

Plataforma TI de vigilancia entomológica del *Aedes aegypti* con colaboración colectiva, Web GIS y mHealth *

Cesar Augusto Díaz-Celis

Profesor Tiempo Completo Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta - Colombia.
cesar.diaz@unillanos.edu.co  <https://orcid.org/0000-0003-0056-0932>

Oscar Gutiérrez-Lesmes

Profesor Asociado Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta – Colombia.
oagutierrez@unillanos.edu.co  <https://orcid.org/0000-0002-5181-0236>

Angel Cruz-Roa

Profesor Asistente Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta – Colombia.
aacruz@unillanos.edu.co  <https://orcid.org/0000-0003-3389-8913>
Autor para correspondencia

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

Aedes aegypti; monitoreo epidemiológico; entomología; dengue; fiebre amarilla; Fiebre del Chikungunya; Fiebre del Zika; Sistemas de Información Geográfica; aplicaciones móviles; software

El mosquito *Aedes aegypti* es una especie antropofílica que se ha adaptado a entornos urbanos y es el principal vector de enfermedades como el dengue, la fiebre de Zika, la enfermedad del Chikungunya y la fiebre amarilla, lo que representa una importante carga al sistema de salud, en especial en países tropicales donde es endémico. Ejercer apropiadamente la vigilancia en salud pública es fundamental para la prevención de estas enfermedades mediante sistemas de información. El propósito de este trabajo es proporcionar una plataforma de tecnologías de la información (TI), integrando tecnologías abiertas Web GIS y mHealth para la vigilancia entomológica del vector; a partir de colaboración abierta distribuida para la generación de mapas de infestación. Se realizó un piloto con un grupo focal de 23 estudiantes del curso de epidemiología, que permitió registrar 120 elementos en 55 reportes en la Universidad de los Llanos para la generación automática de 21 mapas de calor de síntomas, zancudos y criaderos, y un mapa global de infestación. Este trabajo sugiere una perspectiva novedosa de interacción y participación colaborativa de la comunidad con las autoridades de salud soportado por las TI.

Recibido: 24/03/2022 Aceptado: 01/06/2022

* Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Cómo citar este artículo: DÍAZ-CELIS, Cesar Augusto; GUTIÉRREZ-LESME, Oscar; CRUZ-ROA, Angel. Plataforma TI de vigilancia entomológica del *Aedes aegypti* con colaboración colectiva, Web GIS y mHealth. En: Entramado. Julio - Diciembre, 2022 vol. 18, no. 2, 1-19 e-8639 <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.8639>



IT platform for entomological surveillance of *Aedes aegypti* with crowdsourcing, Web GIS and mHealth

ABSTRACT

KEYWORDS

Aedes aegypti;
epidemiological monitoring;
entomology; Dengue; yellow
fever; Chikungunya fever;
Zika fever; Geographical
Information Systems; mobile
applications; software

The *Aedes aegypti* mosquito is an anthropophilic species that has adapted to urban environments and it is the main vector of diseases such as dengue, Zika fever, Chikungunya disease and yellow fever, which represents a significant burden on the health system, especially in tropical countries where it is endemic. Properly exercising public health surveillance is essential for the prevention of these diseases through information systems. The purpose of this work is to provide an information technology (IT) platform, integrating open technologies Web GIS and mHealth for the entomological surveillance of the vector, based on crowdsourcing for the generation of infestation maps. A pilot was carried out with a focus group of 23 students from the epidemiology course, which allowed the registration of 120 elements in 55 reports at the Universidad de los Llanos for the automatic generation of 21 heatmaps of symptoms, mosquitoes and breeding sites, and a global infestation map. This work suggests a novel perspective of interaction and collaborative participation of the community with health authorities supported by IT.

Plataforma de TI para vigilância entomológica de *Aedes aegypti* com colaboração coletiva, Web GIS e mHealth

RESUMO

PALAVRAS-CHAVE

Aedes aegypti;
monitoramento
epidemiológico;
entomologia; dengue; febre
amarela; Febre Chikungunya;
Febre Zika; Sistemas de
Informação Geográfica;
aplicativos móveis; software

O mosquito *Aedes aegypti* é uma espécie antropofílica que se adaptou aos ambientes urbanos e é o principal vetor de doenças como dengue, febre Zika, doença Chikungunya e febre amarela, o que representa uma carga significativa para o sistema de saúde, especialmente em países tropicais onde é endêmica. O exercício adequado da vigilância em saúde pública é essencial para a prevenção dessas doenças por meio de sistemas de informação. O objetivo deste trabalho é fornecer uma plataforma de tecnologia da informação (TI), integrando tecnologias abertas Web GIS e mHealth para a vigilância entomológica do vetor, com base em uma colaboração aberta distribuída para a geração de mapas de infestação. Um piloto foi realizado com um grupo focal de 23 estudantes do curso de epidemiologia, que permitiu o registro de 120 elementos em 55 relatórios na Universidad de los Llanos para a geração automática de 21 mapas de calor de sintomas, mosquitos e criadouros, e um mapa de infestação global. Este trabalho sugere uma nova perspectiva de interação e participação colaborativa da comunidade com autoridades de saúde apoiadas por TI.

1. Introducción

El mosquito vector *Aedes aegypti* es una especie antropofílica que se ha adaptado a entornos urbanos porque las hembras tienen la facilidad de picar múltiples veces y encontrar fácilmente recipientes artificiales en los que depositar sus huevos, los cuales tienden a ser resistentes a la desecación, lo que ha aumentado las posibilidades de reproducción ([Palaniyandi, Anand, y Pavendar, 2017](#)). Este mosquito es el principal transmisor de arbovirus como: el virus del dengue, el virus del Zika, el virus del Chikungunya, el virus de la fiebre amarilla, y alfavirus como el virus Mayaro en América ([Fernández-Salas et al., 2015](#)), por lo cual representa una importante carga al sistema de salud y a la economía, en especial en países tropicales donde en algunas zonas es endémico.

La enfermedad del dengue se ha ido estableciendo globalmente lo que ha llevado a estimar 294 (217-392) millones de infecciones no aparentes adicionales para el 2010 en todo el mundo, principalmente en Asia (70%), África (16%) y América (14%) ([Bhatt, Gething, Brady, y Al, 2013](#)). En América alcanza un total de 50 millones de infecciones anuales ([San-Martin et al., 2010](#)). Desde 2004, la enfermedad del Chikungunya se ha extendido desde África hasta el océano Índico, Asia, el Sudeste Asiático, Oceanía y Europa; y llegó a América en el año 2013, continente en el que ha alcanzado los dos millones de

pacientes infectados ([Leparc-Goffart, Nougairede, Cassadou, Prat y de Lamballerie, 2014](#)). Así mismo, la fiebre del Zika se diseminó desde África hacia el sudeste asiático, las islas del Pacífico y llegó finalmente a América ([Yasri y Wiwanitkit, 2015](#)). En Colombia los casos de enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti*, reportadas por el Ministerio de Salud y Protección Social en sus informes anuales de Análisis de Situación de Salud, evidencian la presencia en el territorio, por ejemplo del dengue, con una tasa de incidencia variable de 155 casos por cada 100.000 en 2012, un descenso a 70 casos en 2017, y un aumento a los 330 casos en 2019 ([Ministerio de Salud y Protección Social, 2021](#)). Para la enfermedad del Chikungunya, desde 2014 y hasta 2018, se han notificado 488.996 casos, y fue 2015 el año de casos e incidencia más alta del periodo ([Ministerio de Salud y Protección Social, 2019](#)). Finalmente, Colombia es uno de los países más afectados de América por el virus del Zika, con 8.826 casos confirmados y 95.898 casos sospechosos ([Pan American Health Organization, 2016](#)).

En general, los factores que intervienen en la propagación de las enfermedades transmitidas por vectores influyen en la tasa de propagación ([Simoy, Simoy, y Canziani, 2015](#)), así como no tener un control actualizado sobre el estado y la propagación del vector, lo cual puede ser determinante en el impacto en la salud pública si causa una epidemia, como ocurre en algunas regiones ([Marques-Toledo, Bendati, Codeço, y Teixeira, 2019](#)). Estos factores son particularmente relevantes en aquellos municipios situados por debajo de los 2.000 msnm, considerados como zonas de riesgo ([Ministerio de Salud y Protección Social, 2010a](#)).

La vigilancia en salud pública consiste esencialmente en la gestión de datos (recolección, análisis e interpretación), lo cual es fundamental para la prevención de enfermedades ([Ministerio de Salud y Protección Social, 2010b](#)). Ejercer apropiadamente la vigilancia en salud pública requiere hoy en día apoyarse en sistemas de información de vigilancia. Un sistema de vigilancia debe permitir registrar los síntomas, las características de una enfermedad o un suceso de salud pública casi o muy cercano al tiempo real de la evolución de la enfermedad en los pacientes, debido a que esto ayudaría a detectar etapas tempranas de brotes ([Ministerio de Salud y Protección Social, 2010b](#)). Estos sistemas de vigilancia en salud pública traen beneficios al ser usados como herramientas de apoyo en la toma de decisiones, porque proporcionan a las autoridades de salud y a los entes encargados, capacidad de establecer acciones, intervenciones o políticas de prevención a largo plazo para poder responder a posibles brotes de manera rápida y oportuna, en la que se consideren los cortos tiempos del ciclo de vida de la enfermedad o el vector ([Aziz, 2017](#)).

A continuación se mencionan algunos trabajos previos que han desarrollado soluciones tecnológicas, sistemas de información geográfica (SIG), y aplicaciones Web o móviles para la vigilancia de enfermedades infecciosas transmisibles en el contexto epidemiológico y de salud pública. [Rolfhamre, Grabowska y Ekdahl \(2004\)](#) describen el funcionamiento de un sistema de vigilancia de enfermedades transmisibles en Suecia, basado en SIG y en la web (Web GIS) para el almacenamiento de información relacionada como apoyo a la toma de decisiones de las autoridades de salud. Por su parte, [Inoue, Hasegawa y Suyama \(2009\)](#), presentan un Web GIS desarrollado en Japón, para registrar y consultar información georreferenciada de enfermedades infecciosas. En todos ellos se destaca la necesidad de proporcionar soluciones tecnológicas que permitan gestionar, analizar y visualizar información de enfermedades infecciosas como apoyo a médicos y profesionales de la salud. [Palaniyandi \(2014\)](#) desarrolló un SIG en India para monitorear las poblaciones del *Aedes aegypti*, que funciona como herramienta de apoyo en el control del mosquito. Así mismo, [Palaniyandi, Anand, y Maniyosai \(2014\)](#) presentan una solución basada en un SIG para cartografiar la densidad del vector *Aedes aegypti* en una unidad territorial en India. Los autores destacan que, mediante el uso de la solución propuesta, se obtuvo información importante acerca de las variables socioeconómicas y ambientales asociadas a las epidemias de dengue y Chikungunya en la India. En el contexto colombiano, ([Rodríguez-Morales et al., 2015](#)) presentan una aplicación para realizar una cartografía del Chikungunya mediante SIG que toma varios factores como la cantidad de concurrencia de personas viajeras que pasan por el área establecida. [Rodríguez-Morales et al. \(2016\)](#) también describen una aplicación para cartografiar y evaluar patrones de los posibles cambios en el modo de transmisión del Chikungunya en el triángulo del café del área colombiana.

Sin embargo, en el contexto regional existen pocos trabajos para la vigilancia entomológica del vector, en especial de acceso público, y en los que se involucre a la comunidad como parte del proceso de vigilancia activa del vector con los diferentes síntomas asociados con las enfermedades causadas por el *Aedes aegypti*.

El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de una plataforma de tecnologías de la información (TI) abierta para la vigilancia entomológica del *Aedes aegypti*, a partir de información colaborativa de la comunidad integrada con tecnologías de información geográfica en la Web (Web GIS), una aplicación Web y una aplicación de salud móvil (mHealth) para su validación por expertos del sector salud de acceso público para la estimación de la presencia directa o indirecta del vector

y generación automática de mapas de infestación del vector en una zona territorial por medio de mapas de calor (Babicki et al., 2016) con base en la cantidad de reportes de criaderos, estadios de vectores (pupa, larva y zancudo) y síntomas.

En la sección de metodología se describen los componentes de la plataforma TI de vigilancia entomológica del *Aedes aegypti* (VIGEA) como la aplicación de salud móvil, la aplicación Web y el sistema de información geográfica en la Web, así como la prueba piloto en la sede San Antonio de la Universidad de los Llanos. En la sección de resultados, se presentan los reportes georreferenciados y mapas de calor por criaderos, vectores y síntomas, así como la estimación de un mapa de infestación. En la sección de discusión, se analizan los resultados y se presentan los principales hallazgos. Finalmente, en la última sección se consignan las conclusiones y se proponen trabajos futuros.

2. Metodología

En la Figura 1 se presenta el esquema de la plataforma de software con tecnologías de la información (TI) desarrollada para la vigilancia entomológica del *Aedes aegypti* (VIGEA), con las tecnologías abiertas y cada uno de los componentes de software desarrollados: aplicación de salud móvil (mHealth), aplicación Web y sistema de información geográfica en la Web (Web GIS). El desarrollo de cada uno de los componentes de software se llevó a cabo mediante una metodología tradicional del ciclo de vida de un proyecto de desarrollo de software, de acuerdo con el Proceso Racional Unificado, o RUP por sus siglas en inglés, con las siguientes etapas secuenciales: i) análisis de requerimientos, ii) diseño, iii) implementación, iv) pruebas, y v) despliegue (Kroll y Kruchten, 2003).

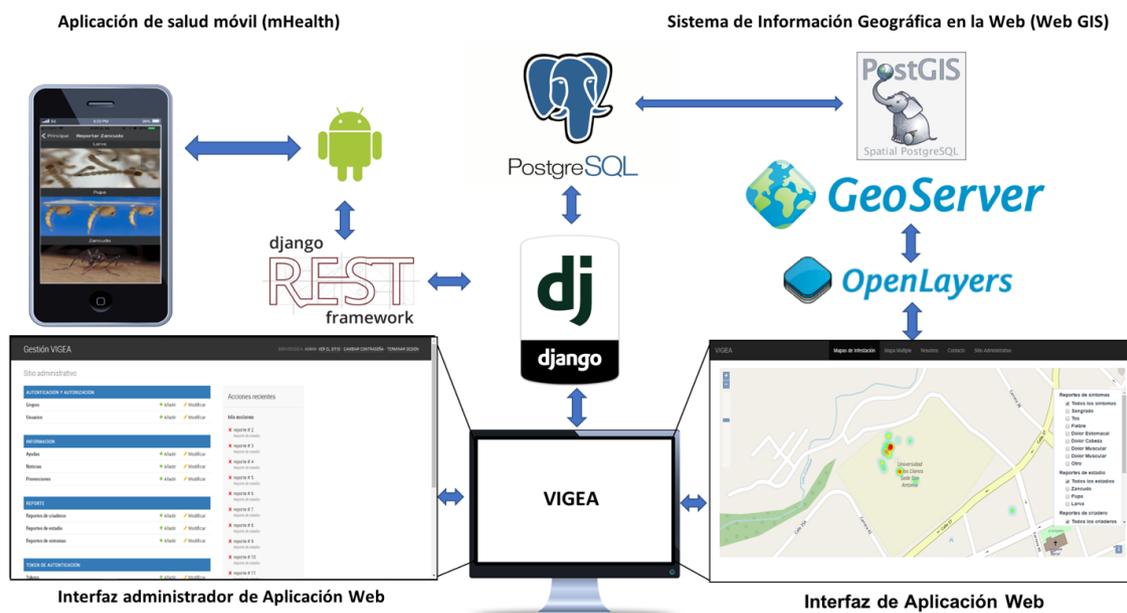


Figura 1. Esquema de la plataforma TI para la vigilancia entomológica del *Aedes aegypti* (VIGEA) integrando diferentes tecnologías abiertas. Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de salud móvil (mHealth) está desarrollada para el sistema operativo móvil Android, que se integra mediante servicios Web con la interfaz de programación de aplicaciones (API, por la sigla en inglés de Application Programming Interface) con Django REST Framework, que permite el acceso y uso de los servicios de la aplicación Web desarrollada en Django, una plataforma de desarrollo de aplicaciones Web libre y de código abierto basada en Python. Django está soportada por el motor de base de datos relacional libre y de código abierto PostgreSQL. Finalmente, el sistema de información geográfica en la Web (Web GIS) se integra con la aplicación Web mediante la base de datos de PostgreSQL, que extiende el soporte de objetos geográficos para su almacenamiento y gestión con PostGIS para lo cual utiliza el servidor de código abierto GeoServer, el cual ofrece los respectivos geoservicios. Estos datos geográficos se visualizan en la aplicación Web a través de la librería OpenLayers y consume los geoservicios ofrecidos por el GeoServer, una librería de JavaScript de código abierto para mostrar mapas interactivos en los navegadores Web que ofrece una API para acceder a diferentes fuentes de información geográfica en línea.

Para la realimentación y validación de funcionalidad de la plataforma TI integrada con su aplicación móvil, Web GIS y aplicación Web, se realizó una prueba piloto en una unidad territorial de la sede San Antonio de la Universidad de los Llanos, ubicada en zona urbana del municipio de Villavicencio, departamento del Meta. El área de estudio se localiza en las coordenadas 4,14° de latitud norte y 73,64° de longitud oeste, con un área aproximada de 5.200 m². La técnica de evaluación cualitativa utilizada fue por medio de un grupo focal ([Hamui-Sutton y Varela-Ruiz, 2013](#)) mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. El grupo focal consistió en seleccionar como usuarios de las aplicaciones a los 23 estudiantes del curso de epidemiología durante el primer periodo académico del 2018, del programa de Enfermería de la Universidad de los Llanos.

Esta investigación acoge la normatividad de la Resolución 8430 de 1993, creada por el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, la cual establece las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, que clasifica esta investigación como sin riesgo, debido a que no se realizó manipulación biológica o psicológica de los participantes ([Ministerio de Salud y Protección Social, 1993](#)).

Las siguientes subsecciones presentan el detalle de cada uno de los componentes de los software desarrollados para la plataforma VIGEA y de la realización de la prueba piloto con un grupo de estudiantes del curso de epidemiología en la Universidad de los Llanos.

2.1. Aplicación de Salud Móvil (mHealth) para la comunicación y registro de información epidemiológica

La etapa metodológica de desarrollo de software de análisis de requerimientos de esta aplicación se inició con la revisión de nueve documentos de referencia que incluyó un protocolo nacional ([Ministerio de Salud y Protección Social, 2010b](#)), tres protocolos internacionales ([Centers for Disease Control and Prevention, 2016](#); [Ministerio de Salud, 2011a](#); [Ministerio de Salud Pública, 2011](#)), un documento gubernamental de Perú ([Ministerio de Salud, 2011b](#)), tres artículos científicos ([Spiegel et al., 2007](#); [WASH Regional Group, 2016](#); [World Health Organization, 2016](#)) y documentos sobre antecedentes de sistemas de información similares o afines ([Babicki et al., 2016](#); [Inoue et al., 2009](#); [Palaniyandi, 2014](#); [Rodriguez-Morales et al., 2015, 2016](#); [Rolfhamre et al., 2004](#)) con el fin de construir un instrumento con la batería de preguntas para la identificación de las variables de estudio para definir las funcionalidades, módulos y campos de la aplicación de salud móvil (mHealth) y aplicación Web, variables que fueron clasificadas de la siguiente manera: a) caracterización de la vivienda: número de habitaciones, forma de obtención del agua de uso y descripción del patio; b) vector: antecedentes de picaduras en el hogar, identificación de enfermos por el vector y sitios de presencia del vector; c) criaderos: lugar del criadero (intradomiciliario o exteriores), criadero de riesgo, criadero infestado y tipos de criaderos; d) exteriores: ubicación de criaderos de riesgo o infestados y tipo de criadero; y e) prevención: uso de toldillos, fumigación, anjeos y limpieza de tanques.

Luego de identificar las variables de estudio, se validaron con dos profesionales de salud pública y epidemiología: un profesional en enfermería con especialización en epidemiología y candidatura de doctorado en epidemiología, y un profesional en bacteriología con especialización en epidemiología, en administración en salud, salud ocupacional y maestría en epidemiología. Esto permitió definir la información relevante para el análisis y vigilancia entomológica a partir del diseño y aplicación de dos tipos de instrumentos de levantamiento de requerimientos. El primero se enfocó a los dos profesionales del área de la salud con conocimientos en epidemiología, y el segundo fue para los usuarios finales de la comunidad general del grupo de estudiantes del curso de epidemiología de la prueba piloto. La aplicación de los instrumentos contempló 15 preguntas cerradas sobre las variables identificadas: i) vivienda de la persona, ii) cantidad de individuos y mascotas que residen en la vivienda, iii) recipientes que pueden ser posibles criaderos, iv) identificación de posible *Aedes aegypti* en sus diversas etapas (larva, pupa o zancudo), e v) identificación de posibles criaderos en el vecindario donde reside la persona.

Con la aplicación de los instrumentos y el análisis de las respuestas cerradas se logró identificar, priorizar y organizar por grupos de funcionalidades (aplicación, reporte de información, comunicación y enseñanza) los siguientes requerimientos:

- Permitir al usuario el registro, inicio de sesión y administración de su cuenta.
- Permitir al usuario el cambio y la recuperación de su clave de acceso.
- Reportar un posible caso de *Aedes aegypti* en alguna de sus etapas de vida (larva, pupa o zancudo).
- Reportar un posible criadero del *Aedes aegypti*.

- Reportar síntomas por parte del usuario.
- Mantener un canal de comunicación directa entre el usuario y la plataforma, con el fin de mantenerlo informado sobre noticias de interés, posibles casos de alerta, y/o medidas de prevención contra la proliferación del vector.
- Establecer una estrategia de enseñanza inmersa en el funcionamiento de la aplicación, con el fin de educar a los usuarios, en cuanto a términos adecuados, características, posibles criaderos y demás información relacionada con el vector.

En la etapa de la metodología de desarrollo de software de diseño, se elaboró un modelo de base de datos para el registro de la información con 34 entidades en SQLite, el cual se sincroniza con la aplicación Web y la base de datos central de la plataforma para reducir la latencia de acceso, según disponibilidad de conexión de los dispositivos móviles. Igualmente, se realizaron los diagramas UML de procesos y casos de uso por funcionalidades, y se adoptó un diseño de una arquitectura de aplicaciones móviles por capas para Android. Para el diseño de interfaces de usuario se trabajó con la metodología de Diamante doble, con mockups (modelos o maquetas de diseño) y se usó Balsamiq Mockup 2 para su ajuste y validación.

Como resultado de la etapa de la metodología de desarrollo de software, a partir del análisis y el diseño se desarrolló la aplicación de salud móvil. En la [Figura 2](#) se observa el acceso e inicio a la aplicación, registro de usuario y recuperación de clave, así como las interfaces para registrar los reportes georreferenciados, según los estadios del vector como larva, pupa o zancudo, o zancudo, criaderos o síntomas, en las cuales quedó el registro histórico de los reportes.

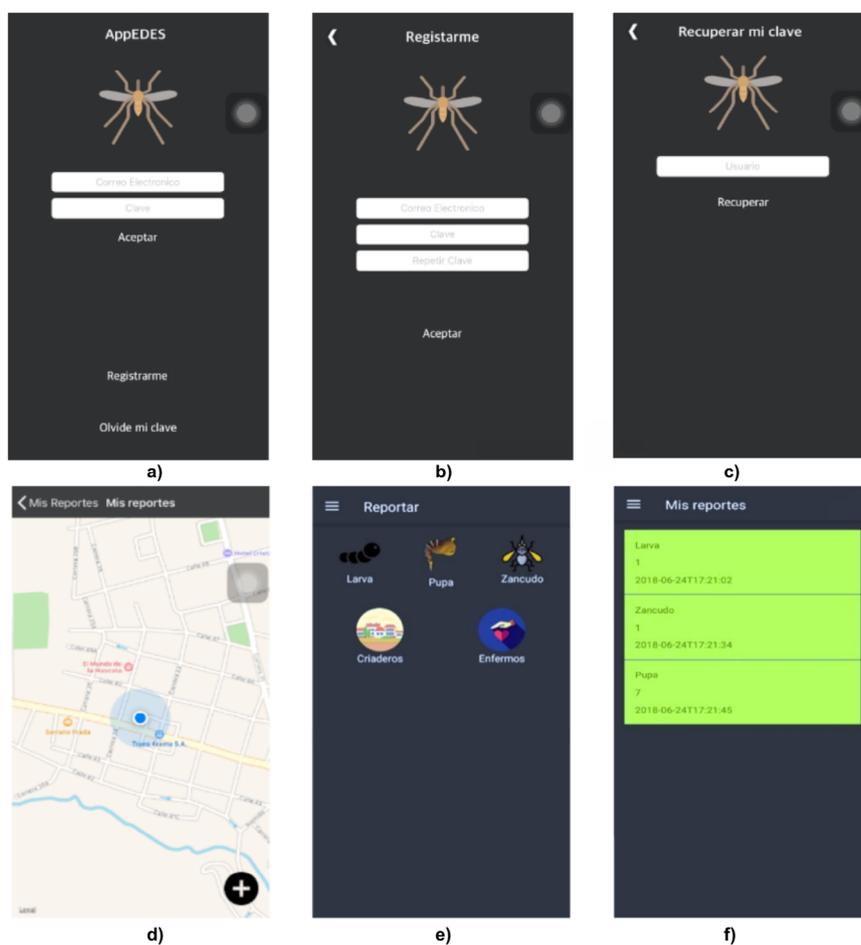


Figura 2. Aplicación de salud móvil: a) interfaz de acceso, b) registro de usuario, c) recuperación de clave, d) registrar mis reportes georreferenciados, e) reportar estadios del vector como larva, pupa o zancudo, criaderos o síntomas, y f), histórico de los reportes).

Fuente: Elaboración propia.

En la [Figura 3](#) se presenta la interfaz de la aplicación de salud móvil “Mi Entrenamiento”, en la que se encuentran actividades como preguntas aleatorias y respuestas correctas e incorrectas para el aprendizaje del usuario en las temáticas asociadas al vector, así como del canal de comunicación con información de noticias, prevención y ayuda. Igualmente, se presentan las opciones para registrar o actualizar información anonimizada de la familia con la que convive y los tipos de mascotas que posee.

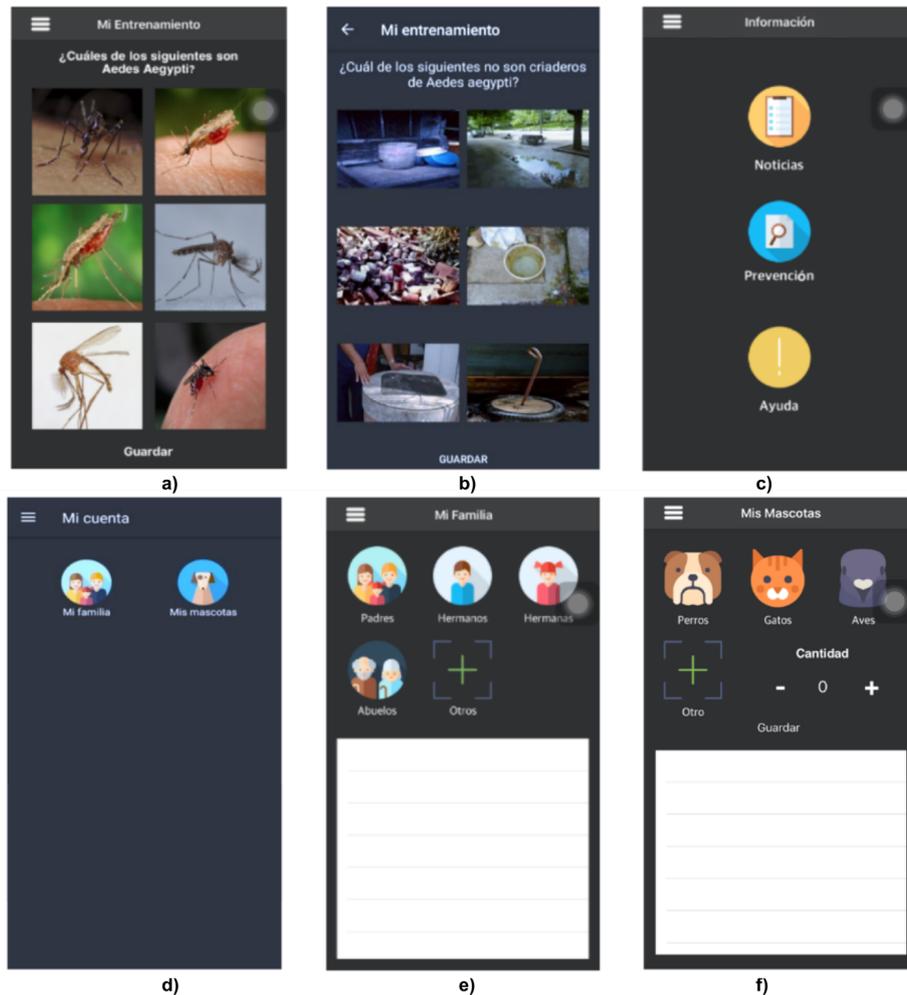


Figura 3. Aplicación móvil. Interfaces de “Mi Entrenamiento” con ejemplos de a) tipos de zancudos, b) tipos de criaderos, c) e información de noticias, prevención y ayuda, d) interfaces para reportar información anónima de la familia o mascotas, e) tipos de miembros familiares, y f) tipos de mascotas.

Fuente: Elaboración propia.

En la [Figura 4](#) se puede detallar el reporte de zancudos, la cantidad y adjuntar una foto, seleccionar el tipo de criadero y los síntomas de un enfermo. También permite detallar la fecha de inicio de síntomas, el quinquenio de la edad, y realizar cambio de clave.

Finalmente, la validación no funcional de la aplicación móvil se realizó en Android App Testing de Google, lo que garantiza un funcionamiento sobre el 97,3% de los dispositivos con versión de Android superior a la 4.2, así como en Monkop¹ para obtener tiempos de ejecución al inicio de la aplicación, según el dispositivo donde se desplegó. Se tuvo en cuenta el sistema operativo, la API, y la resolución de la pantalla, lo que permitió obtener el tiempo más rápido de 0,488 segundos con la versión de Android más reciente, y el peor tiempo de 1,530 segundos en Android 5.1.

La aplicación móvil se encuentra disponible para su descarga en la página web <http://vigea.unillanos.edu.co/media/apk/vigea.apk> o en la Play Store de Google en <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.unillanos.vigea.vigea>.

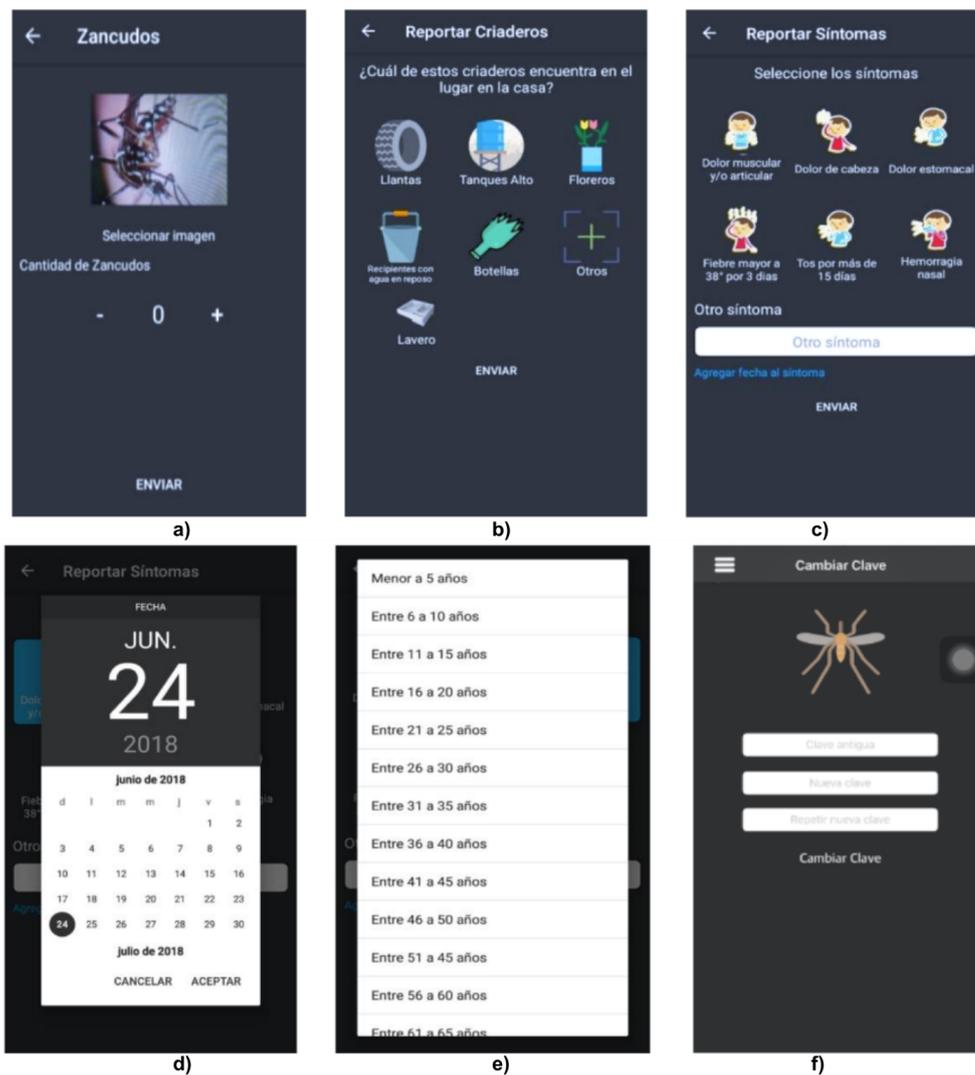


Figura 4. Aplicación móvil. Interfaces para reportar zancudos informando: a) cantidad y foto, b) tipo de criadero, c) enfermo con síntomas, d) interfaces para registrar fecha de inicio de síntomas del enfermo, e) edad por quinquenio del enfermo, y f) cambiar clave. Fuente: Elaboración propia.

2.2. Aplicación Web y API de Servicios Web para la comunicación, integración y almacenamiento de la información epidemiológica

En la etapa de la metodología de desarrollo de software de análisis de requerimientos de la aplicación Web realizada con los profesionales de salud del área de epidemiología y afines, se estableció que debería permitir:

- La gestión de usuarios (roles, permisos, creación, edición, lectura y eliminación).
- La gestión y visualización de reportes (criaderos, estadios del vector y síntomas).
- La creación y visualización de mapas de infestación en la Web.
- La creación de roles (administrador, gestor de contenidos, expertos).
- El acceso a expertos entomólogos a la información de los reportes y su validación.
- La gestión de contenido para mantener la sección de noticias y ayudas de la aplicación móvil actualizada.
- Disponer de una API que permita integrarse con la aplicación móvil.

Para la creación de los mapas de infestación se pueden generar a partir de los siguientes elementos: todos los criaderos, por tipo de criadero, todos los estadios, por cada uno de los estadios, todos los síntomas, por cada uno de los tipos de síntomas.

Para la API con los servicios Web de Django REST Framework para integrarse con la aplicación móvil, se establecieron los siguientes requerimientos:

- Autenticación de usuario.
- Lectura de datos de un usuario.
- Crear y ver reportes del estadio.
- Crear y ver reportes de criaderos.
- Crear y ver reportes de síntomas.
- Lectura de reportes de un usuario.
- Ver contenido de noticias, ayuda y prevención.
- Recuperación de contraseña de usuario.
- Cambio de contraseña de un usuario.

En las etapas de la metodología de desarrollo de software de diseño e implementación se consolidaron las funcionalidades identificadas por medio de cuatro diagramas de casos de uso en UML para la interacción del usuario con la plataforma informática y el modelo Entidad-Relación compuesto por 22 tablas, tanto para la aplicación Web como para los servicios Web de la API para su integración con la aplicación móvil.

Finalmente, para el despliegue de la aplicación Web, los servicios Web y el servidor geográfico, se usó el servidor Web multiplataforma Apache Tomcat, que sirve como contenedor de servlets, para alojar el servidor de almacenamiento, gestión y acceso de datos geográficos GeoServer, y la visualización de datos geográficos por medio de la librería OpenLayers. Para la etapa de la metodología de desarrollo de software del despliegue de la aplicación Web y la API, desarrolladas en Python mediante el framework Django, se usó el servidor Web Nginx, desplegando tanto su componente público (<http://vigea.unillanos.edu.co/>) como el componente de administración (<http://vigea.unillanos.edu.co/admin/>). (Figura 5).

Adicionalmente, se configuraron los grupos de usuarios por medio de roles con los permisos apropiados por funcionalidad, tanto en el módulo de administración de la aplicación Web (expertos y gestores de contenido) para la validación de reportes, así como los usuarios que envían la información inicial de reportes desde la aplicación móvil.

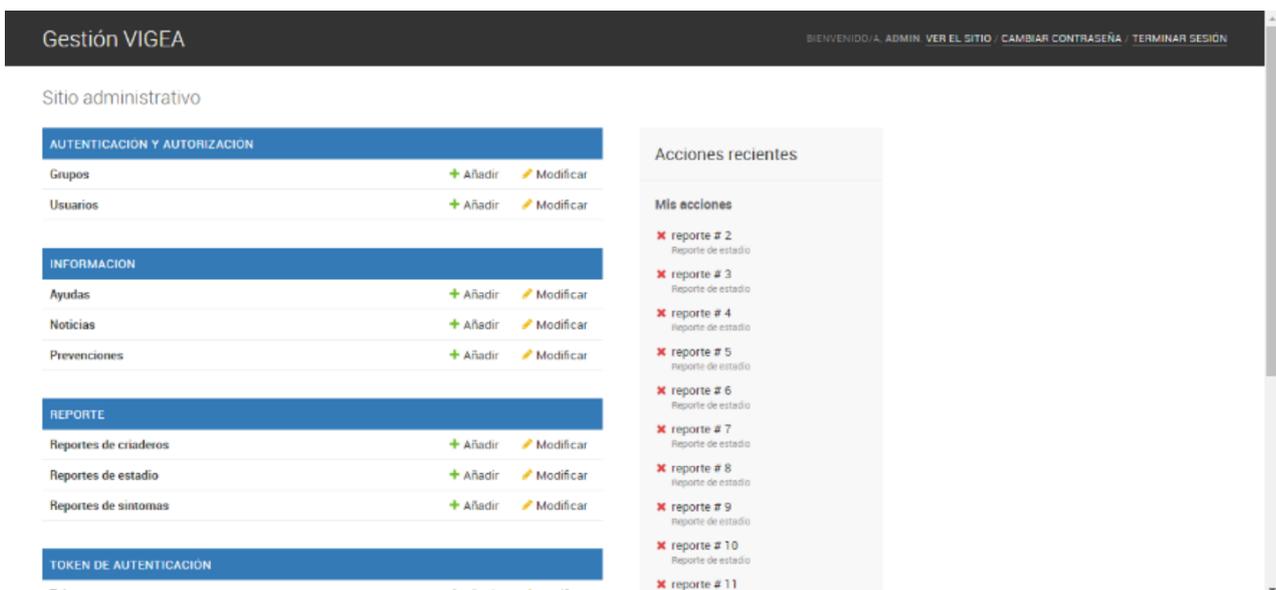


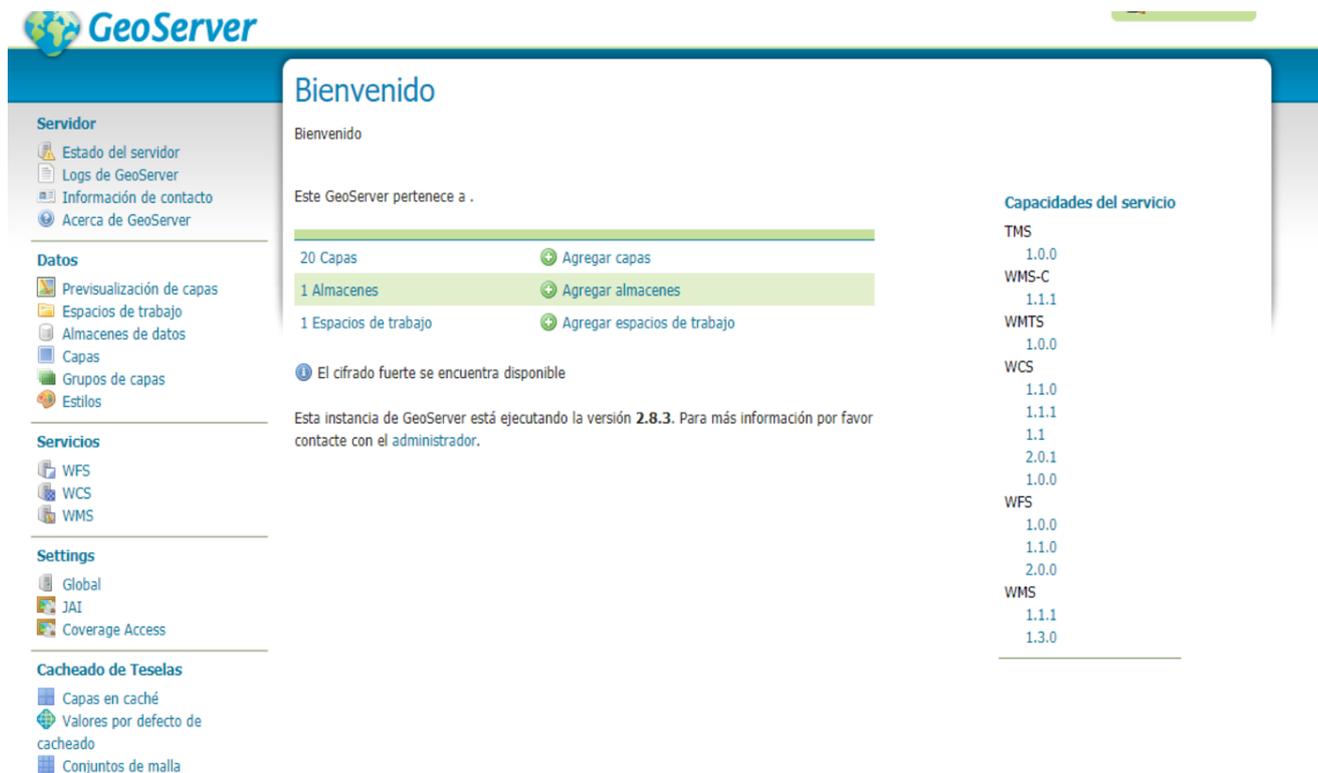
Figura 5. Interfaz de la aplicación Web en Django para el rol de administrador.
Fuente: Elaboración propia

2.3. Sistema de Información Geográfica en la Web para acceso y almacenamiento de información epidemiológica georreferenciada

Con el servidor de datos geoespaciales GeoServer desplegado (Figura 6), se creó un espacio de trabajo y un almacén de datos que configura la conexión a la base de datos con la información geográfica. De esta forma, se procedió a modelar las capas de información con el fin de que permitieran la lectura de los datos guardados en reportes a través de un formato GeoJson. Así las capas pueden ser consumidas como geoservicios por la librería OpenLayers. Esta librería se incluyó en la aplicación Web en Django para ofrecer un mapa de calor por cada subtipo de reporte.

Posteriormente, se definieron las opciones de los mapas base sobre los cuales se visualizan los mapas de infestación, bien sea el mapa abierto y colaborativo de OpenStreetMap o el mapa del servicio de Bing Maps de Microsoft (Figura 7), según el tipo de reporte (síntomas, estadios o criaderos). Para la visualización de los mapas, cada capa se asocia al tipo de reporte y define si es visible o no. La incidencia de infestación se presenta en una escala de color como mapas de calor (heatmaps), de acuerdo con la cantidad de puntos de reportes cercanos (Babicki et al., 2016). En este trabajo por ejemplo, un reporte de criadero con mayor nivel de concentración o puntos calientes (hotspots) con diez llantas, debería mostrar un color más intenso de calor con colores cálidos, como rojo, naranja o amarillo, mientras que un reporte de criadero con una sola llanta, un color más frío, como verde o azul. Esto se puede apreciar en las imágenes de ejemplo con datos de prueba de la Figura 7.

Con las funcionalidades y tecnologías implementadas y desplegadas en el Web GIS, se realizó la integración usando los componentes de edición y visualización correspondientes en la aplicación Web para su interacción en producción desplegada en el servidor Web Nginx, la cual se encuentra disponible en: <http://vigea.unillanos.edu.co/>.



The screenshot displays the GeoServer web administrator interface. On the left, there is a navigation menu with sections: Servidor (Server), Datos (Data), Servicios (Services), Settings, and Cacheado de Teselas (Tile Caching). The main content area is titled 'Bienvenido' and includes a welcome message, server status information, and a list of service capabilities. The 'Capacidades del servicio' (Service Capabilities) section lists various services and their versions:

Capacidades del servicio	Versión
TMS	1.0.0
WMS-C	1.1.1
WMTS	1.0.0
WCS	1.1.0
	1.1.1
	1.1
	2.0.1
	1.0.0
WFS	1.0.0
	1.1.0
	2.0.0
WMS	1.1.1
	1.3.0

Figura 6. Interfaz Web del administrador de GeoServer.

Fuente: Elaboración propia.

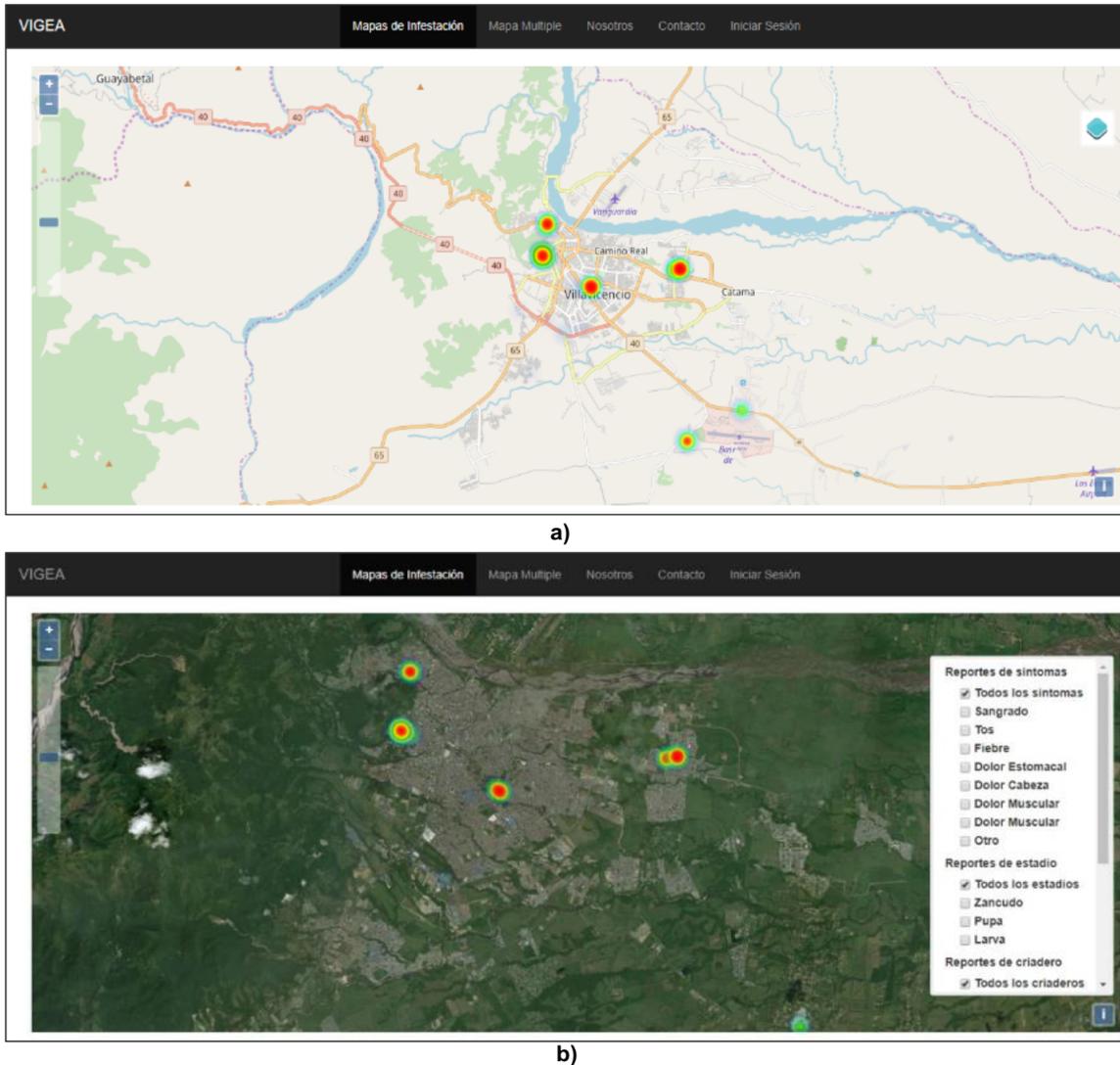


Figura 7. Mapas de infestación de todos los reportes con mapa base de: a) OpenStreetMap, y b) Bing Maps de Microsoft. Mapas generados con datos de prueba.

Fuente: Elaboración propia

2.4. Prueba piloto de la plataforma TI con un grupo focal por crowdsourcing

Para la realimentación y evaluación de funcionalidad de la plataforma TI, se realizó la prueba piloto con el grupo focal de 23 estudiantes del curso de epidemiología del primer periodo académico del 2018 del programa de Enfermería de la Universidad de los Llanos. Inicialmente el proceso consistió en el uso de ejemplares educativos conservados del vector del *Aedes aegypti* en sus diferentes estadios (Figura 8a) para una capacitación de su reconocimiento y diferenciación (Figura 8b), así como una socialización del protocolo nacional de dengue para identificación de los síntomas, seguido de la presentación de la plataforma informática mediante una socialización al grupo focal (Figura 8c), la realización de la capacitación tanto del uso como de la instalación de la aplicación móvil y de la aplicación Web (Figura 8d).

Luego se procedió a ejecutar las primeras pruebas de funcionamiento con el grupo focal para la identificación de errores de la aplicación móvil y Web, así como la realimentación para mejorar la interacción con las aplicaciones. De esta forma, por ejemplo, se incorporó entre los campos de registro de síntomas la opción de registrar la edad por quinquenio, tomando en cuenta que los participantes consideraban relevante añadirlo en relación con la persona que padecía el síntoma y su relación con las posibles enfermedades transmitidas por el vector. Igualmente, se solucionó un error de programación que

provocaba que a la hora de ingresar al detalle de un reporte los expertos no pudieran visualizar la información contenida por dicho reporte.

Para la toma de fotos de los estadios del vector se consideraron tres aspectos fundamentales: calidad de la imagen, condiciones para la toma e identificación del vector. Para establecer los dos primeros se realizaron pruebas de características de los teléfonos móviles, lo que permitió concluir que la cámara debe contar con una resolución mínima de 5 megapíxeles y el fondo debe ser claro y de preferencia blanco. Se debe tener buena iluminación ambiental y no hacer uso del flash, ya que crea reflejo en el agua y distorsiona la imagen. Para el vector, la fotografía deberá ser tomada a una distancia de 15 cm para poder visualizar las larvas, pupas o zancudos. Si las larvas o pupas se encuentran en un tanque de cemento o en algún recipiente de color oscuro, debido a su color se dificultará su visualización, por lo tanto, es necesario que con ayuda de un tazón de color claro se saquen algunas larvas o pupas y se tome la fotografía teniendo en cuenta las indicaciones anteriores.

Con estas consideraciones se dejó que el grupo focal se familiarizara con la aplicación móvil, y mediante la colaboración abierta (crowdsourcing) durante 15 días en diferentes sectores de la ciudad de Villavicencio se logró registrar 38 síntomas entre sangrado, tos, fiebre, dolor estomacal, dolor de cabeza, dolor muscular, y otros; 242 criaderos entre llantas, botellas, recipientes, floreros, lavaderos, tanques y otros; y 77 estadios del vector (zancudo, pupa y larva) para obtener datos y probar las aplicaciones en la etapa de la metodología de desarrollo de software de pruebas funcionales de software, previo a la aplicación de la prueba piloto.

Finalmente, corregidos los errores e incluidas las mejoras durante la socialización y capacitación en la etapa inicial y la apropiación de uso de la aplicación móvil y Web por el grupo focal, se procedió a realizar la prueba piloto en el área seleccionada de la sede San Antonio de la Universidad de los Llanos, desde los teléfonos del grupo focal con la aplicación móvil instalada en calidad de usuarios y la validación posterior de los datos por los profesores en la aplicación Web.



Figura 8. Socialización y capacitación: a) ejemplos de estadios del vector del *Aedes aegypti* entre huevo, larva, pupa y zancudo adulto; b) capacitación para el reconocimiento de los estadios del vector; c) socialización de la plataforma informática, d) capacitación de instalación y uso de la aplicación móvil y aplicación Web.

Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados

Se realizó la prueba piloto, mediante el uso de la plataforma TI en el área seleccionada de la sede San Antonio de la Universidad de los Llanos, para el registro de reportes con la aplicación móvil desde los teléfonos celulares y su posterior revisión y validación en la aplicación Web. Con el acompañamiento de los profesores del área de salud, se logró la consolidación de un total de 120 elementos registrados en 55 reportes por los usuarios del grupo focal, lo cual permitió obtener un total de 21 mapas de calor para los distintos tipos de criaderos, estadios del vector y síntomas individuales, así como la estimación de un único mapa de infestación del vector *Aedes aegypti*, integrando así la información de la totalidad de los reportes para su visualización.

Del total de 21 mapas de calor que se generaron a partir de la información reportada de criaderos, estadios del vector y síntomas; cuatro mapas hacen referencia a reportes de estadios del vector (Figura 9): todos los estadios, zancudo, pupa y larva; ocho corresponden a reportes de síntomas (Figura 10): todos los síntomas, sangrado, tos, fiebre, dolor estomacal, dolor de cabeza, dolor muscular y otros; ocho mapas relacionados con reportes de criaderos: todos los criaderos (Figura 11), llanta, botella, recipiente, florero, lavadero, tanque y otros; y finalmente un mapa de calor que reúne todos los reportes (Figura 12): todos los síntomas, todos los estadios y todos los criaderos.



Figura 9. Mapas de estadios del vector de *Aedes aegypti* en el campus San Antonio, visualizados como reportes de puntos georreferenciados (izquierda) y como mapa de calor (derecha): (a y b) zancudo, (c y d) pupa, (e y f) larva, y (g) todos los estadios del vector.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 10. Mapas de calor de síntomas reportados en el campus San Antonio: a) todos los síntomas, b) sangrado, c) tos, d) fiebre, e) dolor estomacal, f) dolor de cabeza, g) dolor muscular; h) otros.

Fuente: Elaboración propia.

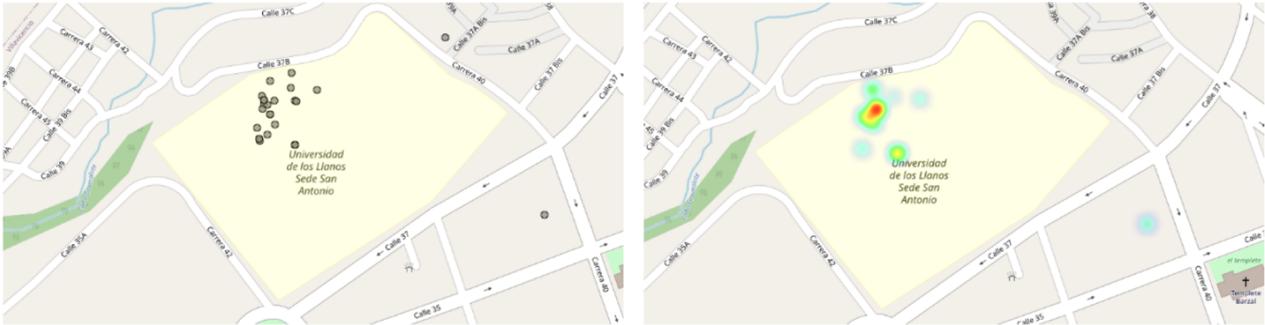


Figura 11. Mapas de todos los criaderos del campus San Antonio. Reportes de puntos georreferenciados (izquierda) y como mapa de calor (derecha).

Fuente: Elaboración propia.

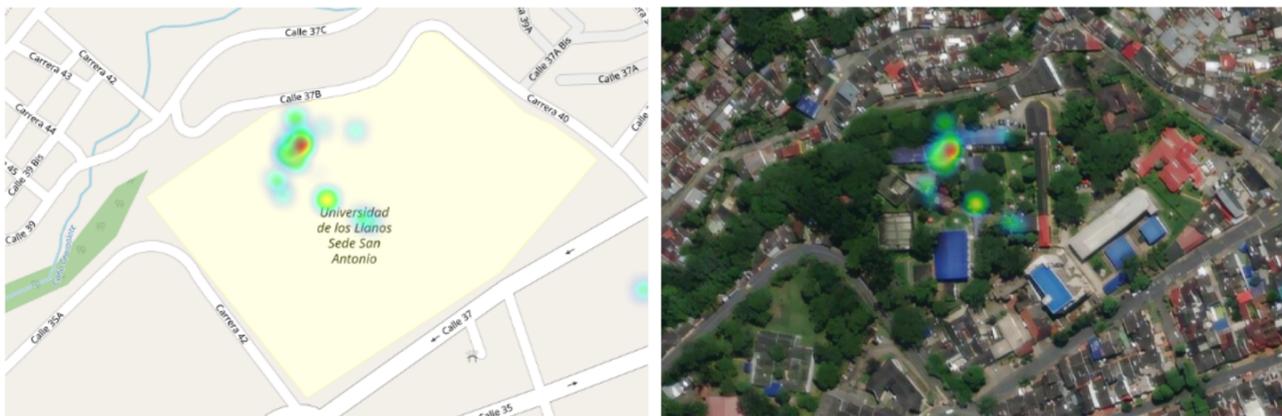


Figura 12. Mapa de infestación estimado a partir de todos los reportes campus San Antonio (síntomas, estadios y criaderos). Mapa de calor en OpenStreetMap (izquierda) y en imagen satelital de Bing Maps (derecha).

Fuente: Elaboración propia

En la [Figura 9](#) se puede apreciar la diferencia de visualización de los mapas de estadios del vector de *Aedes aegypti*, en el campus San Antonio, al representar como reportes de puntos georreferenciados individualmente (izquierda) y como mapas de calor (derecha), para cada uno de los estadios del vector (zancudo, pupa o larva) o incluyendo todos los estadios. De forma similar, en la [Figura 10](#) se aprecian los mapas de calor de los síntomas reportados en el Campus por cada síntoma (sangrado, tos, fiebre, dolor estomacal, dolor de cabeza, dolor muscular, y otros) o integrando la totalidad de los síntomas.

La visualización de los mapas de calor supera la de puntos georreferenciados de cada reporte, no solo por contribuir a la mitigación de la individualización del dato reportado espacialmente, sino también por cuanto mejora la estimación de la frecuencia de posible incidencia del *Aedes aegypti* de forma directa o indirecta. De hecho, se aprecia que es poco frecuente identificar el vector en sus estadios o algunos de los síntomas. Sin embargo, al usar todos los tipos, la estimación del mapa de infestación mejora. Esto se evidencia en la [Figura 11](#), donde se pueden comparar los mapas de todos los criaderos del campus San Antonio, al visualizar tanto los reportes de puntos georreferenciados, como el mapa de calor. Igualmente, resulta interesante la detección de mayor incidencia de potenciales criaderos del vector, que la detección del vector en sí o pacientes con síntomas con la posibilidad de detección temprana y la posibilidad de intervención.

Finalmente, en la [Figura 12](#) se presenta el mapa de infestación estimado a partir de todos los reportes del campus San Antonio (síntomas, estadios y criaderos) superponiendo el mapa de calor al mapa de la zona de estudio con OpenStreetMap y con la imagen satelital de Bing Maps y, por último, en la [Figura 13](#) el mapa de infestación como mapa de calor generado de la prueba piloto en la sede San Antonio de la Universidad de los Llanos visualizado en la aplicación Web.

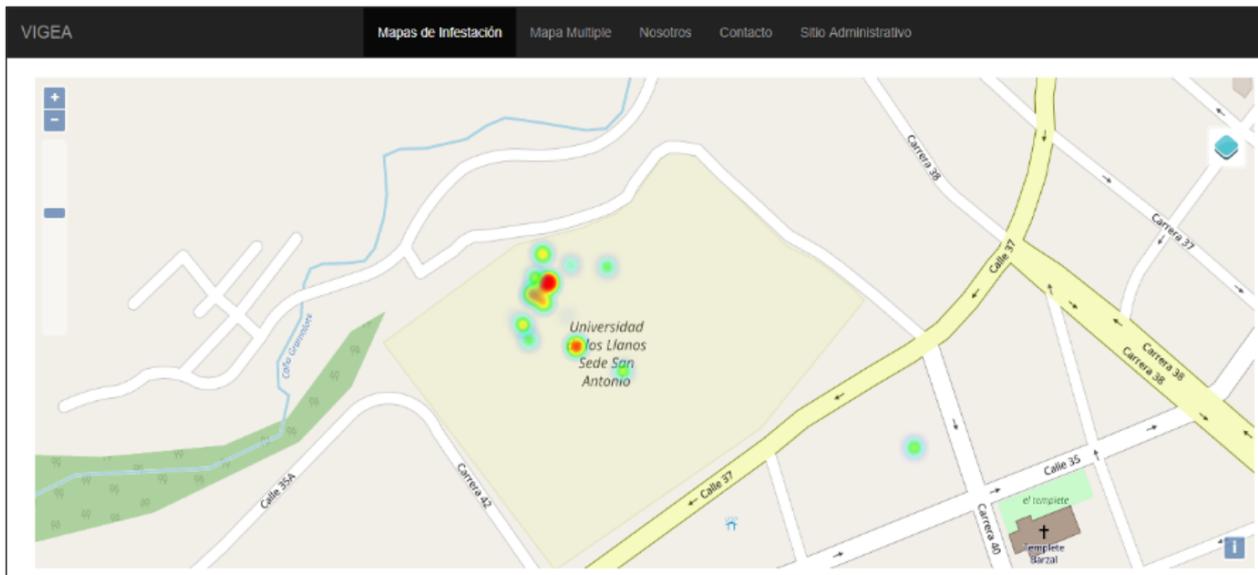


Figura 13. Mapa de infestación (mapa de calor) generado de la prueba piloto en la sede San Antonio de la Universidad de los Llanos visualizado en la aplicación Web.

Fuente: elaboración propia.

4. Discusión

Los mapas de infestación resultan ser de gran utilidad como herramienta de apoyo, ya que permiten identificar fácilmente posibles zonas de incidencia de forma directa o indirecta del mosquito *Aedes aegypti*. Involucrar a la población, hacerla participe y visibilizar su trabajo colaborativo para la generación de estos mapas en su entorno a lo largo del tiempo, facilita el proceso de notificación periódica e histórica de los eventos. Mediante la plataforma se podrían enfocar mecanismos y estrategias de intervención preventiva o correctiva, lo que minimiza las causas que aumentan la infestación y el riesgo de contagio por condiciones de reproducción del vector y cambio climático con la participación social de la comunidad, mediante una vigilancia activa en unidades territoriales con enfermedades endémicas que requieren seguimiento permanente por parte de las autoridades de salud pública, como es el caso de la ciudad de Villavicencio y el departamento del Meta.

Existe evidencia de tecnologías similares que han logrado impactar en otros países como Chile, con resultados alentadores en la disminución de la mortalidad, mediante la erradicación de puntos calientes (hotspots) y el control del vector del dengue (Culquichicón-Sánchez et al., 2015). En Paraguay fue desarrollado un modelo de vigilancia epidemiológica aplicado a distintas patologías, con el uso de tecnologías mHealth y Web GIS, lo que sugiere que los enfoques planteados como el de la plataforma TI es importante debido a la rapidez para la captura, envío y análisis de la información, lo que hace más oportuna la difusión de los resultados y las recomendaciones necesarias en cuanto a hábitos de promoción de la salud y prevención de una enfermedad como el dengue, así como para la toma de decisiones por parte de los entes territoriales a cargo de las intervenciones colectivas en las comunidades, esto con el fin de disminuir la incidencia, prevalencia y mortalidad (Cane et al., 2017).

El desarrollo de la aplicación móvil, como parte integral de la plataforma TI para la recolección de datos vía una estrategia abierta y colaborativa (crowdsourcing), permite la posibilidad de adquirir una mayor cantidad de datos con la participación de la comunidad para la vigilancia entomológica del vector basada en la evidencia. Esta tiene el potencial de ser un canal de comunicación y enseñanza para fomentar una cultura del conocimiento del vector y los medios donde prolifera, lo que crea así conciencia en la comunidad sobre las acciones preventivas que se deben asumir para evitar la propagación del vector. Estrategias adicionales y complementarias de gamificación como la inclusión de minijuegos y procesos lúdicos para motivar la participación de la comunidad, pueden contribuir a masificar y apropiar el uso a diferentes grupos de la comunidad que involucre a los más jóvenes. ≡

Aunque existen trabajos previos similares, este sistema de información es pionero en la región, porque propicia la posibilidad de involucrar a la comunidad de forma colaborativa con un posterior proceso de validación que complementa el enfoque tradicional. Además, el diseño de la arquitectura permite que pueda ser extendido fácilmente a otro tipo de enfermedades transmisibles por vectores o infecciosas para la vigilancia epidemiológica o entomológica en salud pública con diferentes alcances en las unidades territoriales.

El enfoque propuesto en la plataforma informática permite integrar de manera armónica el avance tecnológico y las necesidades en salud colectiva en un municipio, por naturaleza endémico de *Aedes aegypti*, como lo es Villavicencio, y dar cumplimiento a los objetivos planteados en el Plan Decenal de Salud Pública (Resolución 1843 de 2013), especialmente en su dimensión “Vida saludable y Enfermedades transmisibles” y lograr así un impacto positivo en los indicadores de salud pública ([Ministerio de Salud y Protección Social, 1993](#)).

Esta plataforma TI es de uso libre y abierto para cualquier persona o entidad gubernamental o particular, por tanto, las secretarías locales, departamentales y aquellos investigadores que deseen darle continuidad a su desarrollo y extender sus funcionalidades, pueden hacerlo y aplicarlo para el mismo vector, así como para otras enfermedades infecciosas, en apoyo a la vigilancia epidemiológica con participación social activa y colaborativa. Los repositorios del código fuente de la plataforma VIGEA están públicamente disponibles en GitLab tanto para su aplicación Web: https://gitlab.com/adalab_unillanos/vigea_web y aplicación móvil: https://gitlab.com/adalab_unillanos/vigea_movil.

5. Conclusiones

La plataforma informática para la vigilancia entomológica del *Aedes aegypti*, integrada con tecnologías de información geográfica en la Web y salud móvil para recibir y almacenar datos de fuentes externas, a través de la participación colaborativa en la prueba piloto permitió contar con información para procesar y construir estimaciones de mapas de infestación. Esto fortalece e intensifica la vigilancia epidemiológica y la vigilancia entomológica, debido a que puede focalizar en tiempo y espacio la presencia de larvas y pupas. También permite identificar los criaderos del *Aedes aegypti*, zonas con presencia del vector (zonas de alimentación), y la vigilancia geográfica de la circulación del agente de la enfermedad vectorial como apoyo a la estimación de zonas de riesgo del vector y prevención de brotes epidemiológicos de diferentes enfermedades como el dengue, la fiebre del Zika y la enfermedad del Chikungunya.

La vigilancia social de un vector como el *Aedes aegypti* no es fácil y requiere cierto conocimiento de las causas que favorecen su reproducción (criaderos y estadios), así como sus efectos (síntomas). Con la incorporación de nuevas tecnologías abiertas y colaborativas se plantea una nueva perspectiva de interacción de la comunidad con los profesionales y autoridades de salud pública para la vigilancia epidemiológica continua, y la intervención oportuna, lo que aumenta la confianza entre los actores y la información.

Este trabajo presentó limitaciones como el tamaño reducido de la muestra de usuarios del grupo focal y del área seleccionada como entidad territorial dentro de la ciudad de Villavicencio, lo cual es válido para una prueba piloto. Esto se compensó con la socialización y capacitación para que los participantes conocieran de antemano el vector, sus criaderos y los síntomas de las enfermedades que transmite, y brindaran un alto nivel de confianza en la calidad de los reportes.

Por tanto, el trabajo futuro incluye la aplicación de un estudio de forma masiva en cantidad de usuarios y en una entidad territorial de un área urbana mayor en un periodo significativo de tiempo, así como el diseño e implementación de modelos matemáticos y computacionales epidemiológicos con fines predictivos, que incluye variables adicionales como densidad poblacional y variables climáticas como apoyo a la vigilancia epidemiológica en la toma de decisiones.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Dirección General de Investigaciones de la Universidad de los Llanos por la financiación del trabajo a través del proyecto Código C05-F02-038-2016, a los Centros de Investigación de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería y de la Facultad de Ciencias de la Salud, así como el Semillero de Investigación AdaLab de la Universidad de los Llanos, y a los grupos de investigación GITECX y Cuidado de la Universidad de los Llanos, por la infraestructura y apoyo en el desarrollo del proyecto. Agradecimientos especiales a la profesora Laura Plata y a los estudiantes del curso

de epidemiología del programa de Enfermería de IPA de 2018 por su apoyo en la realización de la prueba piloto de las aplicaciones, así como de los estudiantes vinculados al proyecto de investigación en su trabajo de grado durante su ejecución y desarrollo: Jorge Goyeneche, Daniel Muñoz, Diana Grajales y Ángel Márquez.

Conflicto de intereses

El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Notas

1. <https://www.monkop.com/>

Referencias bibliográficas

1. AZIZ, Hassan. A review of the role of public health informatics in healthcare. In: Journal of Taibah University Medical Sciences. 2017, vol. 12, no. 1, p. 78-81. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2016.08.011>
2. BABICKI, Sasha; ARNDT, David; MARCU, Ana; LIANG, Yongjie; GRANT, Jason; MACIEJEWSKI, Adam; WISHART, David. Heatmapper: web-enabled heat mapping for all. In: Nucleic Acids Research. 2016, vol. 44, no. 1, p. 147-153. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw419>
3. BHATT, Samir; GETHING, Peter; BRADY, Oliver; MESSINA, Jane; FARLOW, Andrew; MOYES, Catherine; DRAKE, John; BROWNSTEIN, John; HOEN, Anne; SANKOH, Osman; MYERS, Monica; GEORGE, Dylan; JAENISCH, Thomas; WINT, William; SIMMONS, Cameron; SCOTT, Thomas; FARRAR, Jeremy; HAY, Simon. The global distribution and burden of dengue. In: Nature. 2013, vol. 496, p. 504-507. <https://doi.org/10.1038/nature12060>
4. CANE, Virgilio; SAMUDIO, Margarita; GALVÁN, Pedro; CABRAL, Margarita; PÁEZ, Malvina; CABELLO, Águeda; GALEANO, Rosa; BASOGAIN, Xabier. Modelo mhealth de Vigilancia epidemiológica simplificada en Paraguay. En: Revista Científica de la UCSA. 2017, vol. 4, no. 1, p. 6-16. [https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2017.004\(01\)006-016](https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2017.004(01)006-016)
5. CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. Surveillance and Control of *Aedes Aegypti* and *Aedes Albopictus* in the United States. USA: CDC; 2017. CS303153-A. <https://www.cdc.gov/mosquitoes/pdfs/mosquito-control-508.pdf>
6. COLOMBIA. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 8430 (4, octubre, 1993). Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Bogotá: El Ministerio. 19 p. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/Dij/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>
7. CULQUICHICÓN-SÁNCHEZ, Carlos; RAMOS-CEDANO, Emanuel; CHUMBES-AGUIRRE, Dorita, ARAUJO-CHUMACERO, Mary; DÍAZ-VÉLEZ, Cristian; RODRÍGUEZ-MORALES, Alfonso. Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) en la vigilancia, prevención y control del dengue. En: Revista chilena de infectología. 2015, vol. 32, no. 3, p. 363-364. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182015000400019>
8. FERNÁNDEZ-SALAS, Ildelfonso; DANIS-LOZANO, Rogelio; CASAS-MARTÍNEZ, Mauricio; ULLOA Armando; BOND, Guillermo; MARINA, Carlos; LOPEZ-ORDÓÑEZ, Teresa; ELIZONDO-QUIROGA, Armando; TORRES-MONZÓN, Jorge; DÍAZ-GONZÁLEZ, Esteban. Historical inability to control *Aedes aegypti* as a main contributor of fast dispersal of chikungunya outbreaks in Latin America. In: Antiviral Research. 2015, vol. 124, p. 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2015.10.015>
9. HAMUI-SUTTON, Alicia; VARELA-RUIZ, Margarita. La técnica de grupos focales. En: Investigación en Educación Médica. 2013, vol. 2, no. 5, p. 55-60. [https://doi.org/10.1016/S2007-5057\(13\)72683-8](https://doi.org/10.1016/S2007-5057(13)72683-8)
10. INOUE, Masashi; HASEGAWA, Shinsaku; SUYAMA, Akihiko; MESHITSUKA Shunsuke. Automated graphic image generation system for effective representation of infectious disease surveillance data. In: Computer Methods and Programs in Biomedicine. 2003, vol. 72, no. 3, p. 251-256. [https://doi.org/10.1016/S0169-2607\(02\)00129-3](https://doi.org/10.1016/S0169-2607(02)00129-3)
11. KROLL, Per; KRUCHTEN, Philippe. The Rational Unified Process Made Easy: A Practitioner's Guide to the RUP. 11. ed. Boston: Addison-Wesley Longman, 2003. 426 p. ISBN 0-321-16609-4. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/937979>
12. LEPARC-GOFFART, Isabelle; NOUGAIREDE, Antoine; CASSADOU, Sylvie; PRAT, Christine; DE-LAMBALLERIE, Xavier. Chikungunya in the Americas. In: The Lancet. 2014, vol. 383, no. 9916, p. 514. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60185-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60185-9)
13. MARQUES-TOLEDO, Cecilia; BENDATI, María; CODEÇO, Claudia; TEIXEIRA, Mauro. Probability of dengue transmission and propagation in a non-endemic temperate area: conceptual model and decision risk levels for early alert, prevention and control. In: Parasites Vectors. 2019, vol. 12, no. 38, 15 p. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-3280-z>
14. MINISTERIO DE SALUD. Norma Técnica de salud para la implementación de la vigilancia y control del aedes aegypti. Vector del dengue en el territorio nacional. RM 797-2010/MINSA. Lima: Dirección General de Salud Ambiental, 2011. 64 p. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4374.pdf>
15. MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA. Manual de Vigilancia y Control de *Aedes aegypti*. Montevideo: OPS/OMS, 2011. 30 p. <https://www.gub.uy/ministerio-salud-publica/comunicacion/publicaciones/manual-vigilancia-control-aedes-aegypti>
16. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Situación de las enfermedades transmisibles objeto de vigilancia intensificada en salud pública. Boletín epidemiológico semanal SIVIGILA: semanas epidemiológicas 1 a 52 de 2010. Bogotá: Minsalud; 2010a. <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Paginas/Vista-Boletin-Epidemiologico.aspx>

17. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Gestión para la vigilancia entomológica y control de la transmisión de dengue. Plan Nacional de Salud Pública. Bogotá: MinSalud; 2010b. 126 p. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/gestion-vigilancia-entomologica-dengue.pdf>
18. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. Análisis de Situación de Salud (ASIS). Colombia, 2021. Bogotá: Minsalud, 2021. 321 p. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/analisis-situacion-salud-colombia-2021.pdf>
19. PALANIYANDI, Masimalai. Need for GIS based dengue surveillance with Google internet real time mapping for epidemic control in India. In: International Journal of Geomatics and Geosciences. 2014, vol. 4, no. 4. p. 132-145. https://www.researchgate.net/publication/265602757_Need_for_GIS_based_dengue_surveillance_with_Google_internet_real_time_mapping_for_epidemic_control_in_India
20. PALANIYANDI, Masimalai; ANAND, Ph; MANIYOSAI, R. GIS based community survey and systematic grid sampling for dengue epidemic surveillance, control and management: a case study of Pondicherry Municipality. In: International Journal of Mosquito Research. 2014, vol. 1, no. 4. p. 30-38. <https://www.dipterajournal.com/vol1issue4/dec2014/5.1.pdf>
21. PALANIYANDI, Masimalai; ANAND, Ph; PAVENDAR, Tamilarasan. Environmental risk factors in relation to occurrence of vector borne disease epidemics: Remote sensing and GIS for rapid assessment, picturesque, and monitoring towards sustainable health. In: International Journal of Mosquito Research. 2017, vol. 4, no. 3. p. 9-20. <https://www.dipterajournal.com/pdf/2017/vol4issue3/PartA/4-2-12-428.pdf>
22. PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION. Zika cases and congenital syndrome associated with Zika virus reported by countries and territories in the Americas, 2015 - 2016. Washington, D.C.: PAHO, 2017. <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2016/2016-dec-29-phe-ZIKV-cases.pdf>
23. RODRIGUEZ-MORALES, Alfonso; BEDOYA-ARIAS, Juan; RAMÍREZ-JARAMILLO, Valeria; MONTOYA-ARIAS, Cindy; GUERRERO-MATITUY Edwin; CÁRDENAS-GIRALDO Erika. Using geographic information system (GIS) to mapping and assess changes in transmission patterns of chikungunya fever in municipalities of the Coffee-Triangle region of Colombia during 2014–2015 outbreak: Implications for travel advice. In: Travel Medicine and Infectious Disease. 2016, vol. 14, no. 1, p. 62-65. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2015.06.009>
24. ROLFHAMRE, Per; GRABOWSKA, Katarzyna; EKDAHL, Karl. Implementing a public web based GIS service for feedback of surveillance data on communicable diseases in Sweden. In: BMC Infectious Diseases. 2004, vol. 4, no. 17, 12 p. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-4-17>
25. SAN-MARTIN, José; BRATHWAITE, Olivia; ZAMBRANO, Betzana; SOLÓRZANO, José; BOUCKENNOOGHE, Alain; DAYAN, Gustavo; GUZMÁN, María. The Epidemiology of Dengue in the Americas Over the Last Three Decades: A Worrying Reality. In: The American Society of Tropical Medicine and Hygiene. 2010, vol. 82, no. 1, p. 128-135. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2010.09-0346>
26. SIMOY, Mario; SIMOY, María; CANZIANI, Graciela. The effect of temperature on the population dynamics of *Aedes aegypti*. In: Ecological Modelling. 2015, vol. 314, p. 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.07.007>
27. SPIEGEL, Jerry; BONET, Mariano; IBARRA, Ana-Maria; PAGLICCIA, Nino; OUELLETTE, Veronic; YASSI, Annalee. Social and environmental determinants of *Aedes aegypti* infestation in Central Havana: results of a case-control study nested in an integrated dengue surveillance programme in Cuba. In: Tropical medicine and international health. 2007, vol. 12, no. 4, p. 503-510. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2007.01818.x>
28. WASH REGIONAL GROUP. *Aedes aegypti* vector control and prevention measures in the context of Zika, Yellow Fever, Dengue or Chikungunya. Technical Guidance. 2016. https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/wash_wcar_group_vector_control_technical_guidance_vs_aedes_08july2016_0.pdf
29. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Vector Surveillance and Control at Ports, Airports, and Ground Crossings. Handbook. Lyon: WHO, 2017. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/vector-surveillance-and-control-at-ports-airports-and-ground-crossings>
30. YASRI, Sora; WIWANITKIT, Viroj. New human pathogenic dengue like virus infections (Zika, Alkhumraand Mayaro viruses): a short review. In: Asian Pacific Journal of Tropical Disease. 2015, vol. 5, no. 1, p. S31-S32. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(15\)60851-9](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(15)60851-9)