra energía (directa o indirectamente) al uno o más módulos de detección de insectos 42, el controlador electrónico 44, el uno o más módulos de comunicación 46, el uno o más módulos de localización 48, y el uno o más módulos de extensión 50.

Una realización ilustrativa de un EIMD 12 que emplea un sensor de bioimpedancia 32 y un recolector de insectos en forma de delta 36 se muestra en sección transversal en la Figura 5. Similar a la red de descarga eléctrica de alta tensión 32 que se muestra en la Figura 3B, el sensor de bioimpedancia 32 de la fig. 5 se ilustra de manera ilustrativa como un par de bobinas metálicas separadas aproximadamente a 1/5 de pulgada entre sí. Se apreciará que, en otras realizaciones, el espacio entre bobinas se puede ajustar de acuerdo con la especie de insecto objetivo. El EIMD 12 incluye uno o más señuelos 34 ubicados entre las bobinas para atraer al menos una especie de insecto objetivo 56. La placa de circuito mixto 40 (ubicada en la carcasa de la electrónica 30) hace que se aplique una diferencia de tensión entre el par de bobinas metálicas del sensor de bioimpedancia 32, pero normalmente no fluye corriente, puesto que las dos bobinas forman un circuito abierto. Cuando un insecto 56 se acerca y/o toca el sensor de bioimpedancia 32, el circuito está cerrado y se produce un flujo de corriente que electrocuta al insecto objetivo 56. En algunas realizaciones, el nivel de tensión aplicado al sensor de bioimpedancia 32 puede optimizarse para aturdir temporalmente al insecto objetivo 56, en lugar de electrocutar completamente el insecto objetivo 56, para evitar que su carcasa se adhiera a una superficie del sensor de bioimpedancia 32. Debido a que el sensor de bioimpedancia 32 de la Figura 5 no emplea un marco de soporte para las bobinas, este diseño evita la acumulación de productos químicos utilizados en el campo 16 que podrían provocar un cortocircuito en las dos bobinas. Adicionalmente, como el sensor de bioimpedancia 32 no incluye ninguna superficie de aterrizaje no conductora, los insectos objetivos 56 no pueden acercarse a los señuelos 34 sin ser electrocutados (y por lo tanto detectados). Los expertos en la materia apreciarán que las consideraciones anteriores son igualmente aplicables a los diseños alternativos de sensores de bioimpedancia, incluyendo los ilustrados en las Figuras 3C y 3D.

El EIMD 12 detecta los insectos objetivo 56 analizando las características de las señales de tensión y corriente en los terminales del sensor de bioimpedancia 32. Cuando un insecto objetivo 56 se acerca y/o toca las bobinas del sensor de bioimpedancia 32, se genera un pulso eléctrico 62, como se ilustra en la Figura 6. El gráfico de la Figura 6 contrasta la señal 64 generada por el sensor de bioimpedancia 32 durante el funcionamiento normal y el pulso eléctrico 62 causado por la detección de un insecto 56. El controlador electrónico 44 puede analizar una o más propiedades de cada impulso eléctrico 62, incluyendo su pendiente, amplitud, tiempo de subida, tiempo de caída, ancho, frecuencia de llamada, etc., para distinguir si el evento fue causado por un insecto 56 perteneciente a una especie de insecto objetivo o una especie de insecto no objetivo. En realizaciones que usan múltiples señuelos 34, las propiedades del pulso eléctrico 62 pueden usarse no solo para distinguir los insectos objetivo contra los no objetivo 56 sino también para clasificar el insecto detectado 56 como una especie de insecto objetivo particular. Variaciones eléctricas en el sistema. (es decir, ruido) puede eliminarse mediante el uso de un filtro, como un filtro mediano. Se entenderá que se pueden implementar filtros apropiados en componentes de hardware discretos, en el software del controlador electrónico 44, o en ambos. Tal y como se muestra en la Figura 6, la aplicación de un filtro mediano a la señal sin filtrar 66 genera una señal filtrada 68 en la que se han eliminado las pequeñas variaciones pero se retienen las grandes variaciones resultantes de la presencia de un insecto 56.

Cuando un insecto 56 es atraído por uno o más señuelos 34 y electrocutado por el sensor de bioimpedancia 32, el insecto 56 cae en el recolector de insectos 36 del EIMD 12, como se muestra en la Figura 5. Similar al recolector de insectos en forma de delta 36 que se muestra en la Figura 3E, el recolector de insectos 36 de la Figura 5 está configurado de tal manera que los insectos 56 aturridos temporalmente caen fácilmente a través de una entrada 58 del recolector de insectos 36 pero tienen dificultades para escapar del recolector 36 debido a las superficies superiores 60 inclinadas hacia dentro del recolector de insectos 36. En otras realizaciones, con el EIMD 12 puede usarse un recolector de insectos en forma de cubo 36 (similar al que se muestra en la Figura 3F). En cualquier caso, también se contempla que el politetrafluoroetileno (PTFE) líquido (comúnmente denominado "Insecto-A-Slip" o "Fluon"), o sustancias similares, pueden aplicarse a una o más superficies del recolector de insectos 36 para aumentar la velocidad de captura y disminuir la velocidad de escape. La aplicación de PTFE líquido crea una superficie resbaladiza que causa apunte a los insectos 56 para que caigan dentro del recolector de insectos 36 más fácilmente y tengan más

dificultades para salir del recolector de insectos 36 después de ser capturados.

Haciendo referencia ahora a la Figura 7, la placa de circuito mixto 40 del EIMD 12 de la Figura 5 se ilustra como un diagrama de bloques simplificado. En esta realización ilustrativa, la placa de circuito mixto 40 está alimentada por una o más baterías recargables 70, uno o más paneles solares 72, o ambos simultáneamente. Por ejemplo, el EIMD 12 puede extraer energía de varias baterías recargables de tipo D o de un número de baterías recargables de fosfato de litio y hierro (LiFePO₄). El controlador de potencia 52 proporciona energía desde las baterías recargables 70 y/o los paneles solares 72 al resto de la placa de circuito mixto 40. una tensión de CC generada por el controlador de potencia 52 se convierte en tensión de CA mediante un convertidor de CC/CA aislado 74. Un multiplicador de tensión 76 usa esta tensión de CA para generar las altas tensiones que se aplican al sensor de bioimpedancia 32. Un convertidor de CC/CC 78 aislado también recibe energía del controlador de potencia 52 y la convierte a los niveles apropiados para alimentar un circuito de acondicionamiento de señal aislado 80. Este circuito de acondicionamiento de señal aislado 80 mide las señales de salida del sensor de bioimpedancia 32 cuando un insecto objetivo 56 es electrocutado y entrega estas mediciones a un canal analógico del controlador electrónico 44. Un circuito de alimentación de CC aislado 82 suministra energía desde el controlador de alimentación 52 al controlador electrónico 44.

En algunas realizaciones, el EIMD 12 puede funcionar con batería durante al menos seis meses, eliminando así la necesidad de reemplazar las baterías durante una temporada de crecimiento típica y reduciendo aún más los costos de mano de obra. Además de utilizar dispositivos microelectrónicos de baja potencia para la adquisición de datos, almacenamiento, procesamiento y transmisión, y el uno o más paneles solares 72 para recolección de energía, el controlador de potencia 52 también puede incluir un mecanismo de ciclo de trabajo adaptativo que permite que el EIMD 12 funcione durante períodos de tiempo más cortos cuando detecta que sus reservas de energía son bajas. A medida que el controlador de potencia 52 detecta que la energía almacenada en una o más baterías recargables 70 está disminuyendo constantemente, el controlador de potencia 52 puede suministrar energía de forma intermitente al convertidor CC/CA aislado 74, el convertidor de CC/CC aislado 78, y el circuito de alimentación de CC aislado 82 por períodos de tiempo más cortos. Este mecanismo de ciclo de trabajo adaptativo permite que el EIMD 12 funcione durante la cantidad máxima de tiempo sin agotar sus reservas de energía, obteniendo un equilibrio óptimo entre la vida útil de la batería y la precisión del conteo de insectos.

La placa de circuito mixto 40 de la Figura 7 incluye también una radio inalámbrica 46 que permite que el EIMD 12 se comunique con otros EIMD 12, la pasarela de red 20 y/o la estación base 28. En la realización ilustrativa, la radio inalámbrica 46 funciona de acuerdo con el estándar IEEE 802.15.4, Especificaciones de control de acceso medio inalámbrico (MAC) y capa física (PHY) para redes de área personal inalámbricas de baja velocidad (LR-WPAN), cuya divulgación completa se incorpora como referencia en el presente documento. Se contempla que la radio inalámbrica 46 pueda utilizar otros protocolos de comunicaciones en otras realizaciones. En la realización ilustrativa, la placa de circuito mixto 40 también incluye varios módulos de extensión 50, como un reloj 84 en tiempo real para rastrear con precisión la hora actual y permitir que las detecciones de insectos se marquen con la hora, uno o más sensores de temperatura y humedad 86 para supervisar parámetros ambientales relevantes, un lector de tarjeta SD 88 para el almacenamiento de información local, y una memoria flash externa 90 para el almacenamiento de información local. Se apreciará que la placa de circuito mixto 40 puede incluir módulos de extensión 50 adicionales o menos en otras realizaciones.

También se incluye un módulo GPS 48 en la placa de circuito mixto 40 para permitir que el EIMD 12 encuentre automáticamente su propia ubicación. Tal y como se ha indicado anteriormente, múltiples EIMD 12 pueden desplegarse en un campo 16 para formar una red de EIMD 14 para la supervisión de la población de insectos. Durante el despliegue, cada EIMD 12 se inicializa con sus propias coordenadas y una referencia de tiempo global. Esto se puede hacer de varias formas. En la realización ilustrativa, cada EIMD 12 incluye el módulo GPS 48, que proporciona una localización altamente precisa pero aumenta el presupuesto general de energía del EIMD 12, así como su coste. En otras realizaciones, se puede usar un dispositivo GPS portátil que transmita las coordenadas y la referencia de tiempo global a cada EIMD 12 en el momento del despliegue. Este enfoque es atractivo tanto en términos de costo como de consumo de energía, pero requiere que un usuario lleve el dispositivo GPS portátil durante la implementación. En otras realizaciones adicionales, los EIMD 12 pueden determinar sus coordenadas y la referencia de tiempo global utilizando algoritmos de localización, como los descritos en T.H. He, Esquemas de Localización de Libre Alcance para Redes de Sensores a Gran Escala, Proc. 9º Ann. Conf. Internacional en Computación Móvil y Redes 81-85 (2003); K.R. Langendoen, Localización Distribuida en Redes Inalámbricas de Sensores: Una Comparación Cuantitativa 43 Redes Informáticas, Redes Inalámbricas de Sensores 499-518 (2003); C.R. Savarese, Ubicación en Redes Inalámbricas de Sensores Ad-Hoc Distribuidas, 4 Proc. IEEE Conf. Internacional en Acústica, Voz, & Procesamiento de Señales 2037-2040 (2001); y A.H.C. Savvides, Localización Dinámica de Grano Fino en Redes Inalámbricas De Sensores Ad-Hoc, Proc. 7º Ann. ACM/IEEE Conf. Internacional en Informática Móvil y Redes (2001), cuyas divulgaciones completas se incorporan por referencia en el presente documento. La precisión de tales algoritmos de localización puede verse degradada en entornos donde existen obstáculos para la comunicación directa entre los EIMD 12 (como las copas de los árboles en el campo 16).

Otra realización ilustrativa de un EIMD 12, que emplea sensores ópticos 32 y un recolector de insectos en forma de cubo 36, se muestra en sección transversal en la Figura 8. En algunas realizaciones, los sensores ópticos 32 pueden incluir varios diodos emisores de luz (LED) de luz visible o infrarroja (IR) y detectores correspondientes. Por ejemplo,

una realización ilustrativa en la que ocho LED/detectores IR 32 están distribuidos alrededor de la circunferencia de un embudo 92 del EIMD 12 se muestra desde una vista inferior en la Figura 9. Para mayor precisión, otras realizaciones pueden emplear múltiples anillos concéntricos de IR LED/detectores 32 distribuidos alrededor de la circunferencia del embudo 92. Como los insectos objetivo 56 son atraídos por uno o más señuelos 34 colocados en el EIMD 12, una tira de muerte 94 impregnada con pesticida intoxica a los insectos 56 y eventualmente hace que caigan a través del embudo 92. Los sensores ópticos 32 montados en el embudo 92 (por ejemplo, cerca de una porción inferior del embudo 92, como se muestra en la Figura 8) se utilizan para contar los insectos que caen 56. Similar a la realización discutida anteriormente, el controlador electrónico 44 en la placa de circuito mixto 40 analiza las señales de salida de los sensores ópticos 32 para determinar la presencia de un insecto objetivo 56 en el EIMD 12. En algunas realizaciones, las propiedades de la una o más señales de salida recibidas de los sensores ópticos 32 pueden usarse no solo para detectar la presencia de insectos 56 sino también para distinguir diferentes especies. Se contempla que el EIMD 12 de la Figura 8 puede usar muchos de los mismos componentes que el EIMD 12 de la Figura 5 (por ejemplo, componentes de la placa de circuito mixto 40 mostrada en la Figura 7). Adicionalmente, debido a la naturaleza modular de los componentes del EIMD 12, los sensores ópticos 32 que acabamos de describir pueden usarse con un recolector de insectos 36 que tiene superficies superiores 60 inclinadas hacia dentro (similar a las mostradas en la Figura 5). En dichas realizaciones, puede que no sea necesaria una tira de muerte 94 para evitar que los insectos objetivo 56 escapen del recolector de insectos 36.

Aún otras realizaciones ilustrativas del EIMD 12 pueden usar una pluralidad de sensores multimodales 32 para detectar la presencia y especies de insectos objetivo 56. En algunas realizaciones, como el que se muestra en la Figura 10, los sensores multimodales 32 pueden incluir uno o más sensores de ultrasonido 32A, uno o más sensores de bioimpedancia 32B, y uno o más sensores ópticos 32C (entre otros tipos de sensores 32). La información obtenida de la pluralidad de sensores multimodales 32 puede combinarse mediante el controlador electrónico 44 de la placa de circuito mixto 40 utilizando algoritmos de fusión de sensores para identificar con precisión las especies de insectos capturadas. Algunos algoritmos ilustrativos se describen en T. Ganchev y col., Supervisión Acústica de Insectos Cantantes, IEEE Conf. Internacional en Acústica, voz y Procesamiento de señales 721-724 (2007); M. Mayo y col., Identificación Automática de Especies de Polillas Vivas, Sistema Basado en el Conocimiento. 195-202 (2007); C.F. Graetzel y col., Un Sistema de Visión por Ordenador de 6000 Hz para el Análisis de Drosophila en Tiempo Real, R., Robótica & Biomecatrónica 278-283 (2006); A.T. Watson y col., Identificación Automatizada de Polillas Vivas (Macrolepidópteros) Utilizando el Sistema de Identificación Automatizado Digital (DAISY), Sistemática y Biodiversidad 287-300 (2003); A. Moore y col., Identificación Automatizada de Pulgones con Detección Óptica (Homoptera: Aphidae) Formas de Onda de Wingbeat, Anales de la Soc. Entomológica Amer. 1-8 (2002); E.D. Chesmore y col., Métodos Acústicos para la Detección e Identificación Automatizadas de Insectos, Simb. Internacional en Sensors Horticulture 223-231 (2001); y A. Moore y col., Identificación Automatizada de Insectos Voladores por Análisis de Frecuencias de Latidos, J. Econ. Entomología 1703-1706 (1986), cuyas divulgaciones completas se incorporan por referencia en el presente documento. A diferencia de los dispositivos existentes que dependen de dispositivos informáticos caros y de alto rendimiento, sin embargo, el EIMD 12 actualmente divulgado utiliza sensores de bajo coste, y baja potencia con algoritmos de detección y clasificación que se pueden ejecutar en una plataforma integrada para el procesamiento en tiempo real. Se contempla que el EIMD 12 de la Figura 10 puede usar muchos de los mismos componentes que el EIMD 12 de la Figura 5 (por ejemplo, componentes de la placa de circuito mixto 40 mostrada en la Figura 7). Adicionalmente, debido a la naturaleza modular de los componentes del EIMD 12, los sensores multimodales 32 usados para un EIMD 12 particular pueden optimizarse fácilmente en función de la especie de insecto objetivo 56.

Haciendo referencia ahora a la Figura 11, en algunas realizaciones, el sistema IPM 10 puede incluir opcionalmente una estación base incorporada 28 en lugar de la pasarela de red 20. Tal y como se ha mencionado anteriormente, en situaciones en las que el DSS 18 y la pasarela de red 20 no pueden ubicarse convenientemente en o cerca del campo 16, la estación base 28 puede desplegarse en el campo 16 y recopilar datos de la red de EIMD 14. Como la estación base 28 se ubicará generalmente al aire libre, los componentes de la estación base 28 están encerrados en una carcasa a prueba de intemperie 100 que tiene una interfaz de usuario a prueba de intemperie 102 y un panel de conexión a prueba de intemperie 104. La interfaz de usuario 102 puede comprender varios dispositivos de entrada y salida, incluyendo, pero sin limitación, botones y LED resistentes a la intemperie. El panel de conexión 104 puede comprender varios puertos de conector externos, como un conector de alimentación 106, un puerto Ethernet 108 y una polaridad inversa, conector subminiatura versión A (RP-SMA) 110, a modo de ejemplo. En la realización ilustrativa, el conector de alimentación 106 está acoplado a uno o más paneles solares 112 dispuestos en o cerca de la estación base 28. En otras realizaciones, el conector de alimentación 106 puede estar acoplado a una fuente de alimentación alternativa (por ejemplo, alimentación de corriente alterna), si dicha fuente de energía está disponible en el campo 16. El conector RP-SMA 110 está acoplado a una antena de comunicaciones 114, que se representa ilustrativamente como una antena de esquina de 12 dBi.

Tal y como se muestra en la Figura 11, la estación base 28 comprende un ordenador de factor de forma pequeño 116 (comúnmente conocido como "ordenador de conexión") que sirve como una unidad central de procesamiento de la estación base 28. En una realización ilustrativa, el ordenador 116 enchufable puede ser un dispositivo Sheeva-Plug, disponible comercialmente por Globalscale Technologies, Inc. de Anaheim, California. Un cargador de batería 118 de la estación base 28 recibe energía de uno o más paneles solares 112 a través del conector de alimentación 106 y usa esta energía para cargar una o más baterías recargables 120, 122. Tal y como se muestra en la Figura 11, la estación base 28 incluye al menos una batería primaria 120 y puede incluir opcionalmente una o más baterías secundarias 122.

En la realización ilustrativa, las baterías primaria y secundaria 120, 122 comprenden baterías recargables de LiFePO_4 . Un regulador de tensión 124 extrae energía de una o más baterías recargables 120, 122 y suministra energía de CC al ordenador enchufable 116. Usando los componentes anteriores, la estación base 28 puede operar en el campo 16 durante largos períodos de tiempo sin la necesidad de conectarse a una fuente de energía externa.

La estación base 28 comprende además al menos una radio inalámbrica 126 para comunicarse con la red de EIMD 14. En la realización ilustrativa de la Figura 11, la radio inalámbrica 126 está configurada de acuerdo con el estándar IEEE 802.15.4 y está acoplada a la antena de comunicaciones 114 a través del conector RP-SMA 110. Se apreciará que la radio inalámbrica 126 pueda utilizar otros protocolos de comunicaciones en otras realizaciones. Usando la radio inalámbrica 126, el ordenador de conexión 116 puede comunicarse con cualquier EIMD 12 dentro del alcance de comunicación de la antena 114. Por tanto, la estación base 28 puede recopilar datos de la red de EIMD 14 para almacenamiento o transmisión al DSS 18. En algunas realizaciones, la estación base puede contener componentes adicionales, tal como un dispositivo de memoria 128 y/o una segunda radio inalámbrica 130. En dichas realizaciones, un concentrador de bus serie universal (USB) 132 puede proporcionar conexiones USB adicionales entre el ordenador enchufable 116 y estos componentes adicionales. El dispositivo de memoria 128 puede usarse para proporcionar espacio de memoria adicional para el ordenador de conexión 116 y puede incorporarse como cualquier tipo de medio legible por máquina (por ejemplo, memoria flash). La segunda radio inalámbrica 130 puede ser utilizada por el ordenador de conexión 116 para comunicarse a través de la red 26. Por ejemplo, utilizando la segunda radio inalámbrica 130, la estación base 28 puede configurarse para comunicar datos recopilados de la red de EIMD 14 al DSS 18 y/o a los dispositivos informáticos 22, 24. Aunque la segunda radio inalámbrica 130 en la Figura 11 utiliza ilustrativamente el estándar de comunicación IEEE 802.11, la segunda radio inalámbrica 130 podría comunicarse alternativamente con cualquier parte de la red 26 usando cualquier número de estándares de comunicación de datos empleados en telefonía móvil. De forma adicional o como alternativa, la estación base 28 puede almacenar datos para descarga local en un dispositivo informático 22, 24 conectado al puerto ethernet 108 de la estación base 28 o en un dispositivo informático 22, 24 directamente dentro del alcance de comunicación de una de las radios inalámbricas 126, 130 de la estación base 28.

Haciendo referencia ahora a la Figura 12, cada EIMD 12 se proporciona solo con un alcance de comunicación limitado, puesto que la cantidad de energía requerida para la comunicación inalámbrica aumenta significativamente con la distancia. En lugar de que cada EIMD 12 se comunique directamente con la pasarela de red 20, la información adquirida por cada EIMD 12 se transmite indirectamente a través de rutas de múltiples saltos, como se muestra por las líneas punteadas en la Figura 12. Dicho de otra forma, cada EIMD 12 envía la información que adquiere a un EIMD 12 vecino que está más cerca de la pasarela de red 20, que a su vez envía esa información a otro EIMD 12 vecino, etc., hasta que la información llegue a la pasarela de red 20. En la Figura 12, los cuadrados cerca de los EIMD 12 representan los paquetes de datos que contienen mediciones de sensores adquiridos por EIMD individuales 12 que deben transmitirse a la pasarela de red 20. Como se ilustra en la Figura 12, sin ninguna agregación y compresión de datos locales, la cantidad total de datos transmitidos en la red se vuelve significativamente mayor que la cantidad de datos transmitidos por el enfoque de comunicación directa. Específicamente, los EIMD 12 más cerca de la pasarela de red 20 tendrán cargas de comunicación mucho mayores que las que están lejos de la estación de destino, puesto que el tamaño de los paquetes de datos crece a medida que se transmiten a través de la red de EIMD 14. Este consumo de energía desequilibrado en la red solo se vuelve más problemático a medida que se agregan más EIMD 12 a la red de EIMD 14.

La red 14 de EIMD descrita actualmente emplea algoritmos de agregación y compresión de datos dentro de la red para codificar datos correlacionados temporal y espacialmente por EIMD individuales 12, reduciendo significativamente la cantidad de transmisiones de datos en la red y, en consecuencia, aumentando el número máximo de EIMD 12 posibles y el área de cobertura máxima de la red de EIMD 14. Para un dispositivo integrado con recursos limitados, como un EIMD 12, procesar datos localmente es mucho más eficazmente en términos de energía que transmitir datos de forma inalámbrica. El protocolo de agregación de datos distribuidos utilizado por la red de EIMD 14 aprovecha dos características únicas de la red: (1) comunicación entre EIMD cercanos 12 (es decir, vecinos de un salto) es económico en relación con la comunicación entre EIMD distantes y entre la mayoría de EIMD 12 y la pasarela de red 20 (es decir, vecinos de múltiples saltos) y (2) los paquetes de datos enrutados desde dos EIMD 12 cualquiera a la pasarela de red 20 tienden a viajar a través de al menos un EIMD 12 de enrutamiento común antes de llegar al destino.

Un primer aspecto del protocolo de agregación de datos distribuidos utilizado por la red de EIMD 14 es la formación de grupos de EIMD 12 que agregan datos localmente antes de transmitir los datos a la pasarela de red 20. Este enfoque de agregación de datos basado en clúster se ilustra en la Figura 13A. A medida que los EIMD 12 adquieren información sobre la población de insectos (y/o el medio ambiente), en lugar de transmitir cada medición individualmente a la pasarela de red 20 (que puede estar a varios saltos del EIMD de transmisión 12), cada EIMD 12 transmite su propia medición a un EIMD 12 cercano (es decir, un cabezal de clúster) que agrega las mediciones que recibe en una forma más compacta antes de transmitir los datos a la pasarela de red 20. Los protocolos ilustrativos de agregación de datos basados en clústeres se describen en H. Medeiros y col., Seguimiento de Objetos Basado en Clúster por Redes de Cámaras Inalámbricas, Redes Multicámara: Conceptos y Aplicaciones (2009); H. Medeiros y col., Seguimiento de Objetos Distribuidos Utilizando un Filtro Kalman Basado en Clúster en la Red de Cámaras Inalámbricas, IEEE J. Temas seleccionados con el Procesamiento de señales (2008); H. Medeiros y col., Un Protocolo

Ligero Controlado por Eventos para la Agrupación de Sensores en Redes de Cámaras Inalámbricas, IEEE/ACM Conf. Internacional en Cámaras Inteligentes Distribuidas 203-10 (2007); D. Xia y col., Agrupación e Nodos Casi Óptima en Redes Inalámbricas de Sensores para Supervisión Ambiental, IEEE Aplicaciones & Redes Avanzadas (2007); I. Gupta y col., Elección de Clúster Principal Usando Fuzzy Logic para Redes Inalámbricas De Sensores, Redes & Servs de Comunicaciones. Res. Conf. 255-60 (2005); V. Mhatre y col., Una Red de Sensores Heterogéneos de Coste Mínimo Con Una Restricción de Por Vida. IEEE Transacciones en Computación Móvil 4-15 (2005); O. Fahmy y col., HEED: Un Enfoque híbrido, Energéticamente Eficaz, de Agrupamiento Distribuido para Redes de Sensores Ad Hoc, IEEE Transacciones en Computación Móvil 366-79 (2004); V. Mhatre y col., Diseño de Redes de Sensores de Vigilancia con Restricción de por Vida, Eur. Taller sobre Redes Inalámbricas de Sensores (2004); P.V. Rickenbach y col., Recopilación de Datos Correlacionados en Redes de Sensores, Taller sobre Algoritmos Discretos y Métodos para la Computación & comunicaciones MÓVILES 60-66 (2004); S. Bandyopadhyay y col., Una Agrupación Jerárquica Energéticamente Eficaz, IEEE INFOCOM 1713-23 (2003); K. Kalpaski y col., Algoritmos Eficaces para la Máxima Recopilación y Agregación de Datos de por Vida en Redes Inalámbricas de Sensores, Redes de Informáticas 697-716 (2003); W.B. Heinzelman y col., Una Arquitectura de Protocolo Específica de la Aplicación para Redes Inalámbricas de Microsensores, 1 660-670 (2002); y W.B. Heinzelman y col., Protocolo de Comunicación de Eficiencia Energética para Redes Inalámbricas de Microsensores, Ann. H.a. Conf. Internacional en Sys. Sienc. (2000), cuyas divulgaciones completas se incorporan por referencia en el presente documento.

Las mediciones obtenidas por la red de EIMD 14 se caracterizan por la localidad de los datos. Dicho de otra forma, los beneficios de compartir información entre EIMD 12 cercanos son mucho mayores que los de compartir información con EIMD 12 distantes. Basándose en esta característica, compartir información solo entre vecinos de un salto con el propósito de compresión de datos resulta en un esquema de compresión de datos altamente efectivo. Puesto que los EIMD de "clúster principal" 12 son responsables de la agregación y compresión de datos, pueden agotar sus baterías más rápido que los otros EIMD 12 (es decir, los "miembros del clúster"). Para equilibrar la tasa general de consumo de energía en la red de EIMD 14, La función de clúster principal puede asignarse dinámicamente a diferentes EIMD 12 a lo largo de la vida útil de la red de EIMD 14.

Un segundo aspecto del protocolo de agregación de datos distribuidos utilizado por la red de EIMD 14 es la agregación de múltiples paquetes de datos que se encuentran en un EIMD 12 común en un nuevo paquete de datos más compacto antes de transmitir los datos a la pasarela de red 20. Este enfoque de agregación de datos oportunista se ilustra en la Figura 13B. Aunque la correlación entre los datos recibidos de EIMD 12 distantes tiende a ser menor que la de EIMD 12 cercanos, la agregación de datos oportunista aún puede proporcionar importantes ahorros de energía, como se describe en C. Intanagonwiwat y col., Impacto de la Densidad de Red en la Agregación de Datos en Redes Inalámbricas de Sensores, Sistema de Computación Distribuido. 457-59 (2002) y L. Krishnamachari y col., El Impacto de la Agregación de Datos en Redes Inalámbricas de Sensores, Talleres en Sistema de Computación Distribuido 575-78 (2002), cuyas divulgaciones completas se incorporan por referencia en el presente documento. Este enfoque también reduce el desequilibrio en el agotamiento de energía en la red de EIMD 14 al reducir el tamaño efectivo de los mensajes a medida que viajan hacia la pasarela de la red 20. Si bien la agregación de datos oportunista puede aumentar la latencia de transmisión de mensajes, baja latencia no es tan crítica en aplicaciones de supervisión agrícola, como el sistema IPM 10.

Una vez más, el protocolo de agregación de datos distribuidos descrito anteriormente se basa en dos características fundamentales de la información recopilada por los EIMD 12 en el campo 16: correlación temporal y correlación espacial. En cuanto a la correlación temporal, la mayoría de los parámetros físicos observados por cada EIMD 12 en la red de EIMD 14 se rigen por variaciones naturales del entorno y, por lo tanto, la variabilidad de estos parámetros es relativamente predecible. Estas variaciones se pueden modelar usando simples (es decir, continuas y bien comportadas) funciones matemáticas. Dicho de otra forma, un conjunto de mediciones de muestras grandes puede transformarse en una representación significativamente compacta utilizando técnicas estándar de ajuste de datos. Por ejemplo, unos pocos miles de mediciones de temperatura adquiridas por un EIMD 12 durante varias horas podrían representarse mediante unas pocas decenas de parámetros utilizando un mecanismo de interpolación lineal por partes. En otras realizaciones, los EIMD 12 pueden emplear técnicas de compresión basadas en entropía, como los descritos en F. Marcelloni y col., "Un algoritmo de Compresión Eficaz sin Pérdidas para Pequeños Nodos de Supervisión de Redes Inalámbricas de Sensores" 52 The Computer Journal 969-87 (2009), cuya divulgación completa se incorpora como referencia en el presente documento.

De manera similar, las mediciones adquiridas por todos los EIMD 12 en la red de EIMD 14 en un instante de tiempo particular pueden considerarse como una función bidimensional en la que las coordenadas de los EIMD 12 (es decir, sus ubicaciones físicas) son las variables libres. De esta forma, la información adquirida por los EIMD 12 puede comprimirse aún más mediante el empleo de mecanismos de ajuste de datos multidimensionales, como se describe en S. Pattern y col., El impacto de la correlación espacial en el enrutamiento con compresión en redes inalámbricas de sensores, transacciones de ACM en redes de sensores 1-33 (2008), cuya divulgación completa se incorpora como referencia en el presente documento. Adicionalmente, La red de EIMD 14 puede emplear métodos utilizados en la compresión de imagen y video con pérdida, como la transformada discreta del coseno (DCT) y el 3D-DCT para comprimir aún más los datos adquiridos por los EIMD 12 cuando se puede tolerar alguna pérdida de precisión a cambio de vida extendida de la red, como se describe en Y.Q. Shi, Compresión de Imagen y Video para Ingeniería Multimedia: Fundamentos, Algoritmos y Estándares (2008), cuya divulgación completa se incorpora como referencia en el presente

documento. Se apreciará que, aunque el protocolo de agregación de datos distribuidos se ha descrito con respecto a realizaciones en las que la red de EIMD 14 transmite datos recopilados a una pasarela de red 20, la descripción anterior es igualmente aplicable a las realizaciones en las que la red de EIMD 14 transmite datos recopilados a una estación base incorporada 28 del sistema IPM 10.

Como se ha descrito anteriormente, cada EIMD 12 en la realización ilustrativa puede identificar la especie de un insecto 56 presente en la trampa, cuente el número de diferentes insectos objetivo 56 detectados, y asocie las detecciones con una hora y ubicación particular. Los EIMD 12 transmiten estos datos a la pasarela de red 20 (o la estación base 28), que a su vez transmite estos datos al DSS 18. Usando la información recopilada por la red de EIMD 14, El DSS 18 puede construir un mapa 140 de una población de insectos en el área supervisada en cualquier momento dado. El mapa de población de insectos 140 puede construirse periódicamente o bajo demanda en respuesta a una consulta de un dispositivo de usuario. Dichos mapas se pueden mostrar como parte de una GUI en uno o más dispositivos informáticos habilitados para el navegador, como el ordenador personal 22 o el teléfono móvil 24. En algunas realizaciones, el mapa de población de insectos 140 puede incluir un gráfico codificado por colores (similar a un mapa o imagen infrarroja) superpuesto en una vista aérea del área supervisada. La Figura 14A ilustra una realización de una GUI que incluye este tipo de mapa de población de insectos 140. En otras realizaciones, el mapa de población de insectos 140 puede mostrar adicionalmente las ubicaciones de los EIMD 12 como iconos 142, como se ilustra en la Figura 14B. En la realización de la Figura 14B, un usuario puede ver un cuadro emergente 144 con información detallada haciendo clic o pasando el ratón sobre uno de los iconos 142 que representan un EIMD 12 particular. Esta información detallada puede incluir, pero sin limitación, la identificación de la trampa, la ubicación (latitud y longitud), la hora actual en el reloj local, la carga restante de la batería y la temperatura.

En otras realizaciones adicionales, la GUI puede mostrar iconos 142 con el número individual de detecciones en cada EIMD 12. La Figura 15 ilustra una realización de una GUI que incluye este tipo de mapa de población de insectos 140. Además, la GUI puede mostrar un gráfico 146 con la variación en el tiempo de los insectos objetivo detectados 56, como se muestra en la Figura 12. El gráfico 146 puede indicar la variación en cada EIMD 12 individual, así como la variación promedio en toda la red de EIMD 14 o algún subconjunto seleccionado por el usuario de la red de EIMD 14. El gráfico 146 puede mostrar información correspondiente a uno o más EIMDS 12 seleccionados por el usuario superpuestos a la información correspondiente a toda la red de EIMD 14. La GUI puede permitir que un usuario ajuste el nivel de zoom del mapa 140 y la escala de tiempo del gráfico 146, entre otras características configurables. Se apreciará que cualquiera de las GUI descritas anteriormente también podría usarse para mostrar otras mediciones obtenidas por los EIMD 12, tales como la temperatura local o la humedad relativa (además de las detecciones de insectos objetivo 56). La GUI también se puede configurar para permitir al usuario enviar parámetros de configuración a uno o más EIMD 12, incluyendo, pero sin limitación, horas de funcionamiento diarias, frecuencia de informes, insecto objetivo a ser supervisado, etc. También se contempla que un usuario pueda utilizar las GUI anteriores para ingresar manualmente información relacionada con cualquier EIMD 12 que no esté en comunicación inalámbrica con el DSS 18.

Los expertos en la materia apreciarán que el sistema 10 de IPM actualmente descrito reducirá significativamente el costo de supervisarlas poblaciones de insectos al automatizar las operaciones más difíciles y laboriosas asociadas con esta tarea. Adicionalmente, El sistema 10 de IPM actualmente divulgado proporciona también información de población de insectos en tiempo real, de alta resolución sin precedentes para los productores. Además del campo de supervisión de la población para el apoyo a las decisiones de IPM, la tecnología divulgada tiene una serie de otras aplicaciones potenciales, incluyendo, pero sin limitación, detección temprana de varias especies de insectos, mapeo de distribución de plagas, mapeo de la frecuencia de resistencia a los insecticidas y supervisión de insectos beneficiosos y depredadores o enemigos naturales. Estas y otras aplicaciones potenciales se describen en F. Mathieu y col., Progresión en la Infestación en el campo Está Relacionada con la Captura del Barrenador del Café, J. Entomología Aplicada 535-40 (1999); Y. Gazit y col., Atrapar Hembras de la Mosca Mediterránea de la Fruta (Dípteros: Tephritidae) en Israel: Comparación de Señuelos y Tipo de Trampa, J. Econ. Entomología 1355-59 (1998); B. Drukker y col., ¿Los Depredadores Antocóridos Responden a las Sinomonas de los Perales Infestados de Psylla en Condiciones De Campo? Entomología experimental et applicata 193-203 (1995); y H. Riedl y col., Supervisión de la Susceptibilidad al Azinfosmetilo en las Poblaciones de Campo de las Polillas de las Manzanas (Lepidópteros: Tortricidae) con Trampas de Feromonas, J. Econ. Entomología 693-99 (1985), cuyas divulgaciones completas se incorporan por referencia en el presente documento.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo electrónico de supervisión de insectos (EIMD) (12) que comprende:

un señuelo (34) para atraer al menos una especie de insecto objetivo;
 uno o más sensores (32) que generan una o más señales de salida en respuesta a un insecto (56) que se acerca al señuelo (34); y
 un controlador electrónico (44) configurado para determinar si el insecto (56) que se acerca al señuelo (34) pertenece a la al menos una especie de insecto objetivo usando una o más señales de salida,
caracterizado por que uno o más sensores son sensores de bioimpedancia que comprenden una red de descarga eléctrica de alta tensión (32).

2. El EIMD (12) de la reivindicación 1, en el que la red de descarga eléctrica de alta tensión (32) comprende una pluralidad de elementos metálicos que definen un cilindro con una superficie inferior abierta.

3. El EIMD (12) de la reivindicación 1, en el que la red de descarga eléctrica de alta tensión (32) está configurada para producir una tensión que solo aturde temporalmente a un insecto (56) que se acerca al señuelo (34).

4. El EIMD (12) de la reivindicación 1, que comprende además uno o más sensores adicionales (32) seleccionados del grupo que consiste en sensores ultrasónicos (32A) y sensores ópticos (32C), generando el uno o más sensores adicionales una o más señales de salida en respuesta a un insecto (56) que se acerca al señuelo (34).

5. El EIMD (12) de la reivindicación 1, en el que el controlador electrónico (44) está configurado para determinar si el insecto (56) que se acerca al señuelo (34) pertenece a la al menos una especie de insecto objetivo aplicando un algoritmo de fusión del sensor a la una o más señales de salida generadas por el uno o más sensores de bioimpedancia (32) y el uno o más sensores adicionales (32).

6. El EIMD (12) de la reivindicación 1, que comprende además un módulo de comunicación (46) para comunicarse de forma inalámbrica con EIMD vecinos (12).

7. El EIMD (12) de la reivindicación 1, que comprende además una batería (70) que suministra energía al controlador electrónico (44) y al uno o más sensores (32) a través de un controlador de potencia (52), en donde el controlador de potencia (52) está configurado para implementar un esquema de ciclo de trabajo activo para conservar la potencia suministrada por la batería (70).

8. El EIMD (12) de la reivindicación 1, que comprende además una carcasa (30) que contiene el controlador electrónico (44), en donde la carcasa (30) está configurada para ser intercambiable con uno de un recolector de insectos en forma de delta (36) y un recolector de insectos en forma de cubo (36).

9. Un sistema integrado de manejo de plagas (IPM) (10) que comprende:

una pluralidad de dispositivos electrónicos de supervisión de insectos (EIMD) (12) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior y una radio inalámbrica (46) configurada para comunicar el número de insectos objetivo (56) detectados durante el período de tiempo en una red inalámbrica compartida por la pluralidad de EIMD (12);

caracterizado por que la radio inalámbrica (46) de cada uno de la pluralidad de EIMD (12) está configurada para comunicarse directamente a través de la red inalámbrica con solo un primer subconjunto de la pluralidad de EIMD (12) y para comunicarse indirectamente a través de la red inalámbrica con un segundo subconjunto de la pluralidad de EIMD (12) que utilizan comunicaciones de salto múltiple.

10. El sistema IPM (10) de la reivindicación 9, en el que:

cada uno de la pluralidad de EIMD (12) comprende además un módulo de sistema de posicionamiento global (48) configurado para determinar una ubicación del EIMD (12); y
 la radio inalámbrica (46) de cada uno de la pluralidad de EIMD (12) está configurada además para comunicar la ubicación del EIMD (12) a través de la red inalámbrica.

11. El sistema IPM (10) de la reivindicación 9, en el que el controlador electrónico (44) de cada uno de la pluralidad de EIMD (12) está configurado para aplicar al menos uno de un protocolo de agregación de datos basado en clúster, un protocolo de agregación de datos oportunista y un protocolo de compresión de datos multidimensional a los datos comunicados a través de la red inalámbrica.

12. El sistema IPM (10) de la reivindicación 9, que comprende además un sistema de soporte de decisiones (DSS) (18) configurado para recibir el número de insectos objetivo (56) detectados por cada uno de la pluralidad de EIMD (12) y para generar información de manejo de plagas específica del sitio en respuesta al número de insectos objetivo (56) detectados por cada uno de la pluralidad de EIMD (12), en donde la información de manejo de plagas específica del sitio comprende una interfaz gráfica de usuario que incluye un mapa de población de insectos (140).

13. El sistema IPM (10) de la reivindicación 12, que comprende además una pasarela de red (20) en comunicación directa con el DSS (18), la pasarela de red (20) configurada para comunicarse con uno o más de la pluralidad de EIMD (12) a través de la red inalámbrica utilizando comunicaciones de salto múltiple.
- 5
14. El sistema IPM (10) de la reivindicación 12, que comprende además una estación base integrada (28) configurada para comunicarse con uno o más de la pluralidad de EIMD (12) a través de la red inalámbrica utilizando comunicaciones de salto múltiple y para comunicarse con el DSS (18) a través de una red pública (26).
- 10
15. El sistema IPM (10) de la reivindicación 12, en el que la interfaz gráfica de usuario incluye además un gráfico (146) que ilustra el número de insectos objetivo (56) detectados por uno o más de la pluralidad de EIMD (12) durante el período de tiempo.

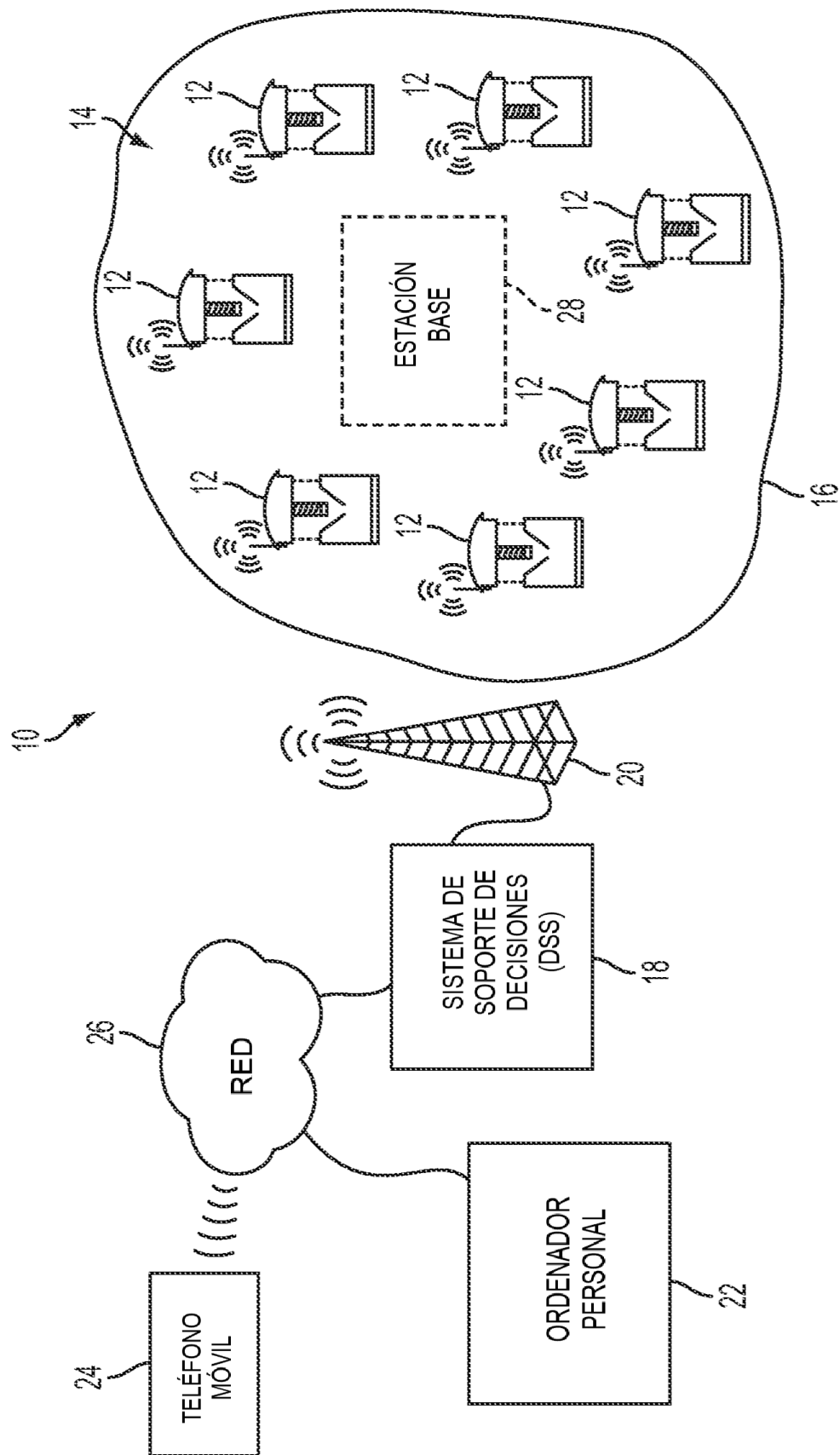


FIG. 1

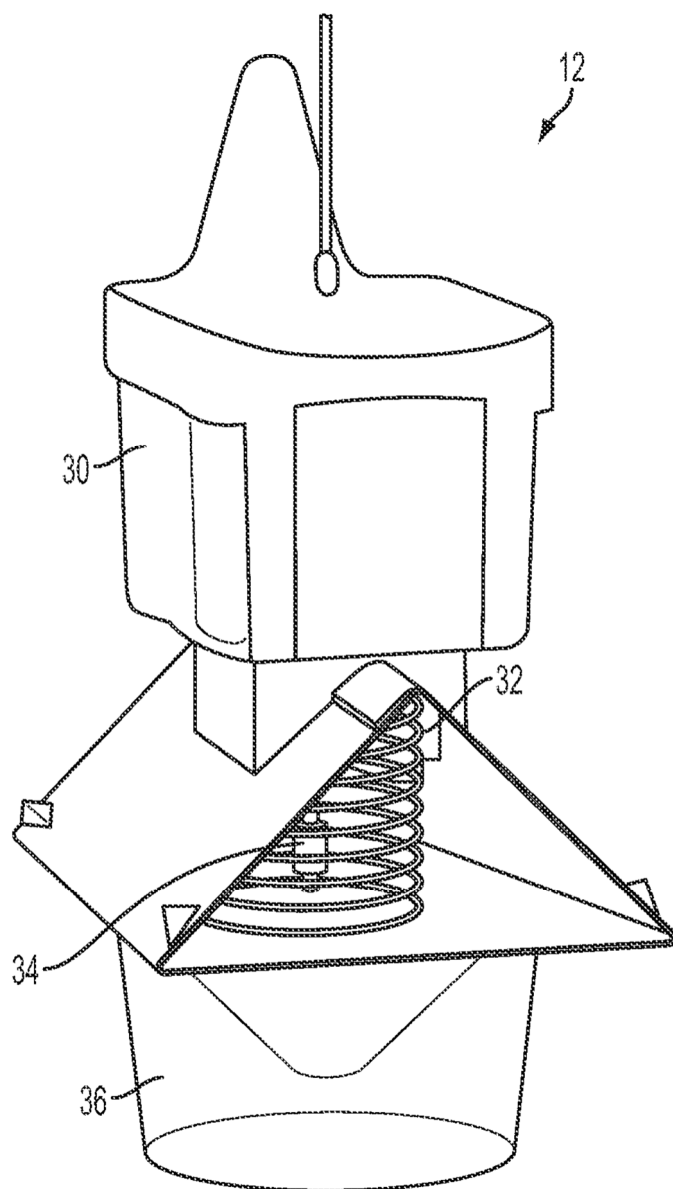
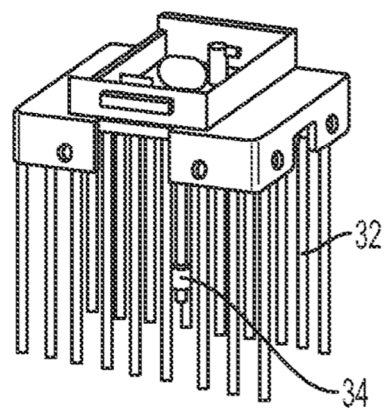
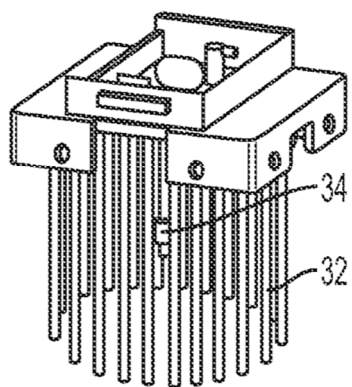
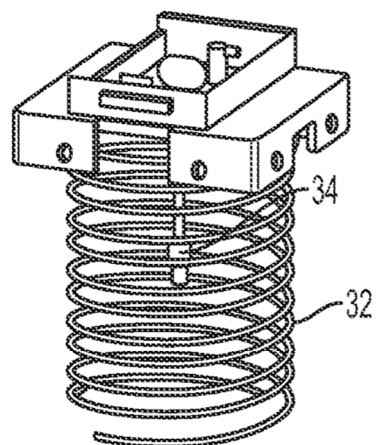
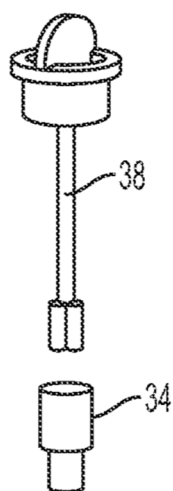


FIG. 2



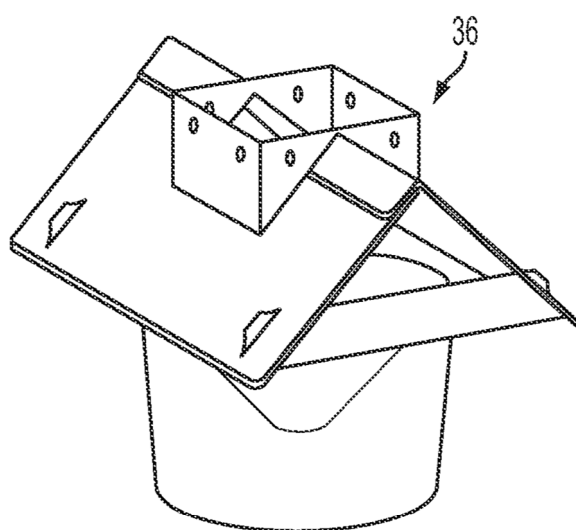


FIG. 3E

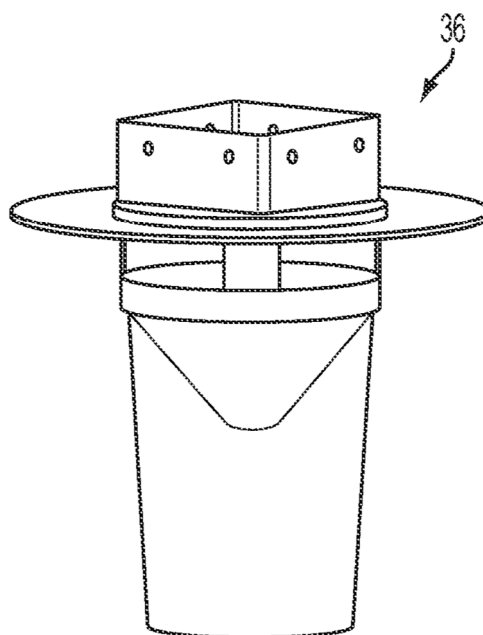


FIG. 3F

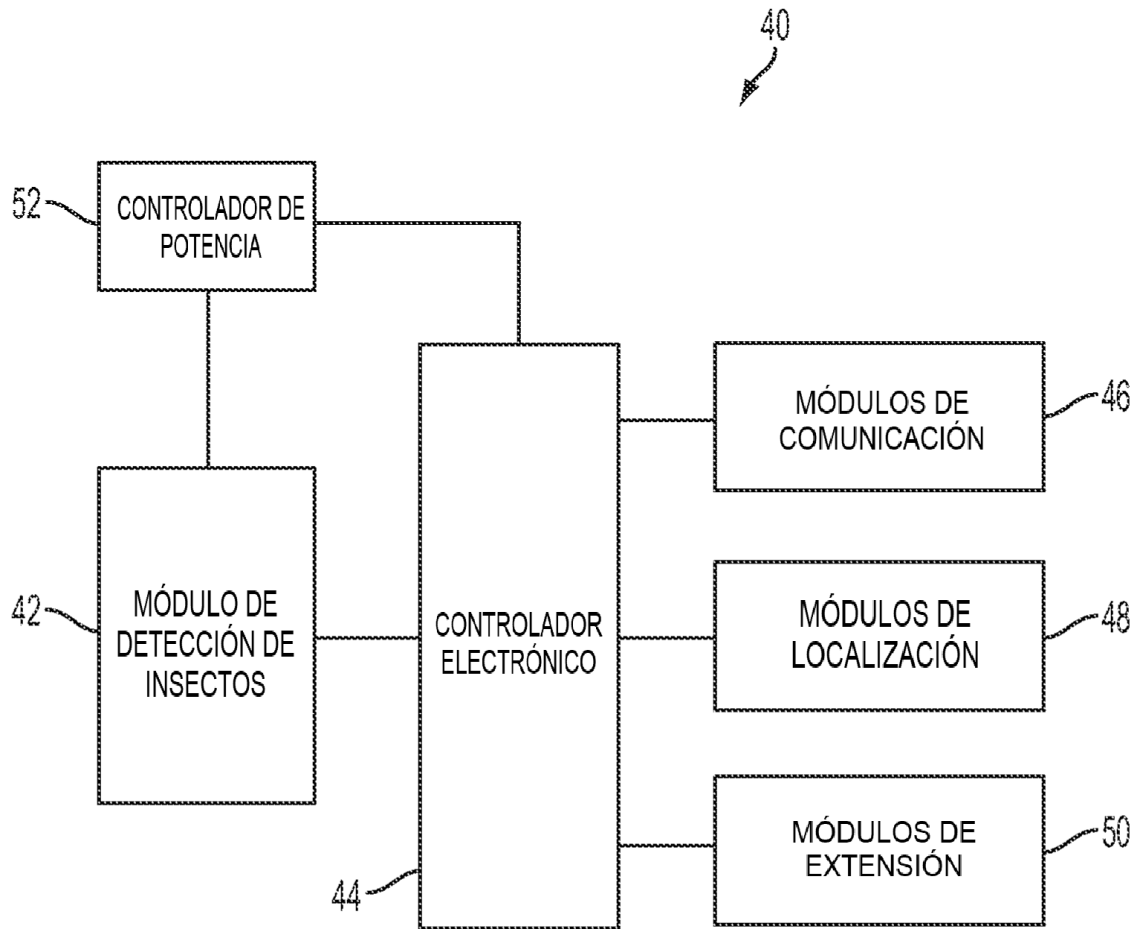


FIG. 4

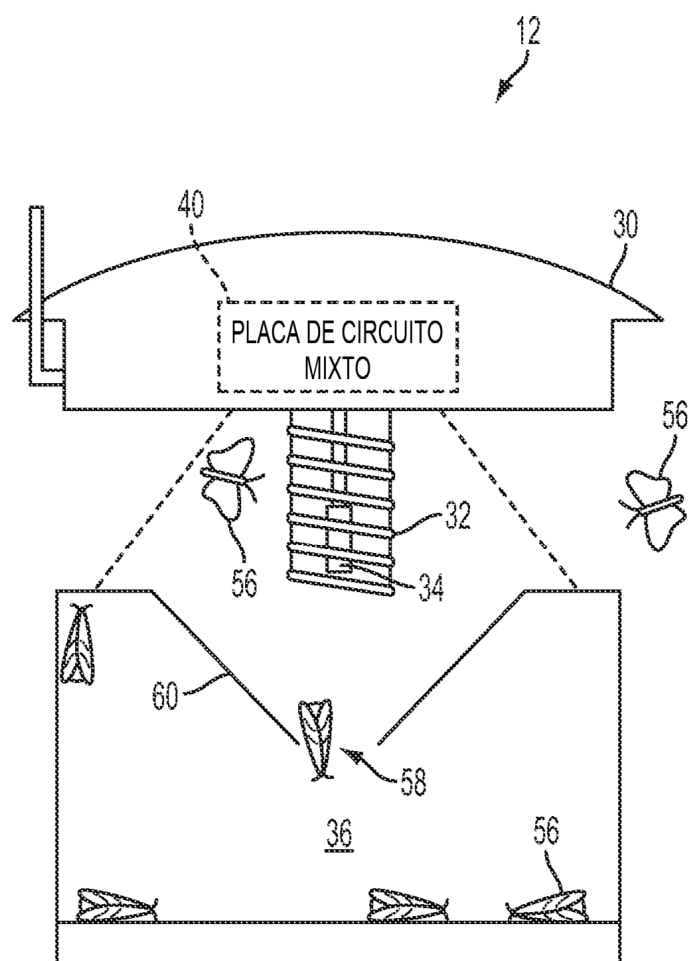


FIG. 5

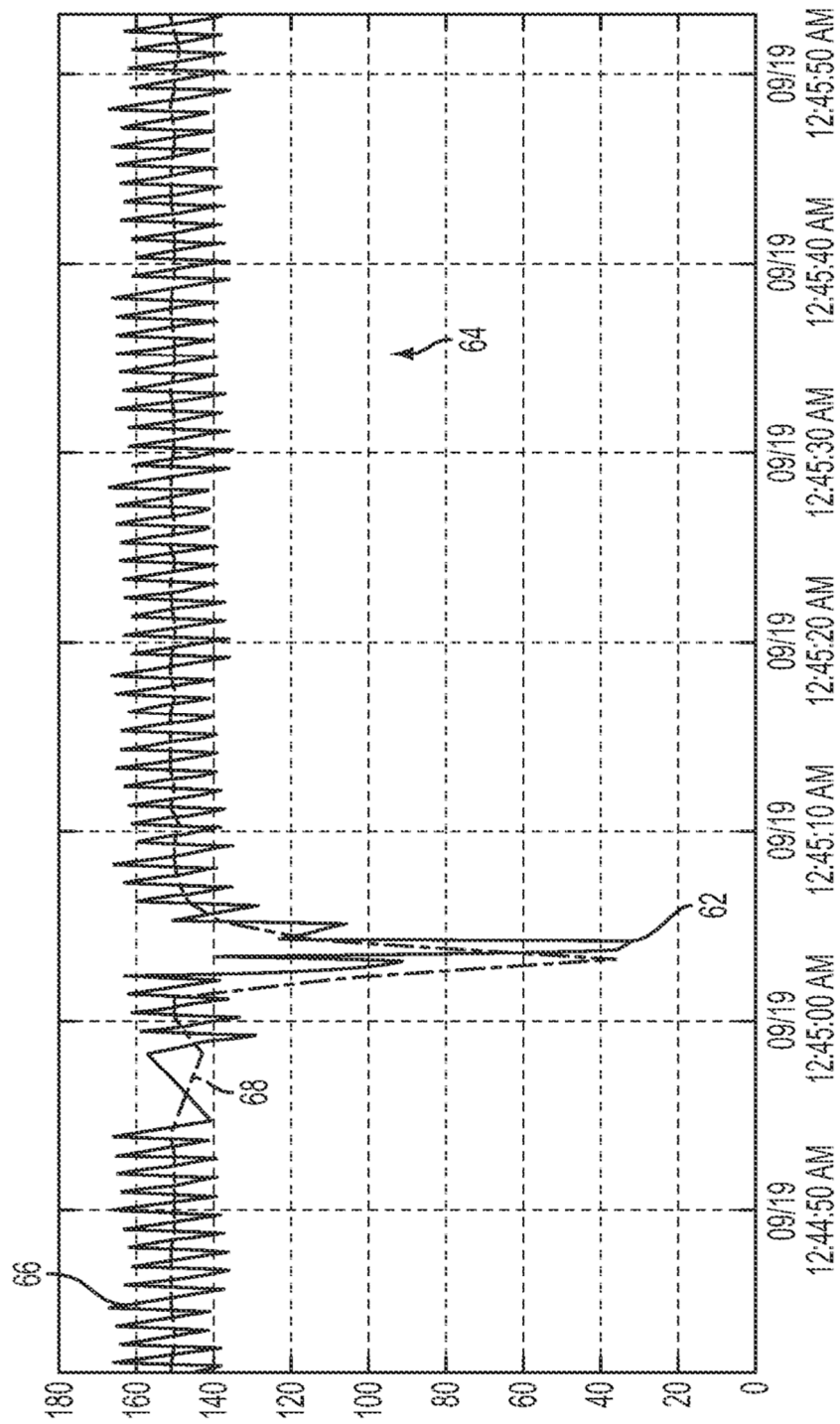


FIG. 6

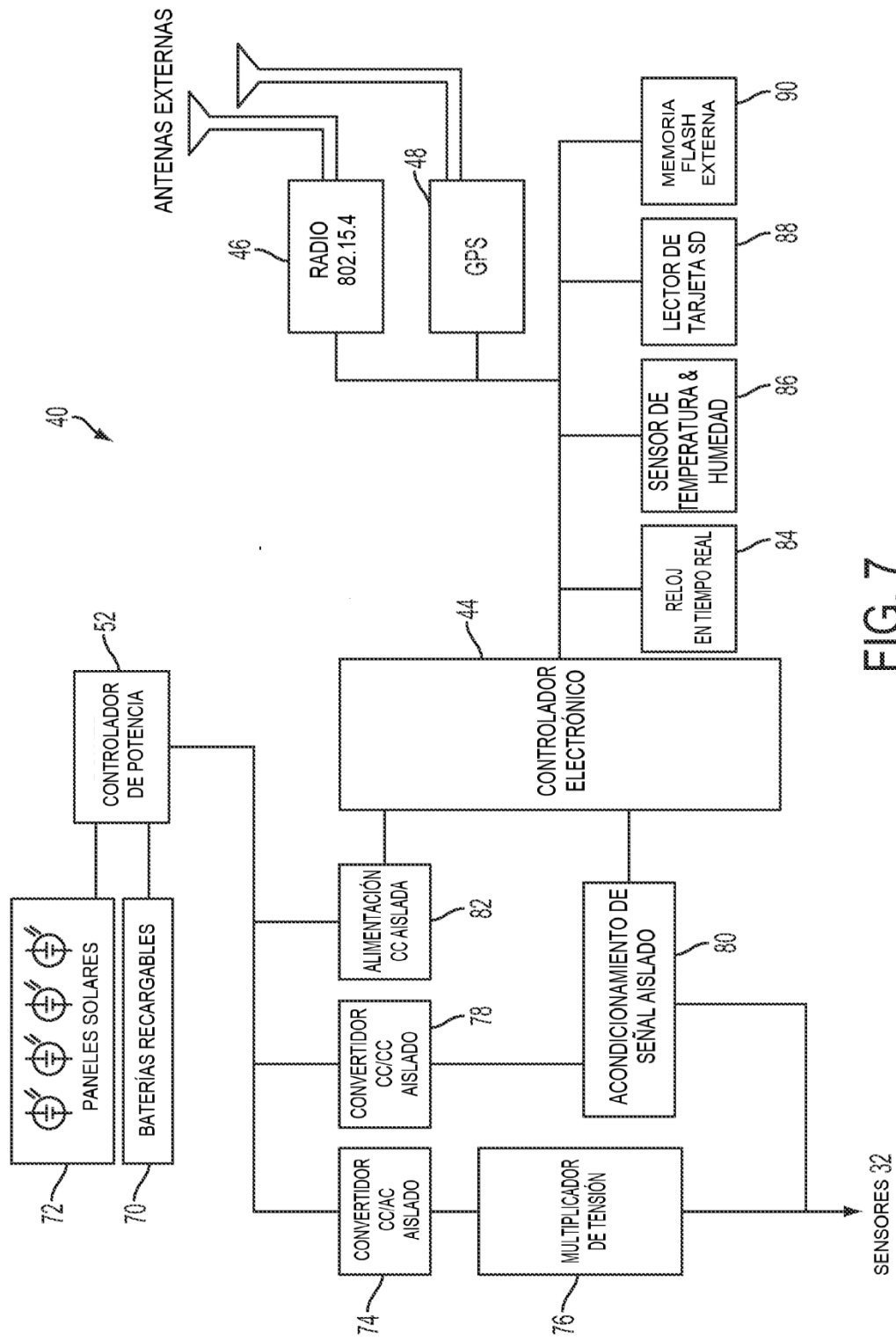


FIG. 7

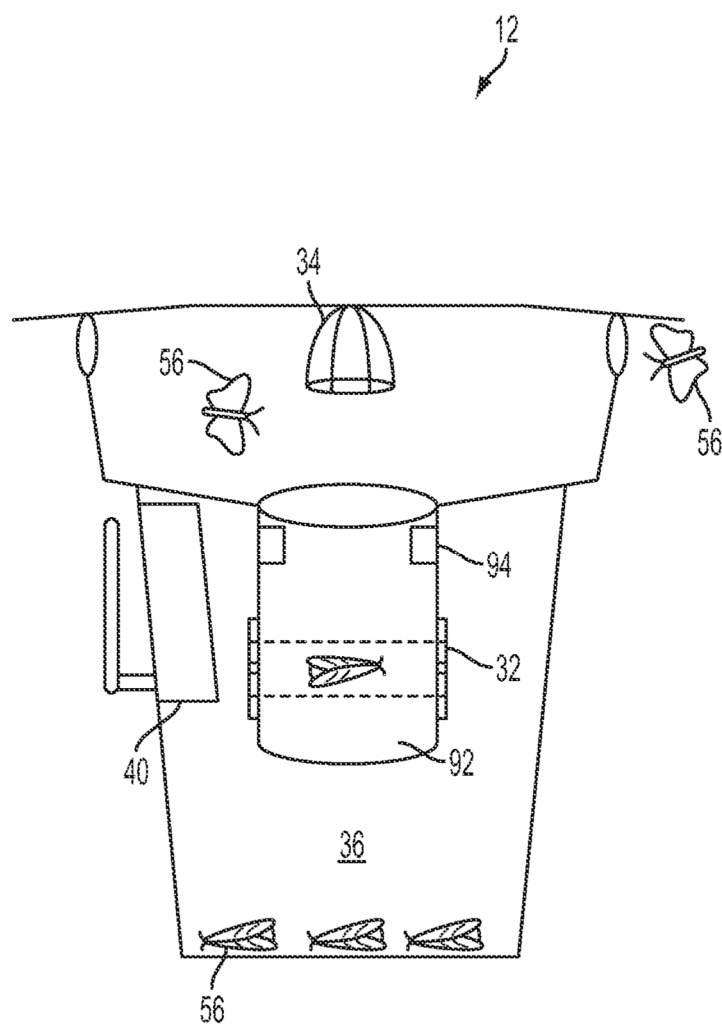


FIG. 8

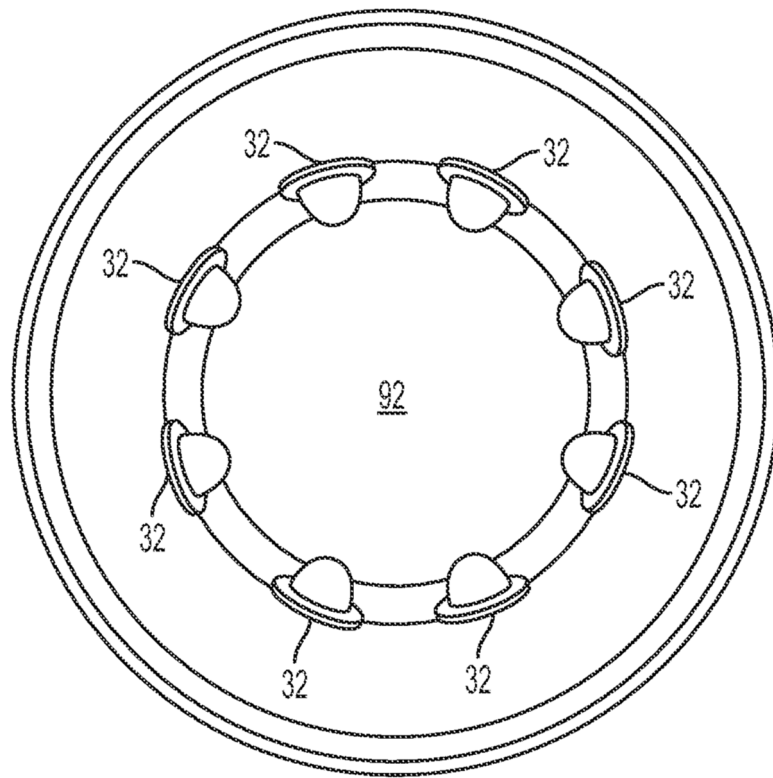


FIG. 9

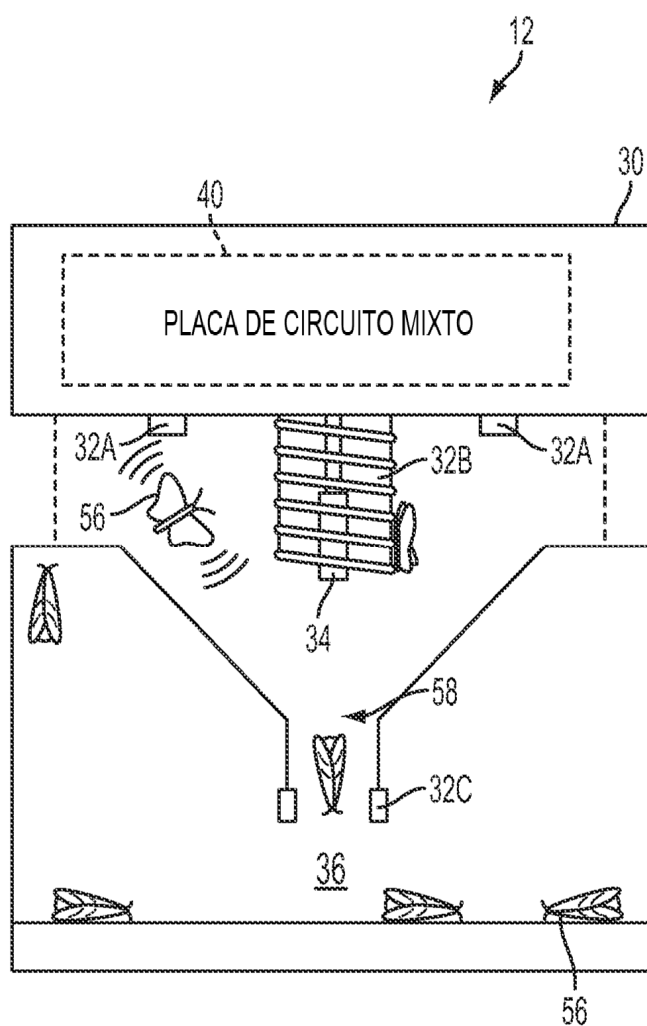


FIG. 10

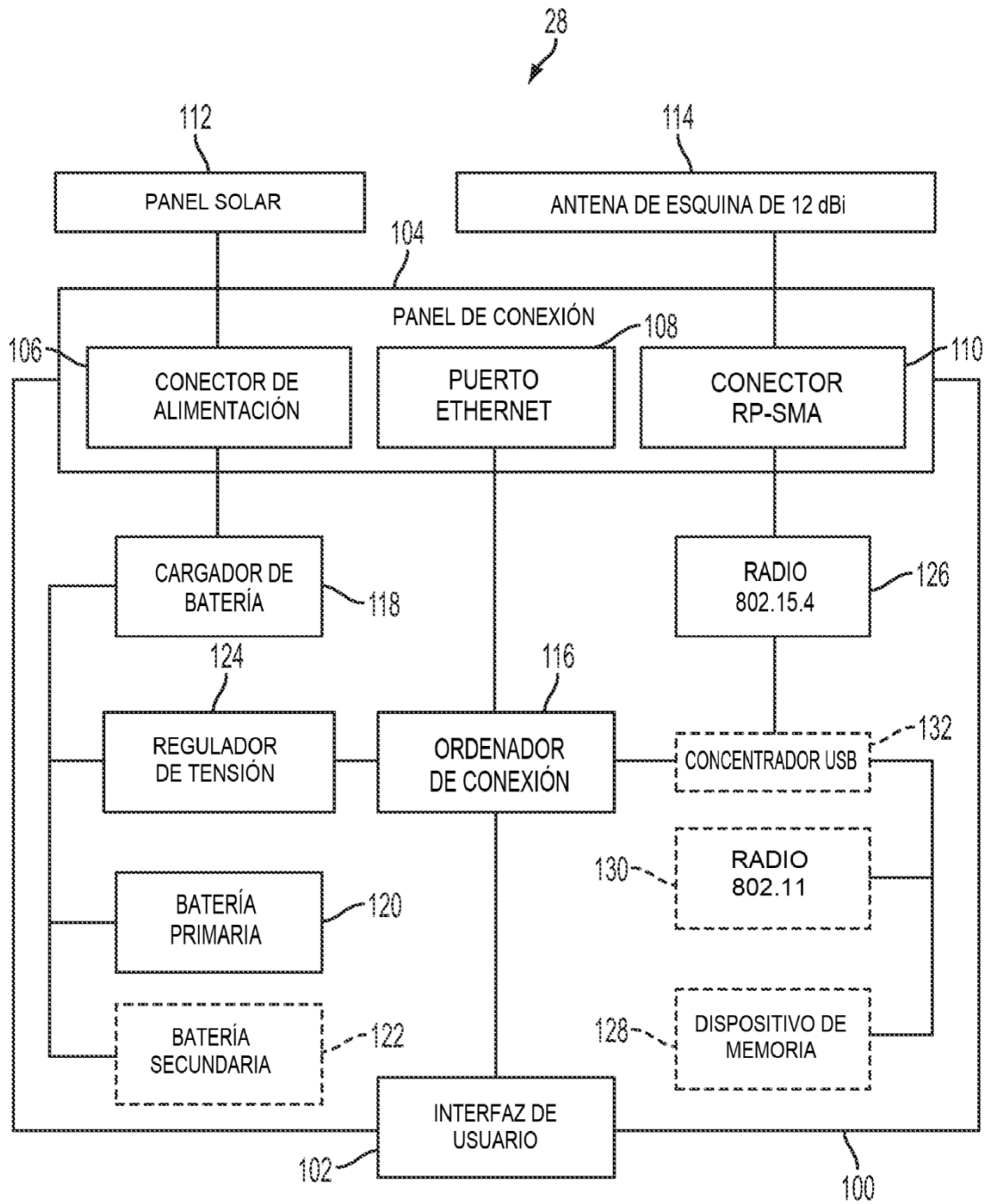


FIG. 11

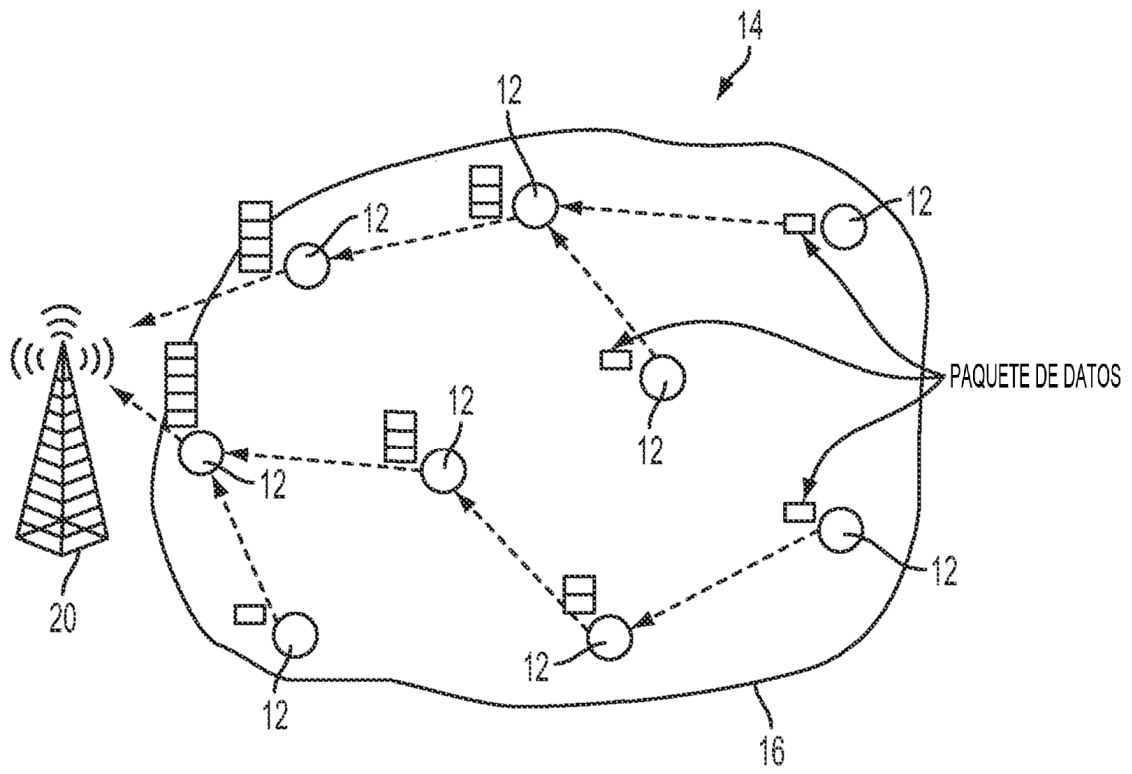


FIG. 12

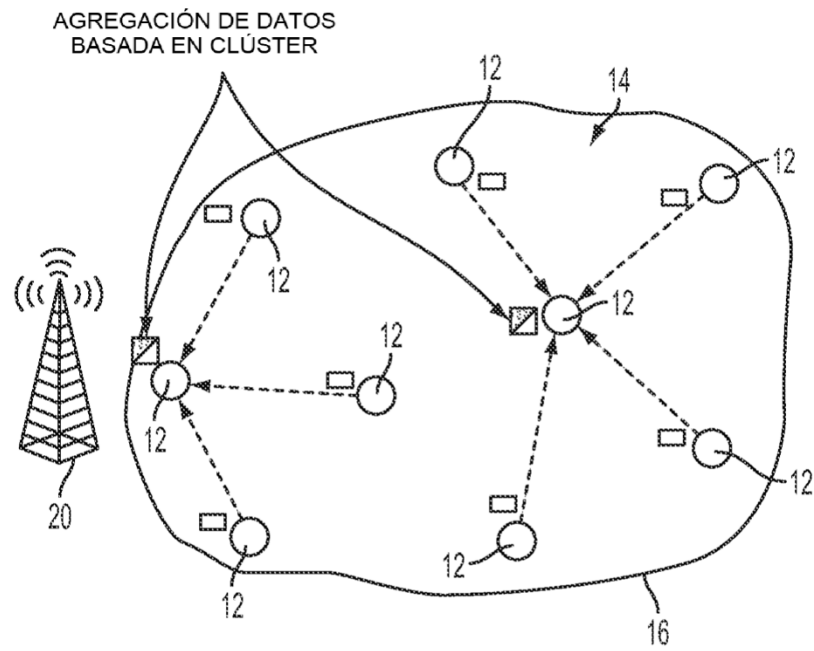


FIG. 13A

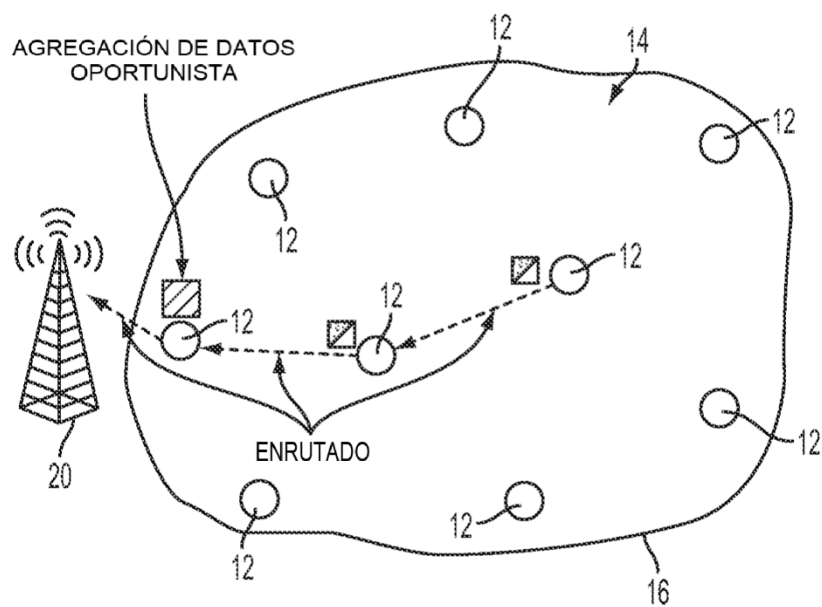


FIG. 13B

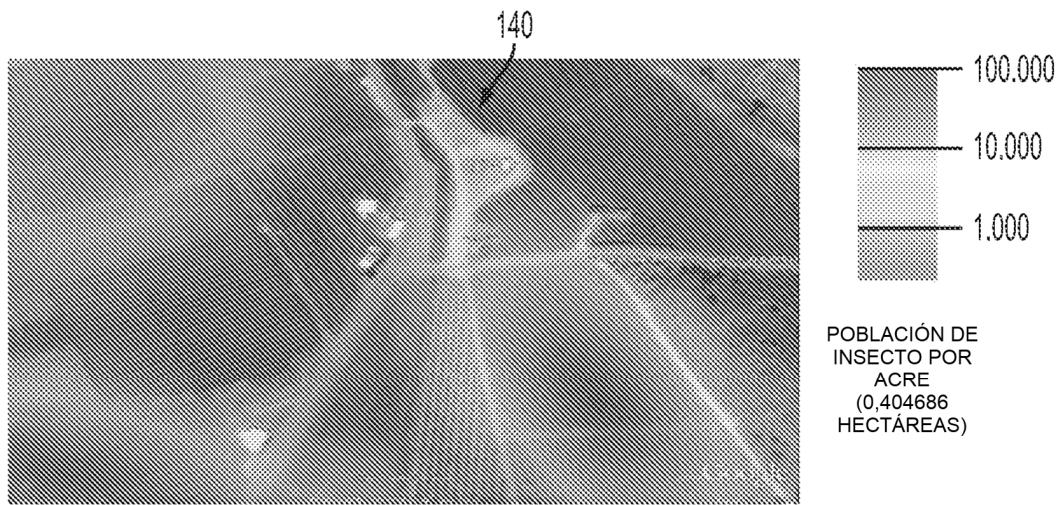


FIG. 14A

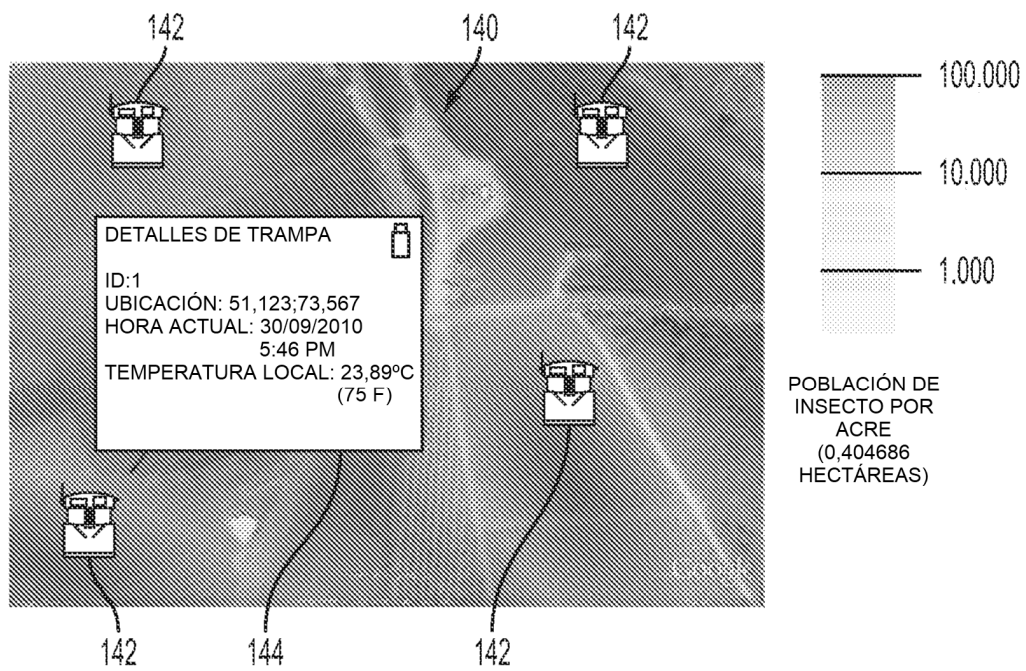


FIG. 14B

