

UNIVERSIDAD AGRARIA DE LA HABANA

“Fructuoso Rodríguez Pérez”

Dirección de Informatización



**Plataforma de Cartografía Colaborativa para el manejo de
las arvenses en el agroecosistema de la Granja
Universitaria “El Guayabal”**

Tesis presentada en opción al título de máster en Biomatemática

Autor: Ing. Rider Raúl Espinosa Pérez

Mayabeque, 2022

UNIVERSIDAD AGRARIA DE LA HABANA

“Fructuoso Rodríguez Pérez”

Dirección de Informatización



**Plataforma de Cartografía Colaborativa para el manejo de
las arvenses en el agroecosistema de la Granja
Universitaria “El Guayabal”**

Tesis presentada en opción al título de máster en Biomatemática

Autor: Ing. Rider Raúl Espinosa Pérez

Tutores: Dra. C. Neili Machado García

Dr. C. Heriberto Vargas Rodríguez

Mayabeque, 2022

Agradecimientos

A nuestra Revolución, la cual me ha enseñado el hermoso camino de la Ciencia y de la Técnica.

A la profesora Lucía por permitir mi incorporación a la maestría en Biomatemática, aun cuando la edición había comenzado, y al maravilloso claustro de profesores que nos llevaron de la mano por los senderos del conocimiento.

A mis tutores quienes me brindaron su apoyo y orientación durante la elaboración de este proyecto, y contribuyeron a mi formación profesional.

A mi segundo cotutor y amigo el MSc. Yoangel, por su ayuda incondicional en estos últimos meses de trabajo, y por las largas noches de desvelo para la culminación de la investigación.

A mis amistades, compañeros y hermanos del Departamento, quienes me han brindado de forma amena su apoyo durante este proceso, y nunca dudaron del logro de los objetivos propuestos, aun cuando mis esperanzas estaban a punto de desaparecer.

A los trabajadores y profesores de la Granja Universitaria “El Guayabal”, quienes me apoyaron y colaboraron para la identificación del problema de la investigación, además de brindarme los conocimientos empíricos para el entendimiento del contexto agropecuario en dicha entidad.

A mis padres, por constituir mis principales pilares en este largo proceso, por contribuir diariamente a mi crecimiento como persona y profesional y por nunca haber perdido la fe en mí.

A todos ellos, Muchas Gracias...

Dedicatoria

A mis padres y hermana, que con su inusitada preocupación y desvelo han brindado su apoyo para la culminación de mis estudios, y a su vez para forjar mi mentalidad de hombre creador.

A mi tercera abuela Maritza, por estar presente en los momentos más difíciles de mi vida profesional y por ser un apoyo incondicional.

RESUMEN

En la actualidad, el uso de la Web 2.0 tiene un papel cada vez más activo en la solución de problemas, tomando en cuenta la participación de los usuarios. Debido a sus características y a los medios sociales de comunicación en línea, la Cartografía Colaborativa ha incursionado como un novedoso método de obtención de información, trayendo consigo nuevas formas en la gestión, almacenamiento y análisis de los datos geoespaciales en los Sistemas de Información Geográfica. En la presente investigación, se abordó la aplicación de la Cartografía Colaborativa en el sector agropecuario para contribuir a la supervisión de la flora arvense, la cual se ha caracterizado por ser uno de los tipos de plagas más dañinos. Para ello se desarrolló una plataforma geoespacial basada en la Cartografía Colaborativa para la caracterización y el seguimiento de la flora arvense en el agroecosistema de la Granja Universitaria “El Guayabal”, propiciando la colaboración entre los observadores y los expertos en el tema. Además, se propuso un mecanismo de validación de los datos, basado principalmente en la visualización de la imagen de la infestación.

Palabras clave: Cartografía Colaborativa, Sistemas de Información Geográfica, Flora arvense.

ABSTRACT

At present, the use of Web 2.0 has an increasingly active role in solving problems, taking into account the participation of users. Due to its characteristics and the online social media, Collaborative Cartography has ventured as a new method of obtaining information, bringing with it new ways in the management, storage and analysis of geospatial data in Geographic Information Systems. In the present investigation, the application of Collaborative Cartography in the agricultural sector was addressed to contribute to the supervision of the weed flora, which has been characterized as one of the most harmful types of pests. For this, a geospatial platform based on Collaborative Cartography was developed for the characterization and monitoring of the weed flora in the agroecosystem of the University Farm "El Guayabal", promoting collaboration between observers and experts on the subject. In addition, a data validation mechanism was proposed, mainly based on the visualization of the infestation image.

Keywords: Collaborative Cartography, Geographic Information Systems, Weed flora.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
1.1- Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)	6
1.1.1- Funcionamiento y alcances de los SIG	7
1.1.2- Sistemas de información geográfica como soporte a la agricultura	10
1.1.3- Sistemas de información geográfica participativos	12
1.2- La Cartografía Colaborativa	14
1.2.1- Formas de Creación	15
1.2.2- Campos de aplicación	16
1.2.3- Uso de la Cartografía Colaborativa en la agricultura	17
1.3- Sistemas de Información Geográfica Voluntaria (SIGV)	18
1.3.1- Componentes de un SIGV	18
1.3.2- Metodologías para la creación de un SIGV	20
1.3.3- Recolección de Datos en un SIGV	21
1.4- Flora arvense en los agroecosistemas	22
1.4.1- Características de la flora arvense	22
1.4.2- Metodología de muestreo	23
1.4.3- Identificación de la flora arvense en un contexto participativo	24
1.5- Conclusiones Parciales	28
CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.1- Caracterización del área en estudio	29
2.2- Datos utilizados en la investigación	30
2.3- Metodología utilizada	33

2.3.1- Planificación del objetivo y alcance del Proyecto	33
2.3.2- Identificación de las tecnologías a utilizar	34
2.3.3- Manejo cartográfico de los datos espaciales	35
2.3.4- Diseño del modelo de Base de Datos	36
2.3.5- Supervisión y control de los datos del sistema	36
CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
3.1- Alcance del proyecto GeoArvense.....	37
3.2- Infraestructura técnica propuesta	39
3.3- Modelo para la Gestión de Atributos y Geoespacial	41
3.3.1- Sistema para la Gestión de Atributos	41
3.3.2- Sistema para la Gestión Geoespacial	42
3.4- Procesamiento de los reportes	47
3.4.1 Contribución de observaciones del “Facilitador”	48
3.4.2 Visualización del Mapa de Cartografía Arvense y de Contribución.....	49
3.5- Supervisión y control del sistema.	52
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes de los Sistemas de IGV. Fuente: Tomado y traducido de (Fast y Rinner, 2014).	19
Figura 2: Arquitectura del sistema para el manejo de malezas. Fuente: Tomado y traducido de Rahman et al. (2015).	26
Figura 3: Sitio web para el mapeo de malezas basado en la ciencia ciudadana. Fuente: Tomado de (Newman et al., 2010)	27
Figura 4: Localización geográfica de la Granja Universitaria “El Guayabal”. a) Cuba, b) Provincia Mayabeque, c) Municipio San José de las Lajas, d) Agroecosistema del Complejo Científico Docente. Fuente: Elaborado por el autor.	29
Figura 5: Visualización del Mapa base híbrido de Google Maps. Fuente: Elaborado por el autor.	31
Figura 6: Visualización de la capa de las Áreas del Guayabal en el entorno del software QGIS. Fuente: Elaborado por el autor.	32
Figura 7: Diagrama de la infraestructura propuesta. Fuente: Elaborado por el autor.	40
Figura 8: Catálogo de la Flora Arvense. Fuente: Elaborado por el autor.	41
Figura 9: Modelo de la Base de Datos. Fuente: Elaborado por el autor.	42
Figura 10: Acceso a la función de “Importación de capas”. Fuente: Elaborado por el autor.	43
Figura 11: Visualización y exportación de capas en el módulo Portal Web Geoespacial. Fuente: Elaborado por el autor.	44
Figura 12: Ejemplo de filtrado de los reportes de arvenses entre el (14-10-2022) y (18-10-2022), sin especificar el nivel de infestación. Fuente: Elaborado por el autor.	45

Figura 13: Respuesta del servicio de las observaciones validadas mediante la herramienta Postman. Fuente: Elaborado por el autor.	46
Figura 14: Proceso de autenticación del Sistema GeoArvense. Fuente: Elaborado por el autor.....	47
Figura 15: Acceso a la lista de observaciones realizadas por el usuario observador de la sesión en el Sistema GeoArvense. Fuente: Elaborado por el autor.	48
Figura 16: Interfaz de “Agregar contribución de observaciones” a) en computadora de escritorio y b) en dispositivos móviles. Fuente: Elaborado por el autor.....	49
Figura 17: Cuadro informativo sobre el elemento cartografiado. Fuente: Elaborado por el autor.....	50
Figura 18: Listado de las arvenses identificadas en las observaciones realizadas. Fuente: Elaborado por el autor.	51
Figura 19: Mapa de Cartografía Contribuida. Fuente: Elaborado por el autor.....	51
Figura 20: Esquema del Proceso de Validación de la IGV en GeoArvense. Fuente: Elaborado por el autor.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cantidad de personas por nivel educativo según (Rodríguez et al., 2021).	30
Tabla 2: Servicios de Mapas Bases en formato de teselas por Sitio web.	32
Tabla 3: Descripción de los actores fundamentales.....	37
Tabla 4: Servicios Web del Sistema GeoArvense. Fuente: Elaborado por el autor.	46

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información (SI) pueden ser vistos como un conjunto de metodologías, herramientas y software de aplicación, orientados al tratamiento y administración de datos e información, organizados y listos para su uso posterior, generados para cubrir una necesidad u objetivo (Goes, 2013). La función de los SI consiste en mejorar la capacidad para tomar decisiones, relacionadas con la planificación de la observación y recolección de los datos hasta su almacenamiento y análisis.

Gómez (2018) expone que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) devienen como una herramienta de marcada importancia para la gestión de la información con carácter geoespacial. Es un sistema utilizado para capturar, almacenar, recuperar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas datos referenciados geográficamente o datos geoespaciales, a fin de brindar apoyo en la toma de decisiones con el objetivo de resolver problemas complejos sobre planificación, gestión, manejo especies, recursos naturales, medio ambiente, ecosistemas y otros.

Según González (2013), el elemento principal a la hora de afrontar cualquier proyecto basado en SIG lo constituye la disponibilidad de información y datos geográficos del territorio a estudiar. Esto constituye una herramienta muy poderosa para la gestión de información y su relación con cualquier fenómeno de la realidad que se quiera representar.

En este sentido Recio (2009) considera que las aplicaciones informáticas pueden gestionar la captura, tratamiento y manejo del conocimiento de dos formas características, una es mediante la gestión de grandes conjuntos de datos sobre los que se realiza cierto tipo de abstracción y la otra sería introduciendo conocimiento formal (procedente de documentación técnica) o informal (procedente de expertos humanos) en el sistema.

A pesar de todas las funcionales que brindan los SIG, estos han sido criticados por la falta o carencia de la participación ciudadana en tales proyectos cartográficos. Además, los investigadores y expertos en el tema necesitan el conocimiento de

aquellas personas que están relacionadas de forma social y/o natural con el área a cartografiar (Yan, 2016).

Este conocimiento sería más provechoso en conjunción a las tecnologías de la información y las comunicaciones (computadoras, teléfonos inteligentes, internet basada en la Web 2.0) que les permiten a los usuarios ya sean expertos o aficionados crear contenidos y brindar información sobre cualquier aspecto de su entorno. Ello aporta un conjunto de datos e información sustentadas en las interfaces web para adjuntar la ubicación geográfica a fotografías, textos y otros medios compartidos en línea.

Dicho fenómeno ha sido mencionado en numerosos términos como *Colaboración abierta distribuida*¹ (Howe, 2006), Información Geográfica Voluntaria (IGV) (Goodchild, 2007a) (concepto surgido a través del fenómeno del crowdsourcing (Cetl *et al.*, 2019)) y/o Ciencia Ciudadana (See *et al.*, 2016), revolucionando la adquisición de información geográfica actualizada. Aunque el término más popularizado ha sido IGV o Cartografía Colaborativa (Losada, 2019).

Empoderados por las tecnologías geoespaciales, numerosos ciudadanos sin conocimiento técnico sobre las tecnologías cartográficas actúan como sensores humanos, contribuyendo voluntariamente a observaciones georreferenciadas de acuerdo a una amplia colección de fenómenos sociales y naturales. Tales datos proporcionados por los ciudadanos son colectivamente referidos como Información Geográfica Voluntaria (Goodchild, 2007b y Zhang, 2020).

Las plataformas de la Geoweb² han sido testigos de cómo han revolucionado la manera en la que es creada, mantenida y usada la información geoespacial (Yan, 2016), y por consiguiente ha creado un nuevo tipo de usuario-web (Neogeógrafo) que, aunque generalmente carece de una preparación formal para la geografía y para el uso de las tecnologías geoespaciales, se acopla a la Geoweb para propósitos de productividad (Turner, 2006 y Cinnamon y Schuurman, 2013).

¹ Colaboración abierta distribuida o externalización abierta de tareas.

² El término se refiere a las aplicaciones geoespaciales, servicios y datos que son operados o habilitados a través de la "World Wide Web (www)" (Lake and Farley, 2007).

El empleo de los SIG y la IGV ha alcanzado grandes resultados de los cuales se han beneficiado un gran número de sectores, que van desde la transportación, construcción, supervisión y modelación de ciudades, soporte humanitario hasta la gestión del agua y de la agricultura (Cetl *et al.*, 2019).

En el sector agropecuario hoy en día el empleo de los SIG y la IGV para la gestión de la información constituyen el soporte para el desarrollo de una agricultura sostenible y precisa, permitiéndole al productor un conocimiento detallado de toda la información asociada a cada área o campo para el mejor uso y manejo de los recursos que dispone, así como el manejo integrado de Plagas (González, 2013 y Yan *et al.*, 2017).

Algunas investigaciones se han adentrado en el uso de las tecnologías GeoBI, específicamente en los Depósitos de Datos Espaciales (SDW, por sus siglas en inglés) y los sistemas SOLAP para el análisis de la IGV en la supervisión de la biodiversidad en las tierras agrícolas (Bimonte *et al.*, 2018). Por lo que algunas investigaciones se han inclinado hacia el perfil del manejo integral de plagas en los propios agroecosistemas al decir de Peteira (2020).

De entre los tipos de plaga, la flora arvense ha tenido un gran impacto en las tareas de la agricultura y en los ecosistemas, influyendo de forma negativa en la productividad de los cultivos (Weed and Schwarzländer, 2014) (Fand *et al.*, 2014).

Debido a sus características de resistencia y dispersión, algunas investigaciones de Cartografía Colaborativa se han preocupado y centrado en la identificación de la flora arvense en los agroecosistemas. Esta ardua tarea se ha realizado por diferentes vías, ya sea a través de modelos de contribución de datos para lugares con poca conexión a internet (Gallo and Waitt, 2011), así como mediante el uso de dispositivos móviles (Rahman *et al.*, 2015), lo cual ha permitido lograr un seguimiento del comportamiento de la flora arvense.

Sin embargo, pocas investigaciones han llevado a la práctica el control y la supervisión de la flora arvense en la agricultura usando los SIG, las Geoweb y la IGV en su conjunto como sistemas de apoyo a la toma de decisión oportuna (Yan *et al.*, 2017). Si bien en Cuba se tiene una experiencia en el Manejo Integrado de

Plagas en general y de la flora arvense en particular, así como el trabajo que se viene desarrollando desde hace varios años en la informatización de la sociedad, es incipiente el uso de los sistemas de información geográfica y las Geoweb para el control de las plantas arvenses.

La provincia Mayabeque cuenta con un Complejo Científico Docente especializado en investigaciones agropecuarias, el cual incluye una Granja Universitaria que constituye el escenario tecnológico, científico, docente y productivo para la experimentación de los resultados. Debido a su enfoque fundamentalmente en la aplicación de la ciencia y la tecnología en el campo agrario, la Granja Universitaria “El Guayabal” facilita una formación teórico práctica del más alto nivel en los estudiantes de la UNAH. Es por ello que la identificación y clasificación de la flora arvense basada en la información geográfica voluntaria que pueden aportar a los usuarios de la Granja, mediante de una plataforma web geoespacial, constituyen un valioso recurso para la toma de decisiones en dicha área.

La situación anterior señala el siguiente **problema**: ¿Cómo identificar y caracterizar la flora arvense del agroecosistema de la Granja Universitaria “El Guayabal” mediante la cartografía colaborativa?

Para darle solución al problema científico, se propone la siguiente **hipótesis**: A partir de una plataforma geoespacial apoyada en la cartografía colaborativa, se podrá identificar y caracterizar la flora arvense en el agroecosistema de la Granja Universitaria “El Guayabal”, para facilitar su seguimiento y control oportuno.

El **objeto de estudio** de la investigación aborda las Plataformas de Cartografía Colaborativa en el sector agrícola. La presente investigación se sustenta en la **línea** de Agrofísica y Geoinformática en la Agricultura.

Objetivo General:

Desarrollar una plataforma geoespacial basada en la Cartografía Colaborativa para la caracterización y el seguimiento de la flora arvense en el agroecosistema de la Granja Universitaria “El Guayabal”.

Objetivos Específicos:

- Diseñar una arquitectura de integración de las tecnologías que garanticen la construcción de la plataforma web geoespacial.
- Implementar un mecanismo de reporte de infestaciones que permita la caracterización y el seguimiento de la flora arvense en tiempo real.
- Establecer un procedimiento para la validación de los reportes de la solución propuesta.
- Definir e implementar funcionalidades para el intercambio de datos geográficos compatibles para cualquier SIG.

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1- Los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Las definiciones de SIG desde su surgimiento han variado en dependencia de la visión que se ha tenido de los mismos y del avance tecnológico que ha alcanzado a la humanidad. Según Burrough (1986) es un potente conjunto de herramientas para recolectar, almacenar, recuperar a voluntad, transformar y presentar datos espaciales procedentes del mundo real; mostrándolos como una simple herramienta. También han sido considerados como una entidad organizadora orientada a los Sistemas de Soporte para la Toma de Decisiones en la solución de problemas complejos de Planificación y Gestión, tal y como lo definiera Cowen (1988).

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es definido como aquella herramienta capaz de crear una armonía entre la información geográfica (los mapas, locaciones, entre otras fuentes) y la alfanumérica (estadísticas, catálogos, y demás estudios) para obtener como resultado una determinada información espacial (Domínguez, 2000). Constituido tanto por las fuentes de información como por un conjunto de herramientas informáticas (hardware y software), estos sistemas computarizados son capaces de capturar, almacenar, revisar, analizar y exponer dicha información espacial (geográfica) enmarcada sobre la superficie de la Tierra (GEOJSOnSociety, 2020).

Hasta el momento las definiciones citadas muestran un sesgo o separación de acuerdo a las funciones de los SIG en sus inicios, mientras que dado el desarrollo de los mismos ha llevado a una definición más completa y abarcadora, como es el caso de NCGIA (1990) y Ponce de León y Balmaseda (2004) cuando lo considera como un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelación y presentación de datos referenciados espacialmente para la solución de problemas complejos de planificación y gestión.

Los Sistemas de Información Geográfica se han convertido en la última década en herramientas de trabajo esenciales en el planeamiento urbano y en la gestión de

recursos. Su capacidad para almacenar, recuperar, analizar, modelar y representar amplias extensiones de terreno con enormes volúmenes de datos espaciales le ha situado a la cabeza de una gran cantidad de aplicaciones (Araque, 2012).

En sí mismo un SIG no resuelve un problema, sin embargo, crea un entorno de análisis muy poderoso a decir de González (2013), además, comenta que la capacidad de extraer información y conocimiento dependerá de la claridad de las preguntas formuladas y de los marcos conceptuales de quien opera el sistema.

Según Ponce de León y Balmaseda (2004) los SIG constituyen un factor de integración tecnológica sin limitar el campo de aplicación de las otras tecnologías, siendo a la vez portadores de características propias (ejemplo de ello son la superposición de mapas, el álgebra y la modelación espacial). Lo fundamental en el análisis mediante estos, es la búsqueda de patrones de distribución espacial, la explicación de los fenómenos a través de esos patrones y las predicciones que puedan derivarse del conocimiento del fenómeno mediante tales patrones.

Balaman (2019) considera que son herramientas eficaces para recopilar, almacenar y gestionar datos espaciales mediante mapas, con una amplia aplicación en diferentes áreas del conocimiento, como en el diseño, la planificación y la gestión de sistemas de transporte/logística, el diseño de instalaciones, la especificación y asignación de ubicaciones de recursos, la agricultura, entre otras.

El avance actual de la tecnología de los SIG en conjunto con las múltiples posibilidades de internet y los dispositivos móviles (tales como los teléfonos inteligentes con Sistema de Posicionamiento Global (GPS)) han permitido un cambio paradigmático en la cultura de la sociedad en cuanto a la obtención de información, así como en una mejor comprensión de los patrones y relaciones espaciales por parte de organizaciones y del propio individuo (Kurniadi *et al.*, 2019 y GGeoJSOnSociety, 2020).

1.1.1- Funcionamiento y alcances de los SIG

Según Araque (2012) un Sistema de Información Geográfica funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De

esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía. Estos además integran una serie de componentes claves que deben estar presentes para su correcto funcionamiento como son el Hardware, Software, Datos, Procedimientos y Usuarios.

La información geográfica es a su vez el elemento diferenciador de un Sistema de Información Geográfica a decir de González (2013) frente a otro tipo de Sistemas de Información; así, la particular naturaleza de este tipo de información contiene dos vertientes diferentes: por un lado, la vertiente espacial y por otro la temática de los datos.

Los SIG ofrecen actualmente un gran abanico de aplicaciones, de entre las que se destacan la localización de elementos sobre un mapa virtual, utilizando para ello georreferenciación y geolocalización, el cálculo de rutas que permiten realizar cálculos que permitan conocer el camino óptimo a seguir entre dos o más puntos a decir de (Seguel, 2008). Además, presentan un campo de aplicación muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades que tengan una componente espacial y también posibilitan el trabajo con múltiples factores en formato de capas de información temática o sectorial, y resultan muy útiles para ordenar los datos de forma georreferenciada y evaluar los resultados alcanzados eficazmente.

Los SIG resultan ser aplicables al conocimiento de áreas geográficas, cuyo fin primordial es la toma de decisiones que conlleva a plantear políticas de manejo acordes con el entorno evaluado (Fallas, 2009). Al respecto se evidencia como la mayoría de los países han cartografiado su territorio (catastro, redes y otras informaciones georreferenciadas.), los ministerios han desarrollado proyectos importantes y los organismos especializados han producido numerosos mapas y han adaptado esta cartografía para que sea totalmente utilizable por los Sistemas de Información Geográfica (Araque, 2012).

Un SIG puede proporcionar muchas más capacidades que el simple hecho de mostrar elementos sobre un mapa a decir de Araque (2012), así, podríamos

distinguir tres caminos sobre los que pueden trabajar los Sistemas de Información Geográfica:

- **Bases de datos Geográficas:** Una base de datos geográfica o espacial (GeoDataBase) es un sistema gestor de bases de datos que maneja datos con información textual y datos existentes en un espacio o datos espaciales.
- **Mapas:** Los mapas son el soporte de base de cualquier herramienta que incorpore características SIG. Un Sistema de Información Geográfica se puede ver como conjunto de mapas inteligentes que muestran las características y las relaciones entre estas características almacenadas en una base de datos espacial.
- **Modelado de datos:** Un sistema de Información Geográfica puede ser visto como un conjunto de herramientas de transformación de información que generan nuevos conjuntos de datos de aquellos existentes en el sistema.

Su uso de los SIG está incidiendo de manera notable en tareas medioambientales, a partir de un incremento de la demanda de su aplicación y del cumplimiento de tareas vinculadas al análisis espacial para el manejo de cuencas hidrográficas, en el control de procesos de deforestación, en la identificación y evaluación de riesgo y contaminación (Falcón, 2013).

Un SIG permite según González (2013):

- ✓ Realizar un gran número de manipulaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas, transformaciones de escala, la representación gráfica y la gestión de bases de datos.
- ✓ Comparar eficazmente los datos espaciales a través del tiempo (análisis temporal).
- ✓ Consultar rápidamente las bases de datos, tanto espacial como alfanumérica, almacenadas en el sistema.
- ✓ Efectuar análisis, de forma rápida que hechos manualmente resultarían largos y molestos.

- ✓ Realizar pruebas analíticas rápidas y repetir modelos conceptuales en despliegue espacial.

Es por ello que los sistemas de información geográfica son una herramienta útil en la productividad y competitividad de las empresas agrícolas, mediante la aplicación a tareas que permitan monitorear y mejorar los distintos procesos que se realizan comúnmente en la producción agrícola, como superficie a sembrar, dosis a aplicar, productividad de los trabajadores, comercialización de los productos, así la empresa agrícola puede destinar de manera más eficiente los recursos para mejorar la competitividad y enfoque del mercado (Pérez *et al.*, 2011).

1.1.2- Sistemas de información geográfica como soporte a la agricultura

Los SIG son muy utilizados en la agricultura. El Instituto de investigaciones de sistemas medioambientales(ESRI, por sus siglas en inglés) identifica varias etapas en el proceso de diseño e implementación de un SIG: capturar-analizar, almacenar-desplegar, consultar-crear mapas, con base en los datos almacenados en el sistema (Fallas, 2009).

Los sistemas de gestión de la información mediante el empleo de los SIG constituyen el soporte para el desarrollo de una agricultura sostenible y precisa, necesaria para la agricultura de hoy (González, 2013), lo cual permite al productor un conocimiento detallado de toda la información asociada a cada área o campo para el mejor uso y manejo del recurso suelo y la aplicación de tecnologías apropiadas que garanticen su conservación. Según McKenzie (1990) las personas encargadas de tomar decisiones en las empresas agrícolas deben manejar grandes volúmenes de información de diversas fuentes por lo que se hace necesario el desarrollo de sistemas integrados por Bases de Datos, SIG y Sistemas de Expertos.

Los SIG, desde su surgimiento, han tenido una gran aplicación en el estudio y análisis estadístico para la conservación, supervisión y la toma de decisiones en cuanto al comportamiento de la flora, fauna y de los recursos naturales en los agroecosistemas (Alvarado, 2018). Estudios recientes en el tema (Azevedo *et al.*, 2020, Alvarado, 2018 y García y Villazón, 2021) lo demuestran.

Según Rocha (2005) el área agrícola de los ingenios azucareros es un caso típico donde la dinámica y complejidad de la información que se maneje requiere de un control y actualización constante, por lo que el uso de los SIG permite la visualización de mapas de las áreas, su división en bloques y campos, las vías de acceso, el relieve contribuyendo de esta forma a un mejor análisis de los problemas y facilitando la administración de los recursos.

Por su parte, Fandos *et al.*, (2007) emplean un SIG y la integración de imágenes satelitales para determinar los graves daños por las heladas en los lotes con caña de azúcar en la zafra 2007 en Tucumán, Argentina. Ello les permitió, además, realizar la estimación de la superficie y la producción de caña de azúcar de la zafra 2012 y 2013. Se utiliza y se crea un SIG para generar mapas que ayudan en la toma de decisiones de determinada comunidad, detectando zonas de cultivo apropiadas, tipos de suelo, cobertura boscosa y afectación de los recursos naturales de la zona evaluada (Dalgaard *et al.*, 2003; Mena *et al.*, 2007).

Según Ageringenieros (2007) en la agricultura, las aplicaciones SIG, van dirigidas principalmente en la gestión territorial mediante coberturas digitales del parcelario rústico, análisis del uso de la tierra, aplicación precisa de fitosanitarios y fertilizantes mediante el uso conjunto de estos y los sistemas de posicionamiento global (GPS) en explotaciones agrarias.

Según Bezos (2009) la información alfanumérica en correlación con la información geográfica proporcionada por los SIG brinda la ayuda, en los procesos de toma de decisión para la gestión del territorio, de una manera clara y sencilla ya que permite ver el resultado global sobre un mapa de manera gráfica. Su apoyo en la toma de decisión proporciona una seguridad que se transforma en ganancia de tiempo y dinero. Esto es posible gracias a la posibilidad de visualizar múltiples circunstancias que afectan al territorio y analizar las consecuencias de cada decisión teniendo en cuenta todas esas circunstancias.

En el caso de Azevedo *et al.*, (2020) la investigación se centró en la supervisión de la dinámica del hábitat de pumas, que eran afectados por actividades agrícolas del hombre mediante el empleo de estas novedosas herramientas de análisis. De igual

forma Alvarado (2018) demostró el eficiente trabajo de la aplicación de estos sistemas de información en el análisis geográfico conjunto de la flora y fauna para evaluar la distribución espacial de una plaga de insectos bajo diferentes estados de diversidad florística en agroecosistemas cafetaleros. Otros estudios se han enfocado en el análisis de indicadores del suelo para mejorar el rendimiento de la producción, así como la realización de predicciones de variabilidad en los agroecosistemas. Dichas investigaciones se han apoyado en el uso de programas como el **QGIS** para determinar los índices de espectrales de la salinidad de un área determinada (García y Villazón, 2021).

Algunos proyectos cartográficos en Cuba han llevado presentes el sector de la agricultura mediante la incursión del cultivo de la caña de azúcar usando un Sistema de Información Geográfica (Pérez *et al.*, 2019) con el fin de aumentar la eficiencia productiva del azúcar. El empleo de sistemas de información geoespaciales en estos momentos es de carácter estratégico para el Grupo Empresarial Azucarero AZCUBA pues desde el 2011 ha venido trabajando junto a otros organismos implicados y las empresas cañeras, para dar cumplimiento a un acuerdo de la comisión del Buró Político y el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros González (2013).

Chinea *et al.* (2007) refiere que los sistemas de información geográfica son muy útiles para expresar la salida final del Servicio Fitosanitario (SEFIT) que presta el Instituto Nacional de la Caña de Azúcar (INICA) a las unidades productoras del Ministerio del azúcar, permitiéndole expresar mediante la elaboración de mapas temáticos la situación fitosanitaria de las plantaciones cañeras comerciales y relacionar los daños por plagas.

1.1.3- Sistemas de información geográfica participativos

A pesar de las funcionales que brindan, los tradicionales SIG han sido criticados por la falta o carencia de la participación ciudadana en tales proyectos cartográficos, como entes que pueden aportar en la gestión del conocimiento en las áreas a cartografiar. Desde esta perspectiva se obtiene una información enriquecedora para el trabajo cartográfico que realizan los investigadores y expertos (Yan, 2016). Según

Lima *et al.* (2010) los SIG han evolucionado a favor de la ciencia experimental y se consideran como una herramienta potente para manipular, organizar y procesar una amplia gama de información georreferenciada.

Históricamente, la identificación y el ordenamiento del territorio han estado en manos de instituciones especializadas en el tema por lo general, al decir de Rojas (2016), quien además expresa que, la producción cartográfica restringida al ámbito oficial o convencional, con un mayor énfasis en aspectos físicos y políticos, y en menor medida a los socioculturales. Considerándose la principal forma de entrada de datos, al proceso de identificar y reunir los datos necesarios para una aplicación específica; incluye: mapas, cuadros, figuras, datos digitales existentes (datos de población, topografía, hidrología, clima, vegetación, infraestructura pública, etc.) por parte de un especialista (Gómez y Barredo, 2005)

La fundamentación de la cartografía participativa comenzó a girar en torno al concepto de modelo de desarrollo enfocado en las personas, que se originó en los años 70 del pasado siglo, donde se entiende a la ciudadanía como el centro de la toma de decisiones en cuanto a planificación y desarrollo de políticas, dándose a conocer sus necesidades mediante la participación (Llorente, 2012). Para Rojas (2016) la cartografía participativa es una técnica de investigación que se fundamenta en la Investigación-Acción-Participativa, cuyo eje es el espacio geográfico. De manera reflexiva, las personas se incorporan en la construcción de conocimiento y en el diseño de los proyectos de intervención, lo que les posibilita ser sujetos activos de la transformación de su realidad social.

Según González (2013), las tecnologías geoespaciales participativas ofrecen herramientas que promueven la inclusión de la población en el desarrollo y uso de la información espacial. Por lo tanto, el conocimiento del contenido geográfico facilita la gestión del territorio y mejora la apreciación, concienciación y buen uso por parte del usuario. Rojas (2016) manifiesta que el desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones ha dado lugar al surgimiento de un gran número de herramientas tecnológicas en disímiles campos de actuación.

Asociado a este fenómeno autores como Chuvieco *et al.* (2005) consideran dentro del enfoque neopositivista de la geografía, el surgimiento de las tecnologías de información geográfica (TIG), que ha ayudado enormemente al desarrollo de nuevos métodos de análisis espacial, así como una mayor efectividad en la obtención, procesamiento (tratamiento) de información espacial georreferenciada.

Este enfoque ha permitido un cambio en el paradigma de los tradicionales SIG en la forma de adquirir la información, a una nueva y moderna forma; que permite una participación más activa de la sociedad, con resultados positivos en su aplicación. Es por ello que constituye un avance tanto tecnológico como intelectual, fundamentalmente en el ámbito geográfico, que posibilita los diferentes estudios sobre la realidad (Mondragón, 2019) y una mejor comprensión de los patrones y relaciones espaciales por parte de organizaciones y del propio individuo (Kurniadi *et al.*, 2019 y GGeoJSOnSociety, 2020).

En Cuba con el desarrollo de estas tecnologías se ha ido implementando el enfoque participativo en los SIG tradicionales, que aún es muy incipiente, siendo la empresa Geocuba³ pionera en su asimilación para el control y verificación de los principales cultivos de determinadas regiones en el país (García, 2020).

1.2- La Cartografía Colaborativa

Empoderados por las tecnologías geoespaciales, numerosos ciudadanos ordinarios (sin conocimiento técnico sobre las tecnologías cartográficas) actúan como sensores humanos, contribuyendo voluntariamente observaciones georreferenciadas de acuerdo a una amplia colección de fenómenos sociales y naturales. Tales datos contribuidos por los ciudadanos son colectivamente referidos como Información Geográfica Voluntaria (IGV) o Cartografía Colaborativa (Goodchild, 2007b y Zhang, 2020). Verplanke *et al.* (2016) plantea que aún no se

³ Grupo Empresarial GEOCUBA es una asociación de empresas estatales. Fue creado como resultado de la integración del Instituto Cubano de Hidrografía y del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. Tiene la finalidad de elaborar y comercializar información, tecnologías, productos y servicios en las esferas de: la Geodesia, la Fotogrametría, la Teledetección, la Hidrografía, los Estudios Marinos, la Cartografía, los Estudios Medioambientales, las Artes Gráficas y la Ayuda a la Navegación Marítima; para satisfacer necesidades del mercado relacionadas con el estudio y utilización del medio geográfico

ha llegado a un consenso para determinar el término apropiado de este nuevo enfoque, lo cual ha conllevado al surgimiento de diferentes formas de expresarlo; siendo alguno de estos: SIG de Participación Pública, SIG Participativo (SIGP), Información Geográfica Voluntaria (IGV), SIG con Comunidad-Integrada (SIGCI⁴), etc., las cuales pueden ser referenciadas como subconjuntos de SIGP (Ndzabandzaba, 2019).

Esta actividad ha involucrado a muchos colaboradores con diversas motivaciones y propósitos al decir de Craglia *et al.* (2012); Cinnamon y Schuurman (2013) y Basiouka y Potsiou (2014). Además, estas plataformas han fomentado el intercambio de datos, las referencias cruzadas y la comunicación en el ciberespacio, así como en cierta medida la difusión gratuita de información puede motivar y sostener la participación de los usuarios (Goodchild, 2007b y Basiouka y Potsiou, 2014).

Por esta razón, dichas plataformas de la Geoweb⁵ han sido testigos de cómo han revolucionado la manera en la que es creada, mantenida y usada la información geoespacial (Yan, 2016), y por consiguiente ha creado un nuevo tipo de usuario-web (Neogeógrafo) que, aunque generalmente carece de una preparación formal para la geografía y para el uso de las tecnologías geoespaciales, se acopla a la Geoweb para propósitos de productividad y entretenimiento (Turner, 2006 y Cinnamon y Schuurman, 2013).

1.2.1- Formas de Creación

Según el criterio de Goodchild (2007a) la IGV depende del método de contribución de los datos generados por los usuarios a través de las múltiples plataformas de internet. Yan (2016) a través de sus investigaciones sobre el tema, identificó tres formas de creación, las cuales se muestran a continuación:

- ✓ **Información geográfica voluntaria Activa:** ocurre cuando los participantes deben contribuir conocimientos personales u observaciones locales

⁴ Las siglas reales en inglés sería CIGIS por Community-Integrated GIS.

⁵ El término se refiere a las aplicaciones geoespaciales, servicios y datos que son operados o habilitados a través de la "World Wide Web (www)" (Lake and Farley, 2007).

(Goodchild, 2007a) a través de los diferentes “llamados a la participación” para el completamiento de micro-tareas con propósitos específicos, con total conciencia del objetivo de la contribución (See *et al.*, 2017). Estas contribuciones no son ni indemnizable ni forzadas. Algunas plataformas como Open Street Map, Wikimapia y Flickr se encuentran en esta categoría.

- ✓ **Información geográfica voluntaria Pasiva:** ocurre cuando los datos son contribuidos de manera implícita, esto quiere decir que “hacer contribuciones” no es la primera intención del creador de los datos, y a menudo, no son ni conscientes de que la información que están compartiendo puede ser usada para otros propósitos (Craglia *et al.*, 2012). Yan (2016) señala que dos ejemplos de este caso son las plataformas sociales Facebook y Twitter. De acuerdo con (Cetl *et al.*, 2019), en la tarea de colección de datos pasivos, es necesario considerar cuáles sensores pueden registrar la información necesitada, las áreas que serán cubiertas y el tipo de participante más adecuado para registrar la información.
- ✓ **Información geográfica voluntaria Facilitada:** investigadores como Yan, (2016), Cinnamon y Schuurman (2013) y Seeger (2008) plantearon que es un modelo asistido de contribución de datos, es decir, un grupo selecto de participantes (con las habilidades necesarias) se les encomienda contribuir datos geoespaciales, de acuerdo a criterios o preguntas predefinidas para alcanzar un objetivo enmarcado en una extensión geográfica determinada.

1.2.2- Campos de aplicación

Investigaciones y análisis realizados por Yan *et al.*, (2020) sobre la información geográfica voluntaria en la última década, han demostrado resultados satisfactorios en diferentes esferas de actuación, tal es el caso de las ciencias sociales, los servicios basados en localización, el tema del Uso de Tierra / Cobertura de Tierra, y en la supervisión medioambiental, entre otras.

El creciente auge de las plataformas de la Geoweb 2.0 para proveer soluciones en la esfera de las comunicaciones han facilitado el desarrollo de propuestas basadas en esta novedosa forma de aplicación de los SIG (Tully *et al.*, 2015) . Esto resulta

sumamente útil y complementa estudios en los que se analiza el uso y cobertura de Tierra y la supervisión medioambiental de determinadas especies (por ejemplo: plagas, aves, roedores, etc.), que influyen en un agroecosistema.

Además con el uso efectivo de una plataforma de tal proyección, se puede obtener una variada e instantánea diseminación de información sobre escenarios críticos (por ejemplo: los brotes de plagas), permitiendo el intercambio de datos entre todos los interesados en el control de dichas plagas, para lograr así una retroalimentación de los propios participantes de una manera más efectiva (Yan *et al.*, 2017).

1.2.3- Uso de la Cartografía Colaborativa en la agricultura

La aplicación de la información geográfica voluntaria o cartografía colaborativa en las investigaciones han alcanzado grandes resultados, de los cuales se han beneficiado un gran número de sectores que van desde la transportación, construcción, supervisión y modelamiento de ciudades, soporte humanitario hasta la gestión del agua y la agricultura (Cetl *et al.*, 2019). El sector de la agricultura ha incursionado en la colaboración en línea para el mejoramiento de sus funciones y la creación de nuevos paradigmas en la gestión de los recursos alimentarios al decir de Fast y Rinner (2018), así como en el Manejo Integrado de Plagas (MIP) (Yan *et al.*, 2017); apoyados en las recientes tecnologías de los SIG, plataformas y proyectos de la Geoweb.

Según los criterios de Bontemps *et al.* (2012) y Olteanu-Raimond *et al.* (2020) mayormente, estas plataformas basadas en el uso y cobertura de la tierra han permitido el estudio de la cobertura de la superficie biofísica de la Tierra, y sobre todo de las observaciones de las distintas maneras en la que la tierra es utilizada por el hombre. Investigaciones realizadas por Hulbert *et al.* (2017) incluyen un especializado monitoreo para la temprana detección y facilitación de ágiles respuestas ante las invasiones de nuevas especies arvenses (ver epígrafe 1.4), probado el uso eficiente de los proyectos de Ciencia Ciudadana en los agroecosistemas (Ebitu *et al.*, 2021)

1.3- Sistemas de Información Geográfica Voluntaria (SIGV)

Bajo la influencia y las líneas de investigación de los SIG este enfoque participativo y sobre todo apoyado por la Colaboración Abierta Distribuida, posibilita un cambio en la metodología tradicional encaminado al aprendizaje exploratorio y experimental desde la información geográfica voluntaria (Sieber, 2006; Neumann *et al.*, 2012; Fuenzalida, 2015 y Gómez *et al.*, 2016a). Este nuevo enfoque expande la visión conceptual y práctica más allá de la simple consideración de la infraestructura técnica y de la colección de datos recopilados que incluye las interconexiones críticas entre las metas del proyecto y los participantes (Fast y Rinner, 2018).

Esta perspectiva imita al esquema de los SIG anidados que propone Chrisman, (1997) citado por Fast y Rinner, (2014), el cual se basa en incorporar más allá de la secuencia típica “entrada-procesamiento-salida” a un proceso dirigido a las interconexiones principales con el contexto social, cultural e institucional. Señala que este enfoque interconectado es muy importante para la IGV al desarrollar sistemas basados en contribuciones de la comunidad que amplifica las existentes demandas y expectativas en el contexto humano. Estas plataformas fomentan el intercambio de datos, las referencias cruzadas y la comunicación en el ciberespacio. Dicha difusión gratuita de información en cierta medida puede motivar y sostener la participación de los usuarios (Goodchild 2007b; Basiouka y Potsiou, 2014).

1.3.1- Componentes de un SIGV

Según Fast y Rinner (2014) los SIGV están considerados como un ambiente para la realización de información geográfica voluntaria. Estos sistemas están conformados por componentes interdependientes con interacciones dirigidas a consideraciones técnicas, contextuales y organizacionales, al imitar los anillos anidados de Chrisman (1997). Además, estas consideraciones dentro de cada componente, tienen un impacto sustancial en el Sistema.

A continuación, se especifica en que consiste cada componente:

- **Componente Proyecto:** estos sistemas son a menudo iniciados para dar solución a un problema o un propósito, y son ejecutados a través de un proyecto. Estos proyectos pueden ser causados por un evento, tal como una

crisis política o un desastre natural. A pesar de las motivaciones iniciales, el objetivo y la estrategia de este tipo de sistema necesitan ser claramente definidos al principio del proyecto, sino podrían terminar sin propósito alguno.

- **Componente Participante:** dentro del área de aplicación, los creadores del proyecto necesitan identificar a aquellas personas que coleccionarán la IGV. Obviamente, la estrategia de participación varía sustancialmente entre los proyectos, sobre este tema, Haklay (2013) señaló que el rol de los voluntarios podía ser “activo” o “pasivo”; mientras que Yan (2016 y 2017) en sus estudios considera un tercer rol “el facilitado”.
- **Componente Infraestructura Técnica:** es donde se soporta la creación de la IGV y cada sistema depende de una única selección de componente hardware y software. Esta combinación de la infraestructura desplegada depende del tipo de IGV deseada y varía según el proyecto. El hardware puede incluir computadoras, servidor y cliente, dispositivos de localización GPS y teléfonos inteligentes; mientras el componente software puede incluir programas de código abierto y propietario.

Entonces, dichos componentes están dispuestos de tal forma que involucra al proyecto con sus creadores, los participantes (los voluntarios) y la infraestructura técnica, como se puede observar en la Figura 1.

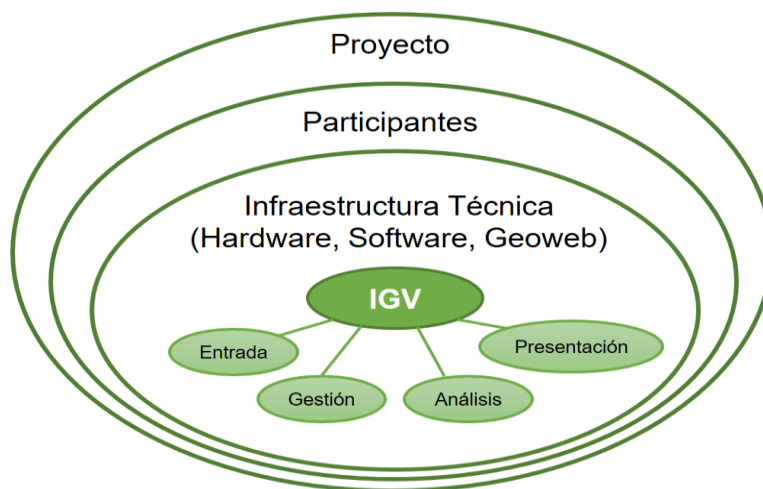


Figura 1: Componentes de los Sistemas de IGV. **Fuente:** Tomado y traducido de (Fast y Rinner, 2014).

Aunque existen una gran multitud de funcionalidades dentro del espectro de los SIGV, Fast y Rinner (2014a) definieron los principales grupos funcionales (en analogía para los SIG tradicionales): entrada, gestión, análisis y presentación.

1.3.2- Metodologías para la creación de un SIGV

Las investigaciones geográficas voluntarias han demostrado su potencial para el soporte y el intercambio de conocimiento a través de diferentes personas y temas, como la supervisión del medioambiente, la agricultura, entre otros. Para llevar una correcta administración de la misma, es necesario el establecimiento de metodologías para crear una mayor participación sobre estos sistemas y así crear, de manera deliberada, nuevas estrategias de participación que puedan guiar a un mayor entendimiento del tipo de IGV creada (Fast y Rinner, 2014). Es por ello que muchos estudiosos en el tema se han adentrado en la definición de metodologías y métodos para su desarrollo.

Gómez et al. (2016) elaboraron una flexible metodología para el diseño y desarrollo de estos sistemas, que se apoyó principalmente en la idea de que el desarrollo de SIGV puede funcionar en ciclos iterativos de diseño-desarrollo-despliegue para lograr una retroalimentación y aprender de la ejecución y de los resultados de otros sistemas para así mejorar el nuevo que se crea. Este marco de trabajo propuesto sigue los principios ágiles y adaptativos que deberían ser aplicados en las fases de implementación en respuesta a los cambios en las demandas de participación y de herramientas tecnológicas. Estas etapas son:

- Inicio del Proyecto.
- Planificación del proyecto.
- Diseño del proyecto.
- Planificación de la participación.
- Diseño de la Participación y Compromiso.
- Planificación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC).

- Diseño de las TIC.
- Desarrollo y despliegue de las TIC y del proyecto.
- Supervisión y control del sistema.

Por otra parte, autores como (Fast y Rinner, 2018) han utilizado su propio enfoque metodológico para resolver problemas en un campo específico de gran importancia como el sector alimentario. En su investigación, expresa que el sistema de información geográfica voluntaria creado compromete a todos los interesados en este sector, para así crear nueva información sobre los recursos alimentarios pertenecientes a la Región de Durham en Ontario, Canadá.

Estando motivada su aplicación en el rápido crecimiento de la región de Toronto al Oeste, lo cual provoca una inminente pérdida de las principales tierras destinadas para la agricultura. Primero, define el proyecto al cual va estar dirigido el sistema; por consiguiente, determina quienes serán los participantes y sus roles determinados. Luego, propone la infraestructura de la Geoweb y la base de datos, utilizando plataformas como Crowdmap⁶ y finalmente detalla las funciones que tendrá el sistema (Fast y Rinner, 2018).

Muchas otras investigaciones se han llevado a cabo para determinados problemas enfocados en la obtención y análisis de la IGV en sistemas (Ding y Fan, 2019; Bimonte et al., 2018; Zhang et al., 2020; Sun et al., 2018 y 2019) y de entre ellas, algunos trabajos se han dirigido hacia a la supervisión de la flora arvense a través de la llamada Ciencia Ciudadana.

Debido a este nivel de colaboración en línea con motivos investigativos, los conceptos de Información Geográfica Voluntaria y Ciencia Ciudadana se solapan, y se pueden utilizar indistintamente (Baumber et al., 2018).

1.3.3- Recolección de Datos en un SIGV

Los proyectos colaborativos sin importar el objetivo que estos tengan, se han adaptado tomando en cuenta sus metas, el tipo de participante involucrado y la

⁶ Es la versión host de la plataforma Ushahidi (no requiriendo de la instalación del software Ushahidi en el servidor local)

infraestructura técnica (software y hardware). El método de colección de la IGV es muy variado, siempre y cuando cumpla con el mínimo requisito: el uso de herramientas en línea (Baumber *et al.*, 2018); donde esta recolección (como parte de la infraestructura técnica) está indisolublemente unida al rol adoptado por los usuarios. En un contexto de cartografía facilitada por modelos de contribución, proyectos como el llevado a cabo por Gallo y Waitt (2011) los datos se recogen en un modelo y luego son introducidos en la plataforma en línea para su posterior validación y análisis.

1.4- Flora arvense en los agroecosistemas

Las plantas arvenses o malezas constituyen aquella vegetación que emerge a la par o por encima de las plantas cultivables y que, gracias a su alta competitividad por recursos como el agua, la luz del sol y los nutrientes del suelo, impiden el desarrollo normal de los cultivos, y por consiguiente disminuyen sus rendimientos y calidad (Blanco, 2016 y Rahman *et al.*, 2015).

Las arvenses son plagas del suelo que reducen la capacidad productiva de los cultivos agrícolas en la que el productor gasta gran cantidad de tiempo, recursos y economía en la reducción y eliminación del potencial de especies dominantes que durante gran parte del año son habitantes fijas en los campos (Blanco, 2016). Además, Liu *et al.*, (2009) y Solano y Gúzman (2020) expresan que estas malezas compiten e interfieren con la producción por ser consumidoras de agua, nutrientes y ocupar parte del espacio vital, además de ser fuente y reservorio de plagas como insectos, ácaros, hongos, nematodos, bacterias y virus. Estas plantas causan pérdidas anuales en el orden de 125 millones de toneladas de alimento en países en desarrollo, donde los pequeños agricultores consumen más del 40 % de su tiempo laboral en actividades de desyerbe, con una reducción de hasta más del 50 % de su potencial productivo (Labrada *et al.*, 1996).

1.4.1- Características de la flora arvense

Algunos autores como Labrada y Parker, (1996) se han referido a este tipo de flora, tomando en cuenta la situación agrícola, como plantas indeseables, y la han denominado como el componente económico más importante (dañino) dentro del

amplio espectro que constituye el concepto de “plaga”. Esto es debido a que, además de la competencia establecida entre las especies cultivables, las malezas no solo pueden producir sustancias nocivas (compuestos bioquímicos) para el cultivo, sino también servir de hospederas a otros tipos de plagas (enfermedades e insectos) perjudiciales para el cultivo (Perniola *et al.*, 2019 y Torres *et al.*, 2022).

La facilidad de dispersión e infestación de las arvenses es atribuida a su estructura, la cual le permite propagarse a través el viento, los animales (ganchos, sustancias adherentes, excretas), el agua (por flotación) o por contaminación de semillas al recoger la cosecha así como la autopropulsión (Solano y Gúzman, 2020 y Blanco y Leyva, 2007), aunque también los propios agricultores colaboran con la diseminación (por medio de la adherencia en la ropa y el calzado) al decir de Torres *et al.* (2022). Acorde a Blanco (2016), las plantas arvenses, según su ciclo vital y su permanencia en el área, se clasifican en anuales, bianuales y perennes. Las anuales y bianuales fructifican y producen semillas por una sola vez, mientras que las perennes fructifican varias veces durante su ciclo de vida (Aguirre *et al.*, 2019).

1.4.2- Metodología de muestreo

En la literatura se recogen varias formas de evaluar el nivel de infestación de las arvenses en el agroecosistema; una de estas es mediante el método de porcentaje de cobertura, que se realiza mediante la determinación de las especies dominantes y predominantes (escala de cuatro grados) propuesto por el académico soviético A. I. Maltsev y modificado por (Pérez *et al.*, 2008). Siendo considerado como uno de los más prácticos, sencillos y confiables para la toma de datos en el monitoreo de las arvenses presentes en las áreas agrícolas, además de que se puede emplear en cualquier momento.

Los enmalezamientos pueden clasificarse de acuerdo al grado de cubrimiento por especies o las asociaciones de estas que están presentes al momento de realizar el monitoreo. Para ello se emplea la siguiente escala de cuatro grados:

- Grado 1. Enmalezamiento ligero (de 1 hasta un 5 % de cobertura).
- Grado 2. Enmalezamiento medio (de 6 a 25 % de cobertura).

- Grado 3. Enmalezamiento pesado (de 26 a 50 % cobertura).
- Grado 4. Enmalezamiento muy pesado (mayor del 50 % cobertura).

Para lo anterior se recorrerá el campo por las diagonales de este, si las condiciones del terreno, el crecimiento del enmalezamiento o el cultivo precedente lo permiten. Se tomarán ocho puntos de observación por campo más uno adicional por cada hectárea (ha) que tenga el área a evaluar. Si no es posible el recorrido por las diagonales, entonces se realiza en zig zag, se determina ocho puntos a muestrear por campo, más un punto adicional por cada ha, se anotan la composición de especies por cada punto y las especies encontradas, el grado que representa cada una y el grado general del campo como sumatoria de las especies observadas.

Según (Rodríguez *et al.*, 2014), en el uso práctico de la escala, se establece visualmente el área a evaluar, ya sea todo el campo, en el caso de los granos; hortalizas y viandas; en ruedos o bandas (cítricos y frutales, plátanos viandas y frutas) y que representan el 100 % de cobertura. Se estima de forma general, la proporción del área total que está cubierta por cada especie y el total de malezas como sumatoria de todas las especies.

Con este método es posible conocer el porcentaje de cobertura de las malezas en el campo. Lo primero que hacemos es determinar los puntos a evaluar en función de la superficie, luego se recorre el campo por las dos diagonales y en el primer punto nos paramos y anotamos en la planilla de datos todas las especies que aparezcan con su nombre vulgar y el científico si se conoce con su porcentaje de cobertura individual, en un radio de tres a cinco metros que abarca la visualidad del técnico o productor que evalúa. Al terminar el primer punto, se sigue caminando por la diagonal del campo hasta el siguiente punto y se repite la observación hasta terminar los puntos planificados según el área de cada campo. Esta evaluación se hace en base a una estimación visual del porcentaje de cobertura de las especies predominantes.

1.4.3- Identificación de la flora arvense en un contexto participativo

Una de las pautas principales en el Manejo Integrado de Plagas (MIP) en los Agroecosistemas es la identificación de las plagas claves y los organismos

beneficiosos al cultivo. Este principio ha traído consigo el desarrollo de mejores estrategias de control para la determinación de los umbrales económicos y el despliegue de modelos predictivos (Padhy, 2020).

Labrada y Parker (1996) resaltan, además, que la identificación de las malezas constituye una tarea necesaria, sobre todo en áreas perturbadas por herbicidas, y que conociendo sus características y el nivel de infestación, se tendría un mejor nivel de precisión para elegir el tratamiento a utilizar. Dicha labor podría apoyarse en la consulta de fuentes de información sobre el tema en muchos países y regiones del mundo.

Estas estrategias de manejo han tomado un perfil más participativo para la identificación y control de las plagas; ya que complementa el conocimiento de los agricultores y de los expertos para mejorar la comunicación de los problemas que pueden ocasionar las malezas y la mejor forma de combatirlas. Algunos ejemplos de este enfoque incluyen principalmente a la Escuela de campo para agricultores, Seminarios estructurados y Congresos de Agricultores, entre otros (Labrada y Parker, 1996; Peshin y Dhawan, 2009a, 2009b; Yan *et al.*, 2017 y Padhy, 2020). La necesidad de dichas fuentes de información, tomando en cuenta los avances de los medios de comunicación, se prolonga más allá del conocimiento de la aparición de malezas en el mundo, siendo de gran importancia también el modo para permitir que esa información esté libre y disponible para el público interesado en el tema (Gallo y WaiTT, 2011).

Un proyecto enfocado a la IGV puede permitir la recolección de datos generalizados de plagas en tiempo real y a un costo efectivo por medio del público en general. Además se puede obtener una variada e instantánea diseminación de información sobre escenarios críticos (por ejemplo: los brotes de plagas), permitiendo el intercambio de datos entre todos los interesados en el control de dichas plagas, para lograr así una retroalimentación de los propios participantes de una manera más efectiva (Yan *et al.*, 2017). Por otro lado, se han utilizado aplicaciones en teléfonos inteligentes para llevar a cabo dichas tareas de recolección, tal es el caso de (Rahman *et al.*, 2015). En esta investigación para la identificación de malezas de

forma jerárquica, participaron aquellos agricultores con un determinado conocimiento empírico sobre el tema, y determinados expertos de la zona.

El reporte del avistamiento de un tipo de maleza se realizaba mediante una imagen geo-etiqueta, agregándole otros datos (comentarios y audios) y donde cada reporte era transferido a la base de datos para luego llevar cabo un procesamiento de identificación de imágenes que involucraba a los expertos, como se puede observar en la Figura 2.



Figura 2: Arquitectura del sistema para el manejo de malezas. **Fuente:** Tomado y traducido de Rahman *et al.* (2015).

El Sistema de Información Geográfica Participativo desarrollado por Newman *et al.*, (2010) no tiene un modelo de contribución predefinido, dándole la posibilidad a los propios usuarios involucrados en determinados proyectos de introducir cualquier cantidad de datos o de observaciones sobre la flora arvense, ya sea en los propios alrededores urbanos como en los agroecosistemas.

Como se puede observar en la Figura 3 la recolección de los datos y el proceso de validación de los mismos se realiza mediante un sitio Web.



Figura 3: Sitio web para el mapeo de malezas basado en la ciencia ciudadana. **Fuente:** Tomado de (Newman *et al.*, 2010)

En Cuba, la sanidad vegetal ha sido desarrollada con una tendencia agroecológica, tomando en cuenta las demandas del sector agrario con variadas contribuciones, entre ellas el manejo de los problemas de plagas que ocurren en los diferentes cultivos mediante la capacitación de agricultores, formación de talentos humanos, desarrollo de investigaciones, entre otros logros favorecidos por la política del estado cubano (Vázquez, 2006).

A través de las diferentes instituciones académicas como la Universidad Agraria de La Habana y de instituciones investigativas como CENSA, INCA, etc. se ha llevado a cabo proyectos para la mitigación de ciertas plagas en determinados cultivos de la propia provincia de Mayabeque. Un ejemplo es la investigación realizada por (Miranda, 2019) para el pronóstico de la distribución de las principales plagas de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en escenarios climáticos futuros o el que desarrollara (Peteira, 2020) relacionado con la resistencia de las plantas como una de las alternativas más apropiadas para el manejo de las plagas, teniendo en cuenta su impacto sobre el ambiente.

1.5- Conclusiones Parciales

Teniendo como referencia el funcionamiento de los sistemas y métodos propuestos en investigaciones realizadas por varios autores se arriba a las siguientes conclusiones:

1. Los sistemas de información geográfica poseen una amplia aplicabilidad a las diferentes esferas de conocimiento, brindando un soporte ágil para la toma de decisiones, siendo de amplia utilidad en el sector agropecuario.
2. La cartografía colaborativa ha mostrado una nueva forma de recopilar información al ofrecerle participación a las personas en el proceso, como emisores de información sobre un determinado fenómeno económico, social, medioambiental, etc.
3. El manejo integrado de plagas y en particular el de las plantas arvenses es de suma importancia en los agroecosistemas para lograr un equilibrio adecuado del mismo y obtener óptimos resultados en los cultivos.
4. Aunque en la actualidad se aprecia el auge de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones, y la importancia de este nuevo enfoque participativo de la cartografía, son incipientes los estudios que lo han llevado a la práctica, dejando un amplio abanico de posibilidades de investigación.
5. La toma y subida a la plataforma de una foto de la planta arvense al momento de hacer un reporte es de suma importancia, no solo como registro visual o elemento clave en la supervisión por parte de los especialistas o expertos en el tema, sino también como una vía de aprendizaje visual para las personas.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

Para la construcción de la plataforma geoespacial se hace necesario el uso de dos tecnologías, por una parte, el componente informático y por otra el componente geográfico; de ahí que el proyecto necesite la integración de estas dos aristas para su funcionamiento. Es por ello que en este capítulo se definen los materiales empleados para el desarrollo de la investigación tales como: la información geoespacial del área de estudio, las herramientas de software libre que permiten la construcción de la plataforma y se analizan las potencialidades y características de cada una de ellas. Además, se describe la metodología empleada para el desarrollo y validación del sistema.

2.1- Caracterización del área en estudio

La Granja Universitaria “El Guayabal” se encuentra enclavada en el municipio San José de Las Lajas de la provincia Mayabeque, entre los poblados de Jamaica, Cuatro Caminos y Tapaste; entre los $23^{\circ} 01,3990'$ y $22^{\circ}58.7832'$ de latitud Norte y entre los $082^{\circ}08,1647'$ y $082^{\circ}11.9474'$ de longitud Oeste (Sistema de coordenadas de referencia Cuba Norte, según la Proyección Cónica Conforme de Lambert) ver Figura 4.

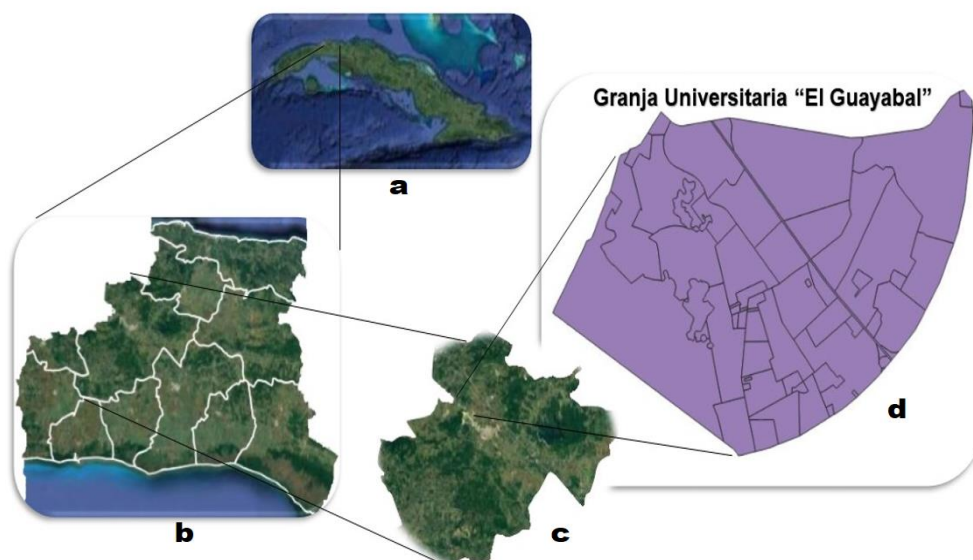


Figura 4: Localización geográfica de la Granja Universitaria “El Guayabal”. a) Cuba, b) Provincia Mayabeque, c) Municipio San José de las Lajas, d) Agroecosistema del Complejo Científico Docente. **Fuente:** Elaborado por el autor.

Esta entidad forma parte de la UNAH y del Complejo Científico Tecnológico de la provincia Mayabeque, por lo que ha servido de escenario para promover sus potencialidades en aras de la producción, la docencia y la investigación mediante la integración de dichos centros y de esta manera, facilitar la creación y aplicación de conocimientos en las diversas áreas de producción y servicios.

Para el desarrollo de sus actividades, la granja cuenta con un área global de 665.7 ha, de las cuales se han destinado 72,2 ha a la producción agropecuaria, y con 150 trabajadores. Cuenta, además, con áreas para la atención del ganado menor, y otras áreas destinadas para actividades socio-administrativas, servicios logísticos y técnicos, actividades docentes, áreas colectivas y las que conforman la comunidad.

La mayor parte de la comunidad que rodea a la entidad está conformada por personas jóvenes en edad laboral (de 440 habitantes, aproximadamente 220, lo que representa el 51%). Debido a la lejanía de las instalaciones educativas, coexiste un bajo nivel educacional en dicha comunidad (Rodríguez *et al.*, 2021).

Tabla 1: Cantidad de personas por nivel educativo según (Rodríguez *et al.*, 2021).

Nivel	Cantidad de personas	Porcentaje
Superior	14	3,18
Medio Superior	96	21,81
Medio	184	41,81
Primario	46	10,45
Ninguno	100	22,72

2.2- Datos utilizados en la investigación

Para el desarrollo de la investigación, se empleó la información de la base de datos de atributos del Mapa de las Áreas de la Granja Universitaria “El Guayabal” realizado por los especialistas de la Facultad de Agronomía de la UNAH. Se pudo

contar, además, con los datos geoespaciales de las áreas productivas de la Granja utilizando la aplicación móvil **Fields Area Measure Pro**⁷.

Además, se emplearon **mapas bases**, ofrecidos por servicios gratuitos en línea pertenecientes a **Google Maps, Open Street Map, Memo Maps y Open Topo Maps**. Estos servicios comprenden una gran cantidad de imágenes satelitales, (divididas a su vez en pequeñas imágenes rectangulares del mismo tamaño llamadas “teselas”), con una vista global desde el espacio, así como de calles muy específicas, garantizando una adecuada la velocidad de entrega de las imágenes (Morales, 2017). En la Figura 5, se muestra el mapa base de imágenes de **Google Map** más empleado en la investigación.

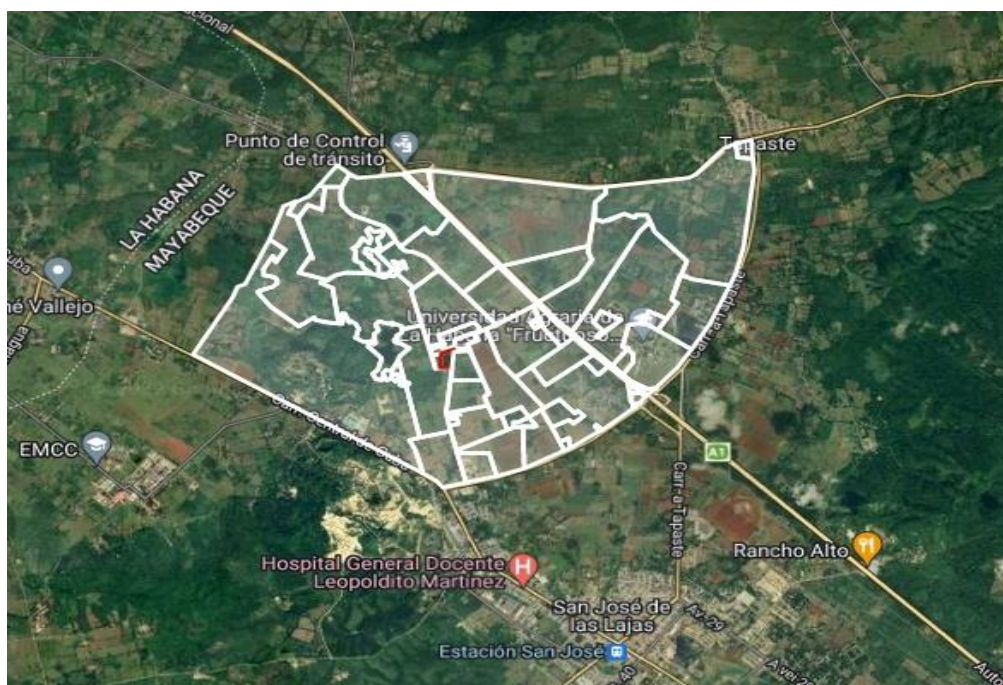


Figura 5: Visualización del Mapa base híbrido de Google Maps. **Fuente:** Elaborado por el autor.

⁷ Aplicación para dispositivos móviles de libre acceso desarrollada por la empresa Farmis dedicada a la medición de terrenos.

Las URLs de dichos servicios se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 2: Servicios de Mapas Bases en formato de teselas por Sitio web.

URL del Servicio	Tipo de Mapa	Procedencia
http://{s}.google.com/vt/lyrs=s,h&x={x}&y={y}&z={z}	Satelital y de Carreteras	Google Maps
http://{s}.google.com/vt/lyrs=s&x={x}&y={y}&z={z}	Satelital	
http://{s}.google.com/vt/lyrs=m&x={x}&y={y}&z={z}	Mapa standard vial	
http://{s}.google.com/vt/lyrs=p&x={x}&y={y}&z={z}	Elevaciones del terreno y calles	
http://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png	Panorámica de calles	Open Street Map
https://tileserver.memomaps.de/tilegen/{z}/{x}/{y}.png	Instalaciones de transporte público	Memo Maps
https://{s}.tile.opentopomap.org/{z}/{x}/{y}.png	Topografía y elevación	Open Topo Map

También se utilizó el Mapa de las Áreas de la Granja Universitaria “El Guayabal” en formato **Shape File (shp)**, de tipo vectorial compuestos por entidades de punto, línea y área en los cuales se almacena información geométrica y alfanumérica (INEGI, 2022). En la figura 6 se muestra una visualización de la capa vectorial correspondiente a la delimitación de las áreas del escenario estudiado en el entorno del software **QGIS**.

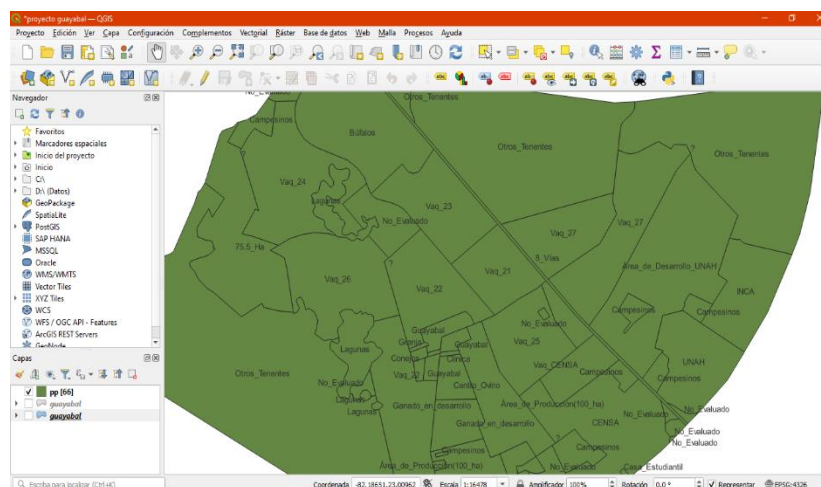


Figura 6: Visualización de la capa de las Áreas del Guayabal en el entorno del software QGIS. **Fuente:** Elaborado por el autor.

2.3- Metodología utilizada

La presente investigación está basada en el diseño metodológico propuesto por Gómez (2016) y de las pautas establecidas por Fast y Rinner (2014, 2018). Esta metodología toma en consideración el desarrollo y el despliegue del sistema en función del objetivo identificado, por medio de un desarrollo iterativo, que abarca cada componente del proyecto. El desarrollo de la investigación se realizó siguiendo determinadas pautas, como se muestra a continuación:

- Planificación del objetivo y alcance del Proyecto.
- Identificación de las tecnologías a utilizar.
- Manejo Cartográfico de los datos espaciales.
- Diseño del modelo de Base de Datos.
- Implementación y Despliegue del sistema.
- Supervisión y control de los datos del sistema.

2.3.1- Planificación del objetivo y alcance del Proyecto

Para lograr que el agroecosistema de la Granja Universitaria “El Guayabal” sea sostenible hay que tener en cuenta varios factores, siendo uno de ellos el manejo oportuno de las especies arvenses. Esta actividad se hace compleja por la gran extensión territorial que abarca el área de estudio, la falta de documentación y seguimiento de las infestaciones y la complejidad del trabajo de identificación y caracterización por medio de los mecanismos tradicionales.

Es por ello que con este proyecto se quiere lograr una plataforma geoespacial interactiva que facilite el mapeo del avistamiento de infestaciones por arvenses en las áreas de la Granja en tiempo real, los niveles de infestación, su caracterización y documentación. Apoyado todo este proceso en la participación de los actores sociales que sustentan las labores agroproductivas del escenario en estudio, como principales emisores de información y en interacción constante con los especialistas del Complejo Científico Docente.

Partiendo de este enfoque participativo, se identificó la *información geográfica voluntaria facilitada*, que fue propuesta por Yan (2016 y 2017) como la forma de obtención de información geográfica más adecuada para esta investigación. Así como el *método de porcentaje de cobertura* propuesto por Pérez *et al.* (2008) para evaluar las arvenses en una escala de cuatro grados de enmalezamiento.

2.3.2- Identificación de las tecnologías a utilizar

Las herramientas y tecnologías informáticas que se utilizaron en el desarrollo de la investigación, fueron las siguientes:

1) Python: se asumió este lenguaje de programación para el desarrollo de la plataforma, debido a que dentro de sus principales funcionalidades se encuentran la administración y análisis de datos, y el desarrollo rápido de aplicaciones en numerosas esferas de la Geoinformática (Python Software Foundation, 2022).

2) Framework Django: es uno de los frameworks web más utilizados en el lenguaje Python (Hernández, 2021), ya que fomenta un desarrollo rápido y un diseño limpio y pragmático. Además, cuenta con un módulo de contribución llamado **GeoDjango**, que lo convierte en un marco web geográfico de clase mundial, el cual simplifica al máximo la creación de estas aplicaciones web, como por ejemplo los servicios basados en la ubicación.

3) Librería GDAL: GDAL⁸ es una biblioteca intérprete para formatos de datos geoespaciales vectoriales y ráster que se publica bajo una licencia de código abierto de estilo MIT por parte de *Open Source Geospatial Foundation*. También viene con una variedad de utilidades de línea de comandos para la traducción y el procesamiento de datos (Rouault *et al.*, 2022).

4) Librería Leaflet: es una librería JavaScript de código abierto ampliamente utilizada para la publicación de mapas en la web. Está diseñado con la simplicidad, el rendimiento y la facilidad de uso. Funciona de manera eficiente en todas las principales plataformas de escritorio y móviles, aprovechando HTML5 y CSS3 en

⁸ Librería de Abstracción para Datos Espaciales

los navegadores modernos, a la vez que se puede acceder a los más antiguos (Agafonkin, 2022).

5) Sistema de Gestión de Base de Datos (SGBD): PostgreSQL es un potente sistema de base de datos relacional de objetos de código abierto constante (The PostgreSQL Global Development Group, 2022). Además, posee una arquitectura consolidada, confiabilidad, integridad de datos, conjunto sólido de características, extensibilidad y la dedicación de una comunidad detrás del software para ofrecer soluciones innovadoras y de rendimiento. Según Agarwal (2019) en este SGBD se utiliza la extensión PostGIS para implementar una variedad de consultas y funciones espaciales optimizadas, lo que lo hace relevante para esta investigación.

Debido a los requerimientos de la librería GDAL y de PostgreSQL para Django, se utilizó la versión 11.4 de PostgreSQL con la interfaz visual de PG Admin 4. Luego, se procedió a la instalación de la versión 3.2.3 de PostGIS, y se crearon las extensiones necesarias en la base de datos para el manejo de los datos espaciales.

6) PyCharm: es el Entorno de Desarrollo Integrado más utilizado para Python, ya que incluye excelentes características para la finalización e inspección de código con depurador avanzado y soporte para programación web y varios frameworks. (JetBrains s.r.o., 2022).

2.3.3- Manejo cartográfico de los datos espaciales

Al momento de trabajar con las diferentes capas de información geoespacial se requirió que estas presentaran el mismo Sistema de Referencia de Coordenadas Geográficas (SRG), el cual emplea los grados de latitud y longitud y en ocasiones un valor de altitud para definir la situación de un punto sobre la superficie terrestre. Por lo que fue necesario verificar y ajustar los sistemas de referencia de cada capa geoespacial a uno en particular. Se asumió el WGS 84 (EPSG: 4326) al ser el sistema que traen por defecto los recursos en línea con los que se trabaja en la plataforma como capa base.

Para la manipulación de la información cartográfica en la plataforma se utilizó el formato **GeoJSON**, que permite la transferencia de datos espaciales entre varias aplicaciones y lenguajes de programación (MapLarge, 2020). También, se empleó

el formato **ShapeFile** (.shp) como fichero alternativo debido a su amplio uso en el intercambio de información geográfica entre los diferentes SIG. Ponce (2018) manifiesta que estos dos formatos se integran perfectamente para la creación de mapas interactivos en línea y aplicaciones web cartográficas.

2.3.4- Diseño del modelo de Base de Datos

Teniendo en cuenta los criterios de Gallo y Waitt (2011) y Rahman *et al.* (2015) para la recolección de los datos de las infestaciones por arvenses, se diseñó la Base de Datos que utilizará el sistema. Sin embargo, fue necesario tener en cuenta otros criterios empleados por Pérez *et al.* (2008), Aguirre *et al.* (2019) y Malek *et al.* (2018) que para la investigación realizada resultaron ser importantes, tal es el caso de:

1. La especificación del ciclo de vida y grado de enmalezamiento de la plaga arvense.
2. Mecanismo de validación de la Información Geográfica Voluntaria en tiempo real, tomando en cuenta los roles de usuarios.

2.3.5- Supervisión y control de los datos del sistema

El hecho de que los datos geoespaciales se obtengan mediante la información geográfica voluntaria provoca cierta incertidumbre sobre la veracidad de la información, por lo que actualmente se desarrollan nuevos modelos, métodos y enfoques para supervisar y validar dicha información (Fogliaroni *et al.*, 2018 y Yan *et al.*, 2020).

Estudios realizados por Grira, Bérard y Roche (2009) han propuesto un marco de trabajo para la clasificación del uso y de las contribuciones de los datos espaciales, así como (Fogliaroni *et al.*, 2018) al elaborar un modelo para medir la fidelidad de la información y la reputación del contribuidor, confiando en la procedencia de la información. Otros mecanismos como el propuesto por Severinsen *et al.* (2019) permite evaluar, de forma cualitativa, la confianza espacial y temporal asociada a los datos de su contribuidor. Por lo que siguiendo estos criterios se diseñó un sistema de validación de los reportes de infestaciones por medio de especialistas.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se exponen las distintas pautas que se siguieron para el desarrollo de la plataforma de Cartografía Colaborativa para el manejo de las arvenses en el área de estudio: GeoArvense, la cual cuenta con una interfaz agradable para la interacción con el usuario. Además, se realiza una descripción de la infraestructura en la que podrá ser desplegada el sistema, así como de los módulos involucrados para la gestión y visualización de la información recolectada. También se describen los mecanismos de interacción y el vínculo entre la base de datos de atributos y la base de datos geoespacial. Por último, se define el mecanismo de validación de la información.

3.1- Alcance del proyecto GeoArvense

La plataforma **GeoArvense** fue concebida, siguiendo el principio de la cartografía colaborativa para apoyar el Manejo Integrado de malezas en el agroecosistema de la Granja Universitaria “El Guayabal”; en concordancia con los criterios de Yan (2016 y 2017). Para la articulación del sistema en el escenario productivo fue necesario definir los actores o participantes en el proceso de identificación del grado de enmalezamiento, los cuales se muestran en la tabla 3, de conjunto con una breve descripción de cada uno de los niveles de accesibilidad y autorización.

Tabla 3: Descripción de los actores fundamentales.

Actores	Descripción
Usuario (facilitador)	Individuo que se encarga de entrar datos de la ocurrencia de la infestación y solicitar las distintas salidas del sistema. <i>Este rol comprende a tanto campesinos, trabajadores y directivos del área que realizan las contribuciones en tiempo real.</i>
Usuario (especialista)	Individuo que tiene acceso a las funciones del usuario facilitador, y permite validar las observaciones entradas por los usuarios facilitadores. <i>Este rol le corresponde a</i>

	<i>determinadas personas con conocimientos profundos sobre la flora arvense y de las áreas pertenecientes al agroecosistema.</i>
Administrador	Individuo encargado de administrar completamente el sistema, así como crear las cuentas de usuarios correspondientes. Este rol le corresponde a aquellas personas que lideran el proyecto, permitiendo el control de acceso a los demás participantes voluntarios.

Tales criterios se sustentan en lo planteado por Gallo y Waitt (2011), Malek *et al.* (2018) y Mutembesa *et al.* (2019), para proyectos que involucran la contribución colaborativa en el Manejo Integrado de Plagas. Donde el empleo del rol especialista y administrador para la realización de tareas más complejas, y establecer un orden jerárquico respecto al observador (facilitador) es una novedad en este tipo de investigaciones.

Teniendo en cuenta dichos roles, se establecieron las siguientes reglas de colaboración:

- Los facilitadores tienen a acceso a crear, editar o eliminar solamente sus propias observaciones de avistamientos.
- El administrador es el único que puede gestionar los usuarios y asignarle el rol correspondiente.
- El especialista tiene el acceso de revisar las observaciones de los facilitadores para verificar la veracidad de la observación.
- El especialista es el encargado de llevar el registro constante de las arvenses encontradas en las observaciones, así como de la gestión de las áreas afectadas.

3.2- Infraestructura técnica propuesta

A partir de las herramientas seleccionadas para el desarrollo, se implementó la infraestructura del sistema **GeoArvense**, la cual fue concebida en dos módulos para su mejor control en el flujo de datos. Los cuales se describen a continuación:

➤ **Administración de los Datos**

Este módulo se encarga de la gestión de la información del sistema GeoArvense, llámese *gestión* a la recolección de los reportes de infestaciones, la administración del catálogo de arvenses, entre otras funciones. Para ello, se apoya en el uso del framework GeoDjango (unión de las tecnologías Django, la librería GDAL y Leaflet) y del SGBD Espacial PostgreSQL en conjunción con la extensión PostGIS para la manipulación de los datos especiales. Los mismos estarán accesible directamente para los usuarios según su autorización en el sistema, después de haberse autenticado.

La integración de dichas tecnologías resalta los criterios de Gallo y Waitt (2011) y Mutembesa *et al.* (2019) sobre las ventajas del uso de una infraestructura bien definida para el procesamiento de los datos y demás funciones. Esto no ocurre así en la investigación de Yan *et al.* (2017) donde no se cuenta con una infraestructura sólida para la supervisión de plagas basado en la IGV. De acuerdo con (Ebitu *et al.*, 2021), este aspecto puede ocasionar problemas en la gestión de la información

Durante la implementación, fue necesario realizar algunos ajustes en la librería Leaflet del mapa interactivo, que ofrece dicho framework. Estas configuraciones permitieron que cada mapa, mostrado en el sistema GeoArvense, se situara sobre la región de “El Guayabal” a una escala adecuada, además se le incorporó un conjunto de capas de imágenes en línea que proceden de **Open Street Map**, **Google Maps**, **Open Topo Map** y **Memo Map**.

➤ **Portal Web Geoespacial**

El Portal Web de GeoArvense fue implementado para visualizar la información registrada. Los datos se ofrecen de forma dinámica no solo para los actores que intervienen en el sistema, sino también para cualquier persona que necesite

información sobre el tema, por lo que no es necesario autenticarse para acceder a este módulo. En los proyectos realizados Gallo y Waitt (2011) y Newman *et al.* (2010), se demuestran la eficacia del uso de portales web para la visualización de los resultados obtenidos, dando posibilidades de descargar dicha información.

Los mapas cartográficos fueron mostrados usando Leaflet, complementado con HTML y CSS, y se utilizó el JavaScript del framework para configurar las funciones de filtrado y estilo del mapa. La información de las áreas cartografiadas y de los puntos de infestación fueron manipuladas principalmente mediante el formato GeoJSON, procesado por la infraestructura interna del sistema.

La Figura 7 muestra la infraestructura del sistema GeoArvense que ilustra su funcionamiento y relaciones.

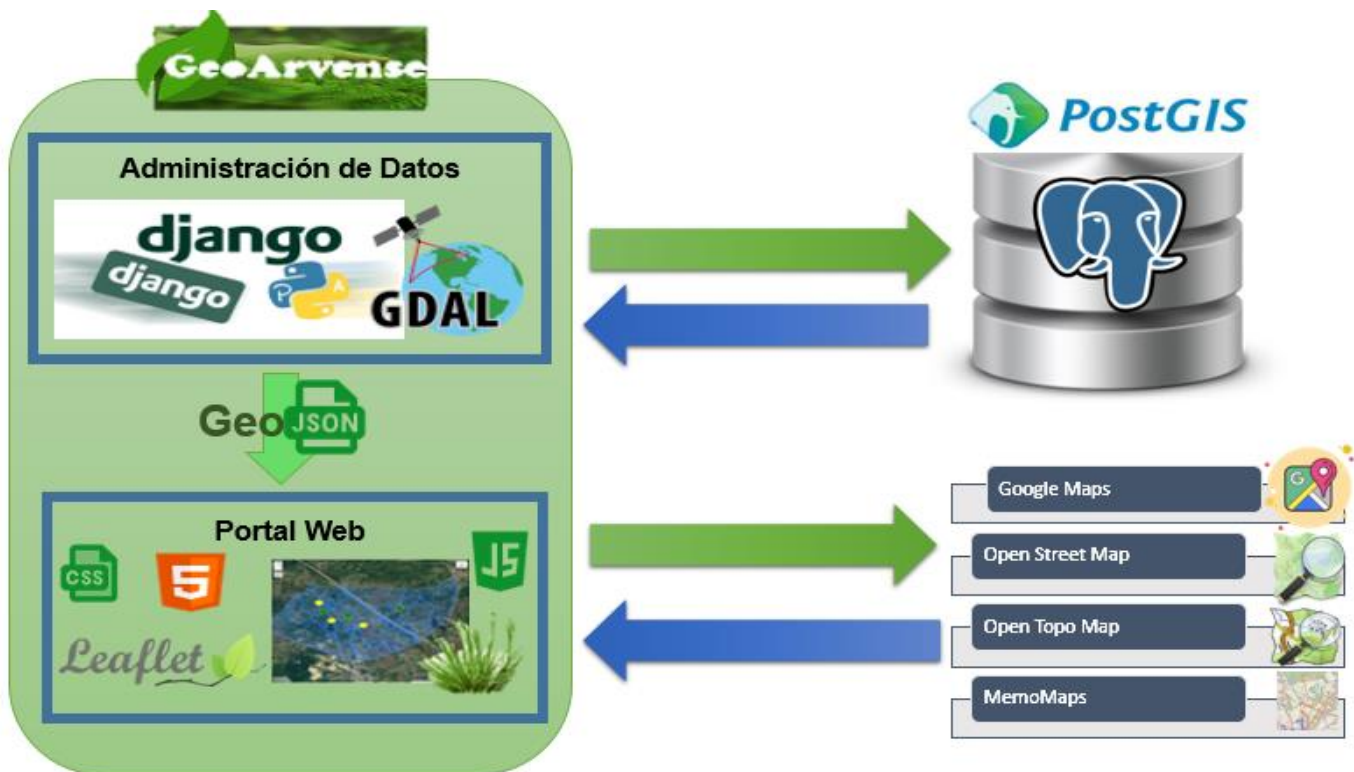


Figura 7: Diagrama de la infraestructura propuesta. **Fuente:** Elaborado por el autor.

3.3- Modelo para la Gestión de Atributos y Geoespacial

La manipulación de la información geográfica dentro de un sistema de gestión trae consigo la presencia de dos perfiles con respecto al Modelo de Base de Datos del Sistema: 1) como Sistema de Atributos o propiedades que se guardan en cada registro, y 2) como Base de Datos Geoespacial.

Esta última comprende el uso del formato y de las formas de almacenamiento de la información geográfica, que serán la base para la representación de las relaciones espaciales y de atributo sobre el mapa. De esta forma, se concibe una perspectiva homogénea para el caso en estudio, evitando conflictos entre los distintos tipos de datos geográficos.

3.3.1- Sistema para la Gestión de Atributos

La estructura de la base de datos refleja los criterios de varios autores con respecto al uso de los archivos multimedia (imágenes, documentos, entre otros) y por las reglas de colaboración establecidas para el proyecto. De esta manera, se mejora la labor de los especialistas, al usar la plataforma, para identificar, corregir y caracterizar el grado de enmalezamiento en los reportes. Toda esta información queda recogida en un catálogo, el cual no solo podrá ser visualizado por los usuarios en el Portal web, sino que también permitirá la búsqueda mediante filtros y la descarga del documento de reseña de la arvense, que fuese subida al sistema por el especialista (Ver figura 8).

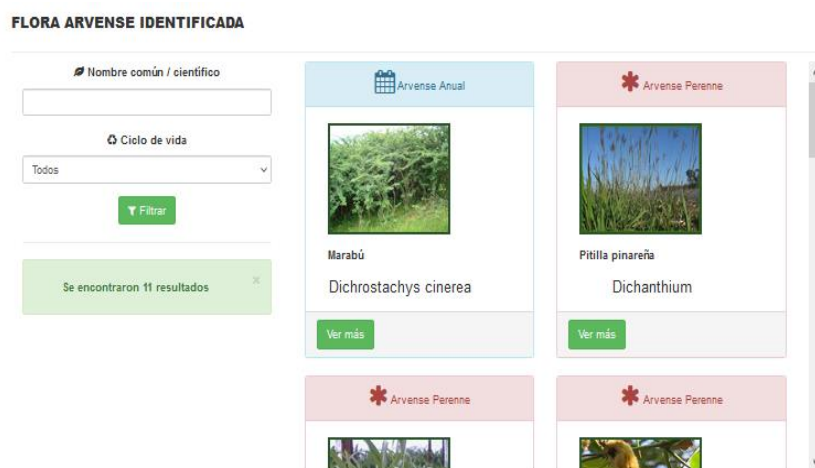


Figura 8: Catálogo de la Flora Arvense. **Fuente:** Elaborado por el autor.

En la figura 9, se muestra un esquema de las entidades (tablas en la base de datos) que intervienen en el proceso de recolección de reportes, el registro de arvenses, la cartografía de las áreas principales y la manipulación de los datos de cada usuario. No obstante, la administración de los usuarios del sistema fue dispuesto por las configuraciones de seguridad que ofrece el framework Django por defecto.

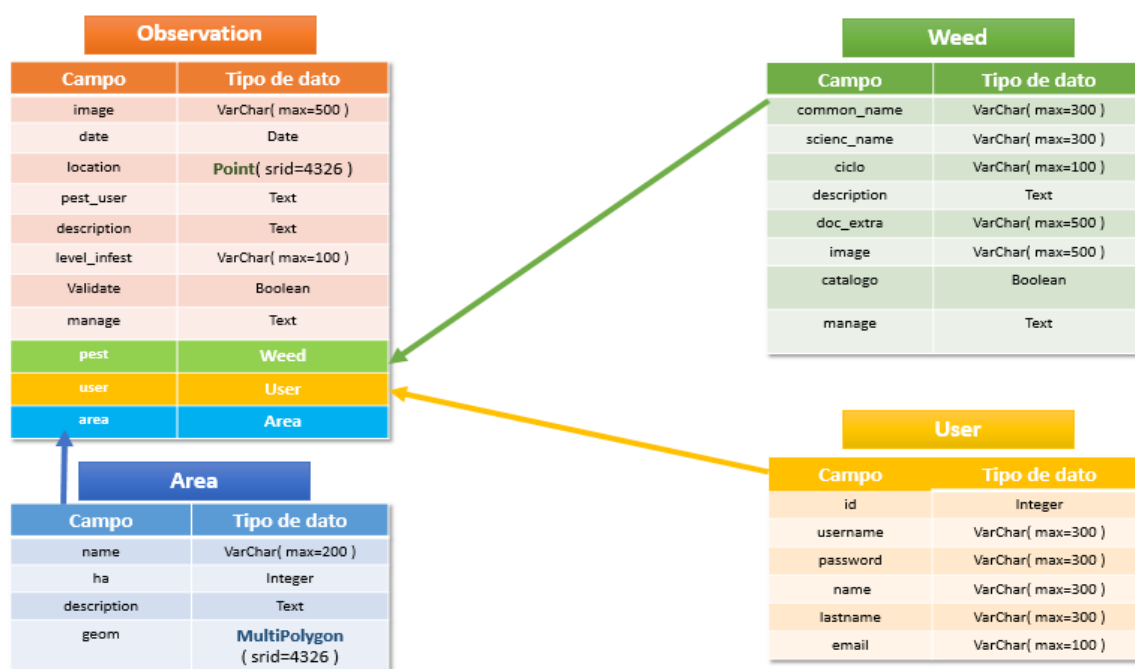


Figura 9: Modelo de la Base de Datos. **Fuente:** Elaborado por el autor.

3.3.2- Sistema para la Gestión Geoespacial

El sistema GeoArvense utiliza dos tipos de datos para representar el componente espacial; el punto para la ubicación de los reportes de infestación y el multipolígonos para la cartografía de las áreas. Por consiguiente, se establece el GeoJSON como formato de salida para la visualización de los reportes de infestación mediante los mapas del Portal Web. Además, el sistema interactúa con el formato ShapeFile para la *exportación e importación* de capas como ficheros (.zip), los cuales se almacenan dentro del sistema. Esta funcionalidad les permite a los usuarios visualizar los puntos de infestación sobre las capas de áreas importadas desde cualquier SIG y realizar un análisis espacial del área de estudio.

Estas capas de áreas deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Usar como sistema de referencia el WSG 84 (EPSG 4326).
- Los elementos geográficos deben ser de tipo Polígono o Multipolígonos.
- Si la capa utiliza el formato ShapeFile, al menos deben estar presentes los ficheros cuyas extensiones sean: .shp, .shx y .dbf. Estos ficheros deberán estar comprimidos en un archivo .zip.

La función de *Importación de Capas en GeoJSON o ShapeFile* es una de las funciones con acceso limitado dentro del módulo de Administración (figura 10), por lo que el usuario debe estar autenticado y pertenecer al grupo (rol) “Especialista” o “Administrador” para llevar a cabo la operación. De esta manera, se limita la importación de capas a los usuarios con los conocimientos necesarios para evitar errores en el sistema.

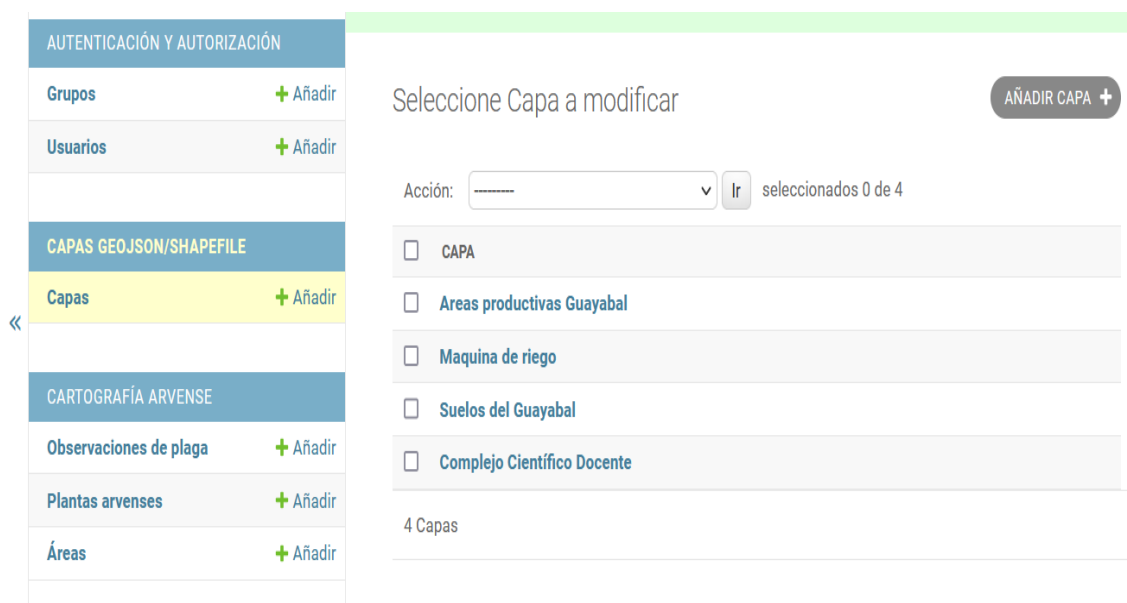


Figura 10: Acceso a la función de “Importación de capas”. **Fuente:** Elaborado por el autor.

El sistema GeoArvense utiliza también el Portal Web Geoespacial para la visualización de las capas importadas de forma dinámica. Al mostrarse esta información en dicho módulo, el sistema le brinda la posibilidad, a cualquier visitante o usuario, de exportar las capas del sistema, para luego ser utilizadas en otro SIG que soporte dicho formato, ver figura 11.

CARTOGRAFÍA ARVENSE

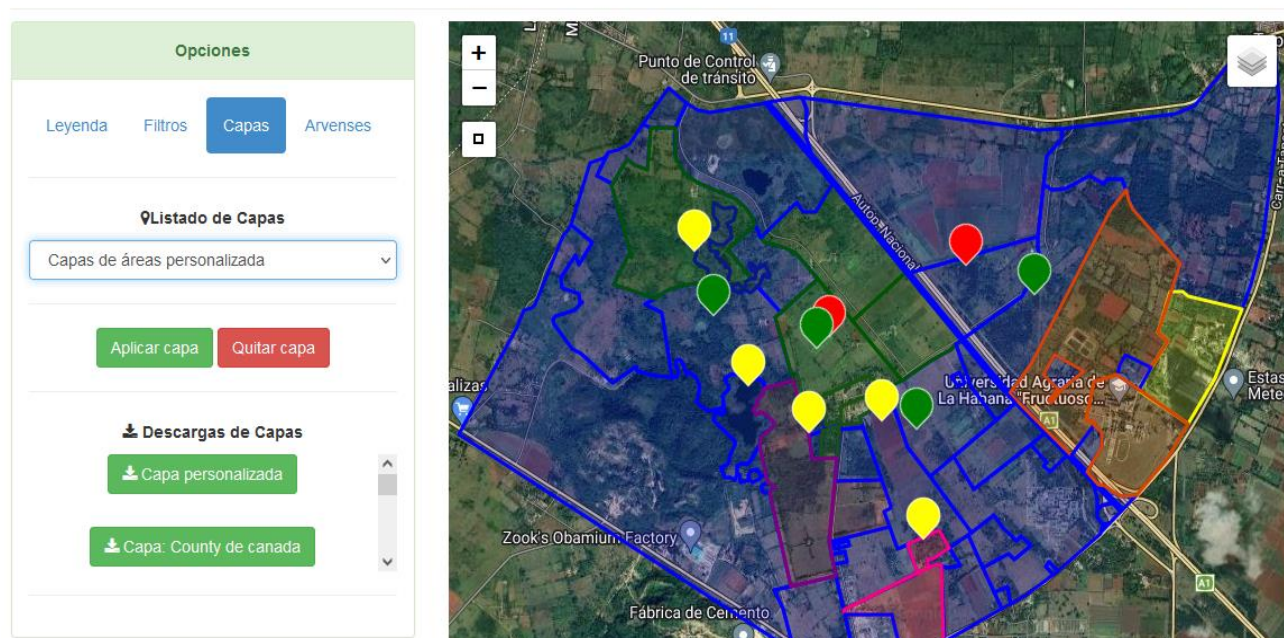


Figura 11: Visualización y exportación de capas en el módulo Portal Web Geoespacial.

Fuente: Elaborado por el autor.

Por otro lado, existe la posibilidad de exportar los reportes (puntos) de infestaciones de las arvense en un fichero GeoJSON. Los datos exportados dependerán de los parámetros establecidos en la sección de **Filtros**. Cada reporte u observación realizada presenta dos componentes principales; primeramente, el espacial, dado a la ubicación del punto de infestación (coordenada geográfica) y, en segundo lugar, el temporal, debido al registro de la fecha de la observación.

De acuerdo a estudios realizados por Brovelli *et al.*, (2016) y Zhang (2020), los componentes espacial y temporal poseen un papel fundamental sobre la ocurrencia de reportes de avistamientos usando la Información Geográfica Voluntaria.

El sistema **GeoArvense** aprovecha estos componentes para ubicar y filtrar los reportes tomando en cuenta un período de tiempo determinado y/o usando la propiedad del grado de enmalezamiento, como se muestra en la figura 12.

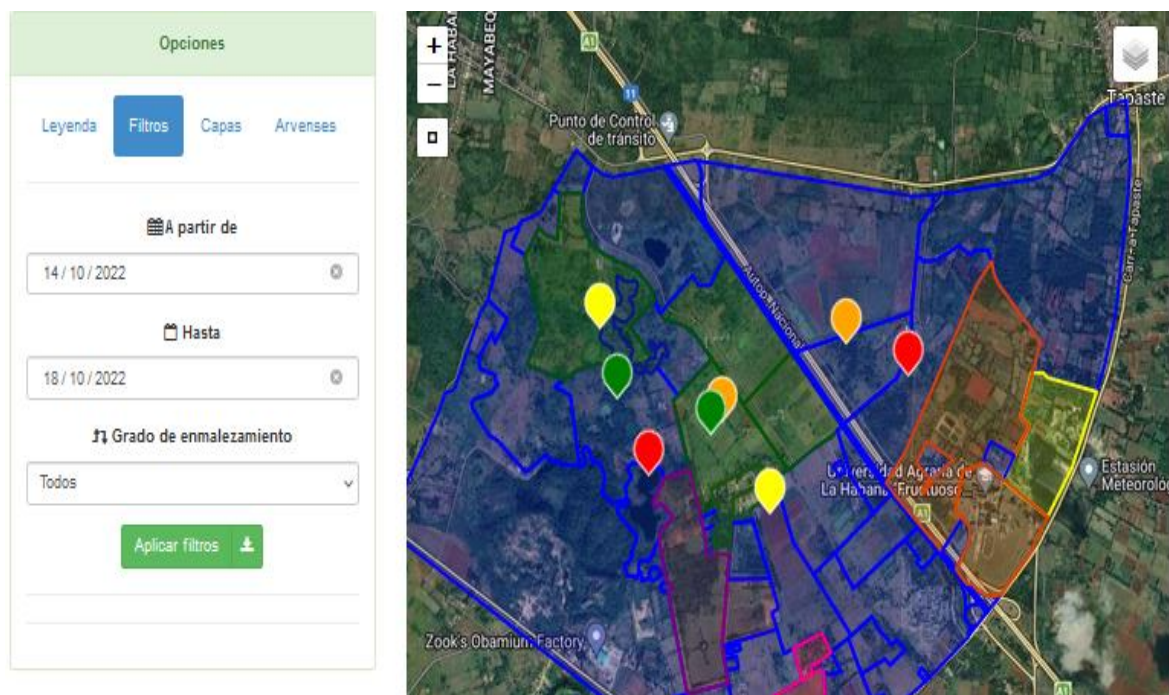


Figura 12: Ejemplo de filtrado de los reportes de arvense entre el (14-10-2022) y (18-10-2022), sin especificar el nivel de infestación. **Fuente:** Elaborado por el autor.

Servicio Web Geoespacial

En el sistema GeoArvense, la librería **Leaflet** utiliza la información proveniente del módulo de Administración para mostrar principalmente la capa de observaciones. Esto sucede a través del intercambio de datos en formato **GeoJSON** usando llamadas AJAX de la propia librería JavaScript. Las **URLs** que brindan estos servicios, están disponibles, no solo para el uso del propio sistema, sino para cualquier aplicación cartográfica en línea que necesite de dicha información y que soporte el formato **GeoJSON**.

A continuación, se muestran en la tabla 4, las URL de cada servicio:

Tabla 4: Servicios Web del Sistema GeoArvense. **Fuente:** Elaborado por el autor.

URL relativa del Servicio	Descripción
/geoapi/observations	Devuelve una colección en formato GeoJSON de las observaciones (Puntos) validadas por los especialistas
/geoapi/observationsall	Devuelve una colección en formato GeoJSON de todas observaciones (Puntos) contribuidas.
/geoapi/áreas	Devuelve una colección en formato GeoJSON de las áreas cartografiadas (Multipolígonos).
/geoapi/areasfile	Devuelve un fichero en formato GeoJSON de las áreas cartografiadas (Multipolígonos).

Se comprobó la funcionalidad de los servicios, utilizándose la herramienta Postman⁹, independientemente de su aplicación en **Leaflet**, como se muestra en la figura 13. Estas comprobaciones arribaron a resultados satisfactorios, permitiendo la visualización y la exportación de los puntos de infestación y de las áreas cartografiadas.

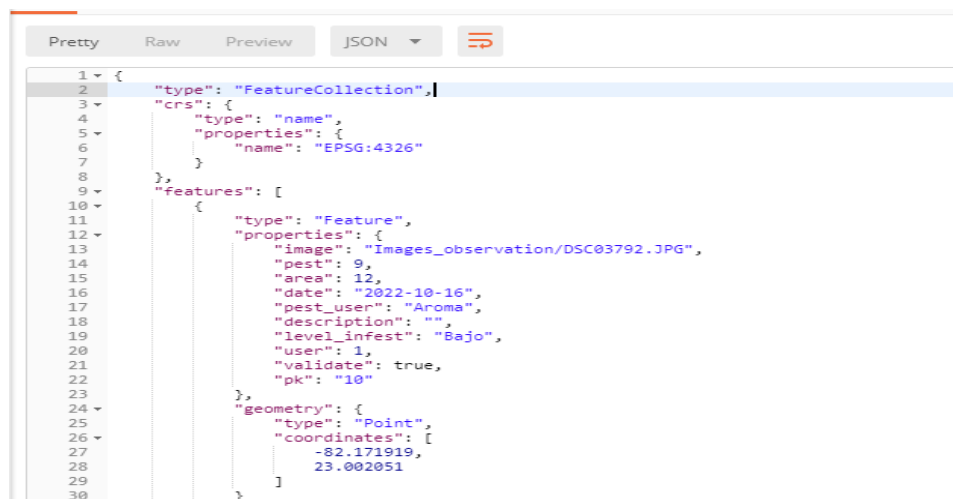


Figura 13: Respuesta del servicio de las observaciones validadas mediante la herramienta Postman. **Fuente:** Elaborado por el autor.

⁹ Plataforma API para construir y usar API. Contiene herramientas para que los desarrolladores diseñen, creen, prueben e iteren sus API.

3.4- Procesamiento de los reportes

El proceso de recolección de reportes es una de las funciones más importantes, al constituir la fuente de entrada de información con la cual trabajará el sistema. Siguiendo con las especificaciones anteriormente definidas, cada observación se encuentra vinculada al usuario que la realizó, y no es posible el cambio de propietario. Para comenzar dicho proceso, se debe iniciar sesión como se muestra en la figura 14, donde todos los usuarios, por defecto, puede efectuar contribuciones voluntarias. La diferencia radica en la posibilidad de “validar” dichas observaciones para controlar la calidad de la información.

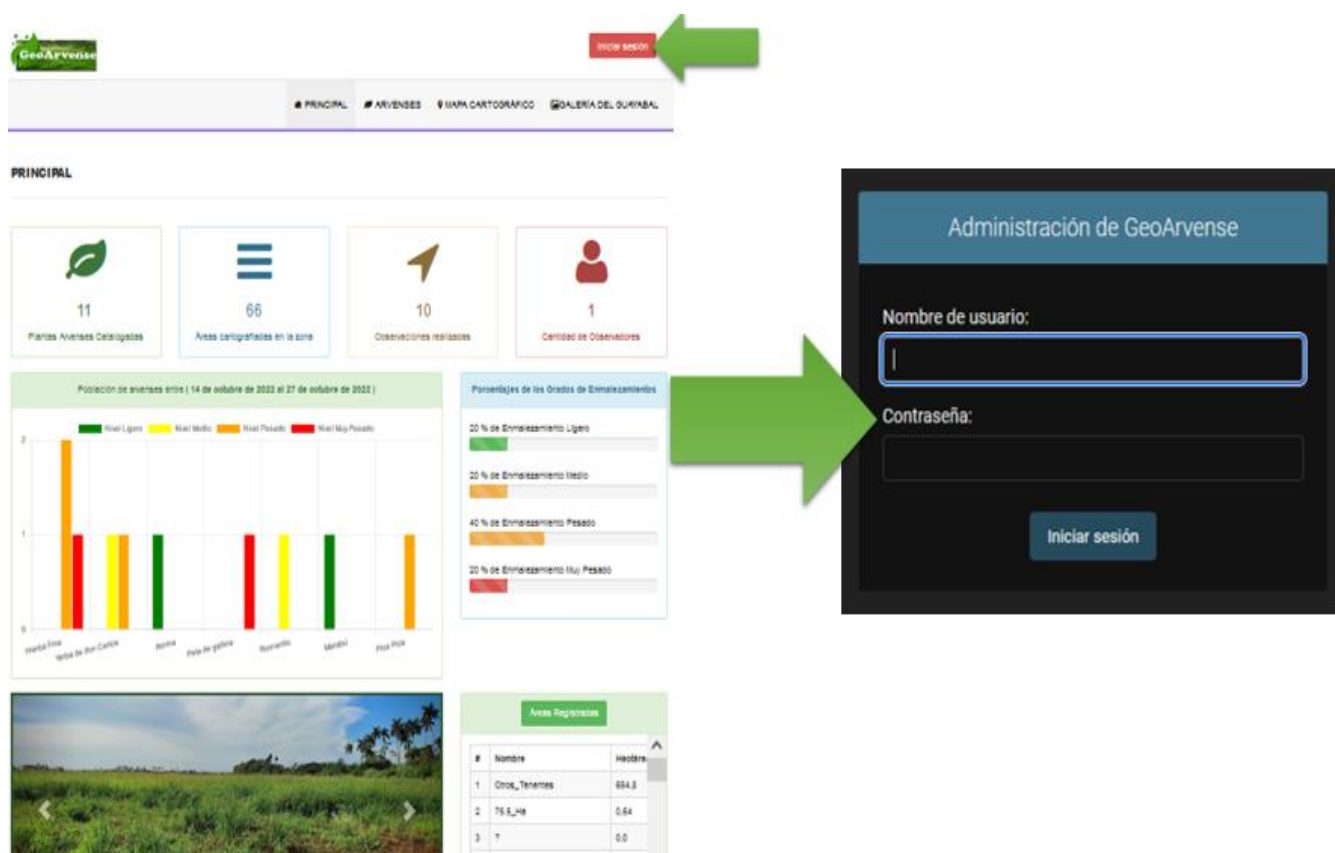


Figura 14: Proceso de autenticación del Sistema GeoArvense. **Fuente:** Elaborado por el autor.

3.4.1 Contribución de observaciones del “Facilitador”

El “**Facilitador**” es el usuario o participante más importante dentro del sistema ya que es el principal encargado de la subida de los reportes de enmalezamientos en el área de estudio; a continuación, se muestra como visualiza el menú con las acciones disponibles (figura 15).

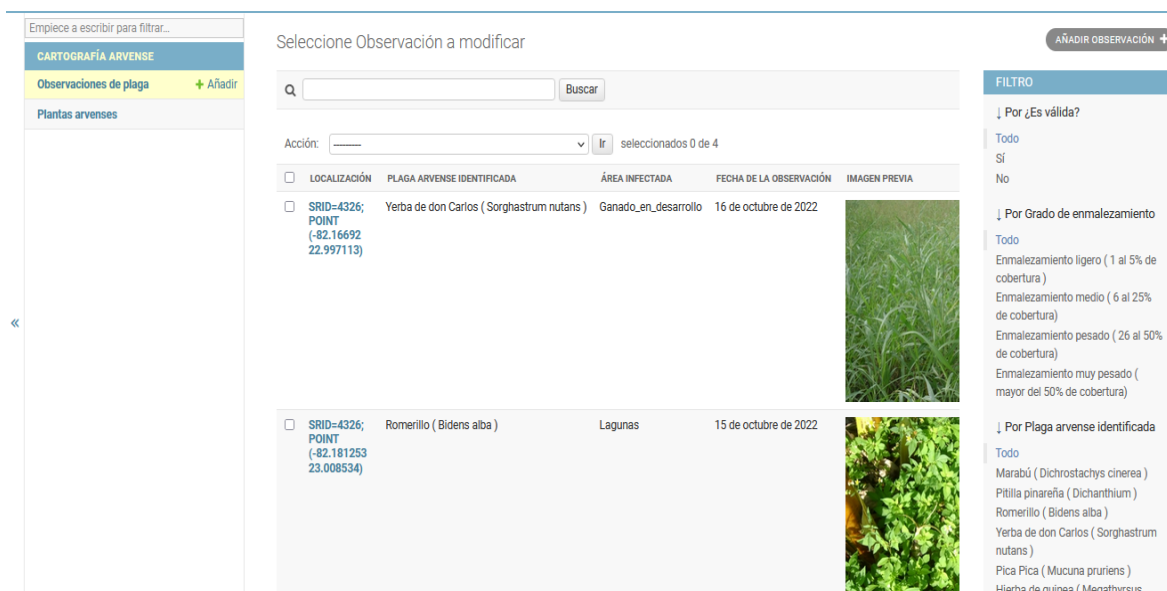


Figura 15: Acceso a la lista de observaciones realizadas por el usuario observador de la sesión en el Sistema GeoArvense. **Fuente:** Elaborado por el autor.

La contribución del **observador** presenta campos de entrada de información claves para identificación de la arvense reportada y la asignación de los atributos espacial y temporal del reporte, los cuales tienen un carácter obligatorio dentro del formulario y se muestra a continuación:

- La imagen de la infestación.
- La fecha de la observación.
- La ubicación geográfica (Punto)
- Grado de enmalezamiento

También se cuenta con otros campos como **Arvense**, **Área infectada**, **Anotaciones** y **Manejo** que son opcionales para realizar la contribución. No obstante, en el caso del **Grado de Enmalezamiento**, si no se selecciona, se asume como “Ligero” por defecto. En la figura 16 se muestra un ejemplo, de cómo se

visualiza la interfaz para realizar el reporte desde un navegador de computadora de escritorio y un móvil.

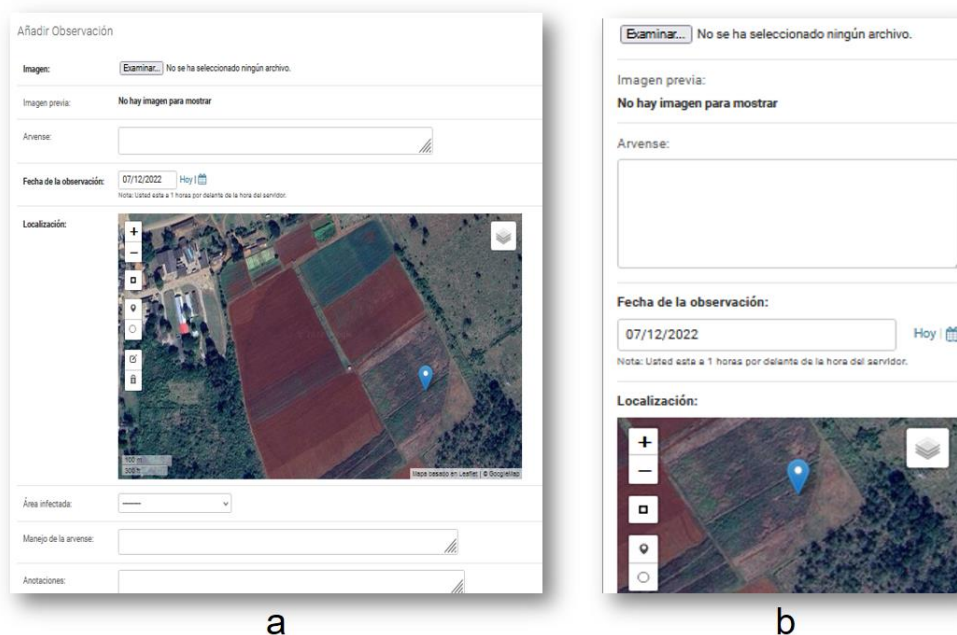


Figura 16: Interfaz de “Agregar contribución de observaciones” **a)** en computadora de escritorio y **b)** en dispositivos móviles. **Fuente:** Elaborado por el autor.

3.4.2 Visualización del Mapa de Cartografía Arvense y de Contribución.

El Sistema **GeoArvense** presenta las observaciones realizadas por los facilitadores en dos secciones diferentes, tomando en cuenta la validación realizada por los especialistas a los reportes.

El acceso a los mapas se encuentra limitado a una sola opción para los visitantes en el Portal Web. Dicha opción llamada “**Cartografía Arvense**” muestra una página con un mapa, en el que se trazan las áreas cartografiadas del agroecosistema El Guayabal. Además, dispone de una leyenda para identificar los tipos de puntos de infestación, que se representan en el mapa. Estos reportes de enmalezamientos cumplen con el requerimiento de validez dado por los especialistas.

Esta sección presenta varias opciones de gran interés para el usuario o visitante del Portal Web:

- Acercamiento y alejamiento de la panorámica del mapa.
- Visualizar las diferentes capas de imágenes de servicios en línea.

- Usar y descargar las capas importadas en ShapeFile o GeoJSON.
- Exportar los reportes de observaciones en GeoJSON según los filtros establecidos.
- Información sobre las arvenses identificadas en las observaciones.

La cartografía visualizada en la figura 17 muestra la información sobre el punto de infestación y de las áreas, mediante un cuadro informativo con las principales características anotadas, haciendo uso, además, de la imagen de la infestación.

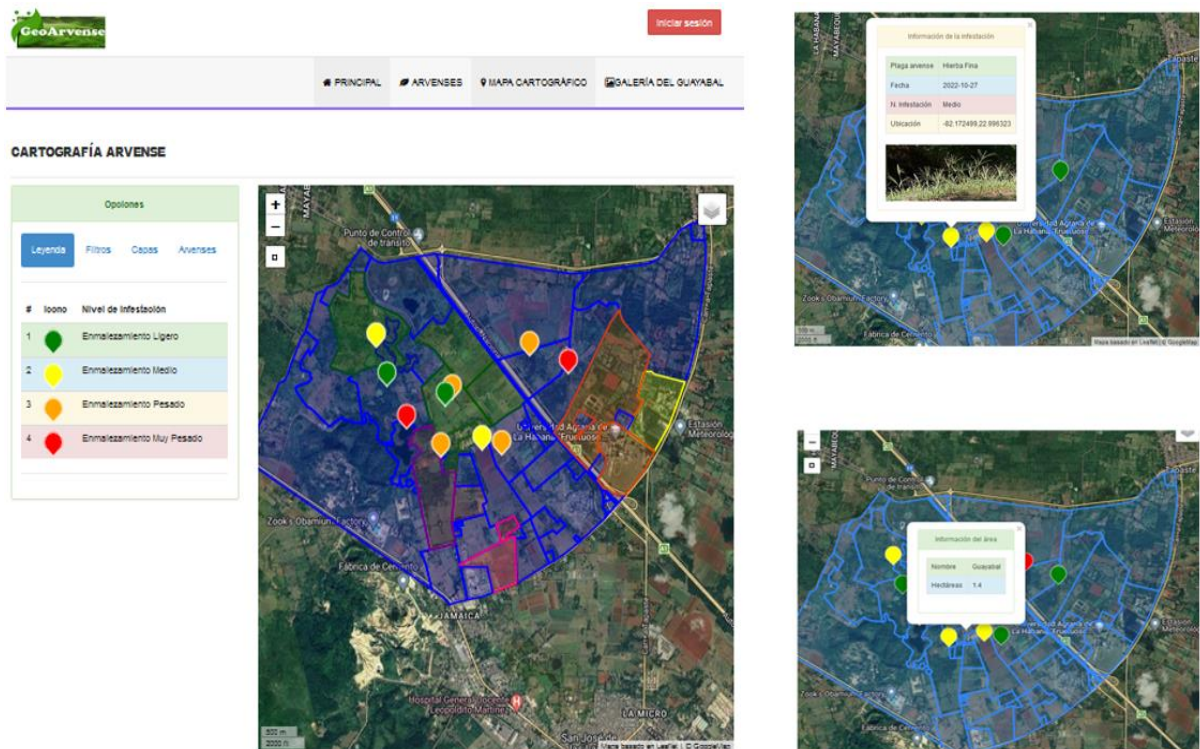


Figura 17: Cuadro informativo sobre el elemento cartografiado. **Fuente:** Elaborado por el autor.

El sistema, además, muestra un listado de las arvenses identificadas en las observaciones y permite la visualización de sus características por los usuarios y visitantes del portal web, como se muestra en la figura 18.



Figura 18: Listado de las arvenses identificadas en las observaciones realizadas.

Fuente: Elaborado por el autor.

Por otro lado, en caso de que el usuario inicie sesión en el sistema, el Portal Web le brinda otra opción para la visualización de todas contribuciones del sistema, sin importar la validez de las mismas. Dicha opción es llamada **“Cartografía Contribuida”** (ver figura 19). Además, de las opciones que dispone el Mapa de **Cartografía Arvense**, el sistema resalta las contribuciones realizadas por el usuario de la sesión, y muestra algunas estadísticas sobre su proceso de recolección de reportes.

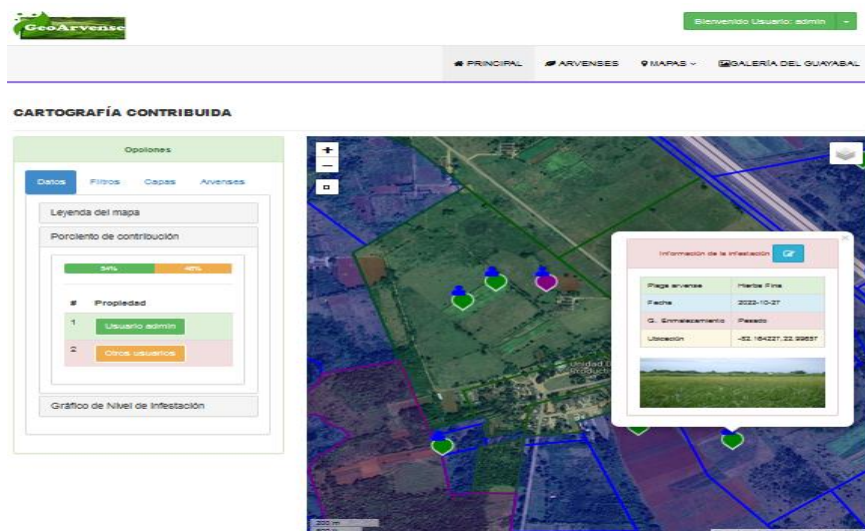


Figura 19: Mapa de Cartografía Contribuida. **Fuente:** Elaborado por el autor.

3.5- Supervisión y control del sistema.

La validación de las observaciones realizadas por los facilitadores constituye una de las principales novedades del sistema **GeoArvense**, a diferencia de los sistemas aplicados por otros autores (Yan, 2016 y 2017) donde solamente llegaron hasta los reportes de enmalezamiento. A pesar de que existen metodologías para medir con exactitud el grado de confiabilidad de los datos, en la presente investigación se diseñó y se implementó un mecanismo de validación con una menor complejidad, puesto a que el carácter facilitado de la información geográfica también es utilizado para asegurar la calidad de la información.

Además, con el uso apropiado de este mecanismo, se podría producir un intercambio de información y de experiencias entre el observador y el especialista, logrando la retroalimentación de conocimientos sobre el manejo de arvenses. En la figura 20, se muestra mediante un esquema el proceso de validación propuesto para el sistema.

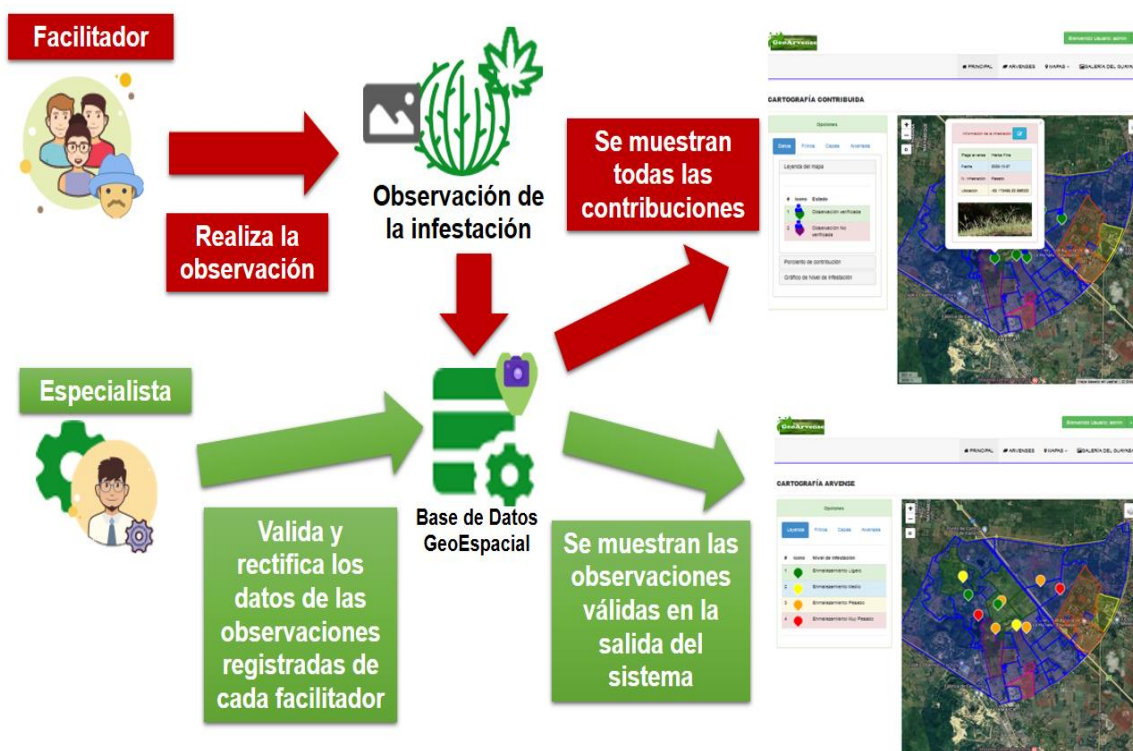


Figura 20: Esquema del Proceso de Validación de la IGV en GeoArvense. **Fuente:**

Elaborado por el autor.

Las pautas que conforman este proceso son las siguientes:

- El usuario realiza el reporte de avistamiento. El sistema le provee solamente los campos que puede llenar como “observador”.
- La observación es guardada en la base de datos. Por defecto, el sistema infiere que el reporte aun no es válido.
- El especialista accede a los reportes de infestación realizados. El sistema le provee todos los campos disponibles para la edición y validación de la observación.
- El especialista determina la confiabilidad de la información mediante la visualización de la imagen de la infestación. Al terminar la revisión y corrección, dicho usuario puede habilitar la validez del reporte.
- Las observaciones válidas serán mostradas en el mapa de Cartografía Arvense para su posterior procesamiento. Este mapa es de acceso público.
- Todas las observaciones (sin importar su validez) serán mostradas en el mapa de Contribución de IGV. Este mapa solo puede ser visualizado por cualquier usuario que haya iniciado sesión en el sistema.

Un usuario especialista o administrador, según su consideración, tiene la posibilidad de otorgarle los permisos de validación de reportes a los observadores tomando en cuenta la calidad de la información subida al sistema, a través de la asignación del rol “Especialista” a un usuario determinado.

CONCLUSIONES

- El uso del framework GeoDjango con la librería Leaflet en conjunción con el SGBDR PostgreSQL y con la extensión PostGIS resultó apropiado para la implementación de la arquitectura del Sistema GeoArvense, dado a las múltiples funciones que ofrece en el control de usuarios y el fácil manejo de archivos multimedia, permitiendo una fácil y eficaz visualización de la información geográfica a través de mapas interactivos y en compatibilidad con los dispositivos móviles.
- Se implementó un mecanismo de reporte de infestaciones, que incluye los componentes espacial y temporal en cada observación, el cual constituye un valioso recurso para establecer el seguimiento de las infestaciones por arvenses tomando en cuenta determinados períodos de tiempos, así como la utilización de las características de dichas plagas para la conformación de un catálogo.
- Se establece un procedimiento de validación de las observaciones para asegurar la calidad de la información recolectada y además posibilita la retroalimentación entre los especialistas y los facilitadores u observadores.
- Se establecieron dos salidas principales para la visualización de los reportes de infestaciones: el Mapa de Cartografía Arvense y el Mapa de Contribución. Estos mapas presentan las herramientas necesarias para el análisis de la información tomando en cuenta su validez y el propietario del reporte.
- El Portal Web Geoespacial y el servicio web del sistema GeoArvense permiten el acceso público a los reportes de la flora arvense y de las capas temáticas, así como la descarga de dicha información para su posterior utilización en cualquier SIG, que soporte los formatos GeoJSON y ShapeFile.

RECOMENDACIONES

- Diseñar e implementar una aplicación móvil para la recolección de datos, apoyada en los servicios REST de la infraestructura del sistema.
- Ampliar la lista de formatos compatibles con el sistema GeoArvense para permitir una mayor interoperabilidad en los diferentes SIG.
- Poner esta herramienta a disposición de los Expertos en el Manejo de Arvenses de la UNAH y del Complejo Científico Docente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agafonkin, V., 2022. Leaflet — an open-source JavaScript library for interactive maps [WWW Document]. URL <https://leafletjs.com/> (accessed 10.14.22).
- Agarwal, S., 2019. Performance Analysis of Spatial Queries and Routing in NoSQL databases. International Institute of Information Technology, Hyderabad.
- Ageringenieros, 2007. Sistemas de Información Geográfica. [WWW Document]. Ageringenieros. URL <http://www.ageingenieros.com/productos/gis/sistemas.php> (accessed 9.27.22).
- Aguirre Mendoz, Z., Jaramillo Díaz, N., Quizhpe Coronel, W., 2019. Arvenses asociadas a cultivos y pastizales del Ecuador, 1st ed. EDILOJA Cía. Ltda., Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- Alvarado, V., 2018. Distribución espacial de *Hypothenemus hampei* Ferrari en agroecosistemas cafetaleros de la selva central del Perú. Bosques Latitud Cero 8, 57–69.
- Araque, I., 2012. Sistema de Información Geográfica para la Mejora de la Gestión y la Toma de Decisiones Difusa en Entornos Oleícolas.
- Azevedo, F.C., Lemos, F.G., Freitas-Junior, M.C., Arrais, R.C., Morato, R.G., Azevedo, F.C.C., 2020. The importance of forests for an apex predator: spatial ecology and habitat selection by pumas in an agroecosystem. Animal Conservation 11. <https://doi.org/doi:10.1111/acv.12659>
- Balaman, S.Y., 2019. Modeling and Optimization Approaches in Design and Management of Biomass-Based Production Chains”, in: Decision-Making for Biomass-Based Production Chains. pp. 185–236.
- Basiouka, S., Potsiou, C., 2014. The volunteered geographic information in cadastre: perspectives and citizens’ motivations over potential participation in mapping. GeoJournal 9, 343–355. <https://doi.org/DOI 10.1007/s10708-013-9497-7>

- Baumber, A., Metternicht, G., Ampt, P., Cross, R., Berry, E., 2018. Opportunities for adaptive online collaboration to enhance rural land management. *Journal of Environmental Management* 219, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.1140301-4797/>
- Bezoz, I., 2009. Sistemas de Información Geográfica e Infraestructuras de Datos Espaciales. Significados en el contexto del ordenamiento territorial. *Jornadas Regionales de Información Geográfica y Ordenamiento Territorial* 1, 67–80.
- Bimonte, S., Besnard, A., Edoh-Alove, E., Hassan, A., Prince, C., Sakka, A., Zaraté, P., 2018. VGI users & data centered methods for the analysis of farmland biodiversity indicators open issues. Presented at the 21th AGILE International Conference on Geographic Information Science (AGILE 2018), OATAO, Lund, Suecia, p. 5.
- Blanco Valdes, Y., 2016. El Rol De Las Arvenses Como Componente En La Biodiversidad De Los Agroecosistemas. *Cultivos Tropicales* 37, 34–56. <https://doi.org/DOI: 10.13140/RG.2.2.10964.19844>
- Blanco Valdes, Y., Leyva, A., 2007. Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales* 28, 1819–4087. <https://doi.org/DOI: 10.13140/RG.2.2.10964.19844>
- Bontemps, S., Herold, M., Kooistra, L., van Groenestijn, A., Hartley, A., Arino, O., Moreau, I., Defourny, P., 2012. Revisiting land cover observation to address the needs of the climate modeling community. *Biogeosciences* 9, 2145–2157. <http://dx.doi.org/10.5194/bg-9-2145-2012>
- Brovelli, M.A., Kilsedar, C.E., Zamboni, G., 2016. Visualization of VGI Data through the New Nasa Web World Wind Virtual Globe. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLI-B4*, 205–209. <https://doi.org/DOI 10.5194/isprsarchives-XLI-B4-205-2016>.
- Burrough, P., 1986. *Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment*.

- Cetl, V., Ioannidi, C., Dalyot, S., Doytsher, Y., Felus, Y., Haklay, M., Mueller, H., Potsiou, C., Rispoli, E., Siriba, D., 2019. The land surveyors role in the Era of crowdsourcing and VGI: new trends in geospatial information : current state and practices within the land surveying, mapping and geo-science communities. The International Federation of Surveyors (FIG), Frederiksberg.
- Chinea, A., O'Reilly, F., Cortegaza, P., 2007. Sistemas de Información Geográfica de lafitoprotección de lacaña de azúcar. Revista de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba 68, 4.
- Chrisman, N., 1997. Exploring geographic information systems. John Wiley & Sons, New York.
- Chuvieco, E., Bosque, J., Pons, X., Colonesa, C., Santos, ., 2005. ¿Son las tecnologías de la información geográfica (TIG) parte del núcleo de la geografía? Presented at the Asociación de Geógrafos Españoles., Madrid, España.
- Cinnamon, J., Schuurman, N., 2013. Confronting the data-divide in a time of spatial turns and volunteered geographic information. *Geojournal* 78, 657–674. <https://doi.org/DOI 10.1007/s10708-012-9458-6>
- Cowen, D., 1988. GIS versus CAD versus DBMS: What are the Differences? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54, 1551–1554.
- Craglia, M., Ostermann, F., Ostermann, L., 2012. Digital Earth from vision to practice: making sense of citizen-generated content. *International Journal of Digital Earth* 5, 398–416.
- Dalgaard, T., Hutchings, J., Hansen, J., Borgesen, C., 2003. Agroecology and GIS: Managing interactions between agriculture, nature and economy, in: Helming, K., Wiggering, H. (Eds.), *Sustainable Development of Multifunctional Landscapes*.
- Ding, X., Fan, H., 2019. Exploring the Distribution Patterns of Flickr Photos. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8, 418. <https://doi.org/10.3390/ijgi8090418>

- Django Software Foundation, 2022. GeoDjango | Django documentation | Django [WWW Document]. URL <https://docs.djangoproject.com/en/4.1/ref/contrib/gis/> (accessed 9.13.22).
- Ebitu, L., Avery, H., Mourad, K.A., Enyetu, J., 2021a. Citizen science for sustainable agriculture – A systematic literature review. *Land Use Policy* 103, 105326. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105326>
- Ebitu, L., Avery, H., Mourad, K.A., Enyetu, J., 2021b. Citizen science for sustainable agriculture – A systematic literature review. *Land Use Policy* 103, 105326. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105326>
- Falcón, M., 2013. Análisis del conflicto de uso de las tierras de la UBPC “LV Aniversario de la CTC” como contribución a su explotación sostenible. Mayabeque. (Máster en Ciencias del Suelo. Universidad Agraria de la Habana.). UNAH, Facultad de Agronomía. Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural (CEDAR).
- Fallas, G., 2009. Metodología para el análisis de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas ecológicas y convencionales en Costa rica. San José. (Master en Manejo de Recursos Naturales con Mención en Gestión de la Biodiversidad). Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Costa rica. San José.
- Fand, B.B., Choudhary, J.S., Kumar, M., Bal, S.K., 2014. Phenology Modelling and GIS Applications in Pest Management: A Tool for Studying and Understanding Insect-Pest Dynamics in the Context of Global Climate Change, in: Gaur, R.K., Sharma, P. (Eds.), *Approaches to Plant Stress and Their Management*. Springer, India.
- Fandos, C., Soria, F., Scandaliaris, J., Scandaliaris, P., 2007. Integración de imágenes satelitales y SIG para la determinación de daños por heladas en la caña de azúcar, zafra 2007, Tucumán, Argentina. Presented at the Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, Brasil, pp. 151–158.

- Fast, V., Rinner, C., 2018a. Toward a participatory VGI methodology: crowdsourcing information on regional food assets. *International Journal of Geographical Information Science* 32, 2209–2224. <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1480784>
- Fast, V., Rinner, C., 2018b. Toward a participatory VGI methodology: crowdsourcing information on regional food assets. *International Journal of Geographical Information Science* 32, 2209–2224. <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1480784>
- Fast, V., Rinner, C., 2014a. A Systems Perspective on Volunteered Geographic Information. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 3, 1278–1292. <https://doi.org/10.3390/ijgi3041278>
- Fast, V., Rinner, C., 2014b. A Systems Perspective on Volunteered Geographic Information. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 3, 1278–1292. <https://doi.org/10.3390/ijgi3041278>
- Fogliaroni, P., D'Antonio, F., Clementini, E., 2018a. Data trustworthiness and user reputation as indicators of VGI quality. *Geo-spatial Information Science* 21, 213–233.
- Fogliaroni, P., D'Antonio, F., Clementini, E., 2018b. Data trustworthiness and user reputation as indicators of VGI quality. *Geo-spatial Information Science* 21, 213–233. <https://doi.org/10.1080/10095020.2018.1496556>
- Fuenzalida, M., 2015. La perspectiva del análisis espacial en los Sistemas de Información Geográfica, in: Miraglia, M., Caloni, N., Buzai, G.D. (Eds.), *Sistemas de Información Geográfica En La Investigación Científica Actual*. UNGS, Buenos Aires, Argentina.
- Gallo, T., Waite, D., 2011. Creating a Successful Citizen Science Model to Detect and Report Invasive Species. *BioScience* 61, 459–465. <https://doi.org/doi:10.1525/bio.2011.61.6.8>
- García, E.B., 2020. Sistema de Información Geográfica para el control de cultivos.

- García, J.L., 2017. 10 cosas que quizá no sabías de Leaflet. MappingGIS. URL <https://mappinggis.com/2017/10/10-cosas-quizas-no-sabias-leaflet/> (accessed 10.14.22).
- García, R.A., Villazón, J.A., 2021. Sensoramiento remoto de la salinidad en el agroecosistema Mayarí de la provincia Holguín, Cuba. RCTA 30, 26–32.
- GDAL API [WWW Document], 2022. . Django documentation | Django. URL <https://docs.djangoproject.com/en/4.1/ref/contrib/gis/gdal/> (accessed 10.14.22).
- GeoJSONSociety, 2020. GIS (Geographic Information System) [WWW Document]. National Geographic Society. URL <http://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/geographic-information-system-gis/> (accessed 12.10.20).
- Goes, P., 2013. Editor's comments: Commonalities across IS silos and Intradisciplinary information systems research. MIS Quarterly 37, iii–vii.
- Gómez, F.J., 2018. Los Sistemas de Información Geográfica : su importancia y su utilidad en los estudios medioambientales. Vasconia. Cuadernos de Historia-Geografía.
- Gómez, M., Barredo, J., 2005. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio.
- Gómez-Barrón, J., Manso Callejo, M.Á., Alcarria, R., Iturrioz, T., 2016a. Volunteered Geographic Information System Design: Project and Participation Guidelines. ISPRS International Journal of Geo-Information 5, 108. <https://doi.org/10.3390/ijgi5070108>
- Gómez-Barrón, J., Manso Callejo, M.Á., Alcarria, R., Iturrioz, T., 2016b. Volunteered Geographic Information System Design: Project and Participation Guidelines. ISPRS International Journal of Geo-Information 5, 108. <https://doi.org/10.3390/ijgi5070108>
- González, L., 2013. La organización de la producción agroazucarera, mediante un sistema de información geoespacial en la UBPC “Pablo Noriega” del

- municipio Quivicán. Mayabeque (Tesis de Maestría). Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía. Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural (CEDAR).
- Goodchild, Michael F., 2007a. Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research* 2, 24–32. <https://doi.org/10.2902/>
- Goodchild, Michael F., 2007b. Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal* 69, 211–221. [https://doi.org/DOI 10.1007/s10708-007-9111-y](https://doi.org/DOI%2010.1007/s10708-007-9111-y)
- Goodchild, Michael F., 2007c. Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research* 2, 24–32. <https://doi.org/10.2902/>
- Goodchild, Michael F., 2007. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal* 69, 211–221. <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>
- Girra, J., Bédard, Y., Roche, S., 2009. Spatial Data Uncertainty in the VGI World: Going from Consumer to Producer. *GEOMATICA* 64, 61–71.
- Haklay, M., Sui, D.Z., Elwood, S., Goodchild, M.F., 2013. Citizen science and volunteered geographic information: Overview and typology of participation., in: *Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice*. The Netherlands, Springer: Dordrecht, pp. 105–122.
- Hernández, T., 2021. Frameworks en el desarrollo de aplicaciones webmap. UNIGIS. URL <https://www.unigis.es/frameworks-en-el-desarrollo-de-aplicaciones-webmap/> (accessed 10.19.22).
- Howe, J., 2006. The rise of crowdsourcing. *Wired Mag.* 14, 1–4.
- Hulbert, J.M., Agne, M.C., Burgess, T.I., Roets, F., Wingfield, M., 2017. Urban environments provide opportunities for early detections of *Phytophthora*

- invasions. *Biol Invasions* 19, 3629–3644. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1585-z>
- INEGI, 2022. Mapa [WWW Document]. INEGI. URL <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267636> (accessed 10.14.22).
- JetBrains s.r.o., 2022. PyCharm: the Python IDE for Professional Developers by JetBrains [WWW Document]. JetBrains: Developer Tools for Professionals and Teams. URL <https://www.jetbrains.com/lp/pycharm-pro/> (accessed 9.14.22).
- Kurniadi, D., Mulyani, A., Septiana, Y., Akbar, G.G., 2019. Geographic information system for mapping public service location. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 022073 1402, 6. <https://doi.org/doi:10.1088/1742-6596/1402/2/022073>
- Labrada, R., Parker, C., 1996. El control de malezas en el contexto del manejo integrado de plagas, in: *Manejo de Malezas Para Países En Desarrollo. (Estudio FAO Producción y Protección Vegetal - 120)*. Roma, Italia, p. 13.
- Lake, R., Farley, J., 2007. Infrastructure for the geospatial Web., in: Scharl, A., Tochtermann, K. (Eds.), *The Geospatial Web: How Geobrowsers, Social Software, and the Web 2.0 Are Shaping the Network Society*. Londres, Springer.
- Liu, J., Mahoney, K., Sikkema, P., Swanton, C., 2009. The importance of light quality in crop–weed competition. *Weed Research* 49, 217–224. <https://doi.org/DOI:10.1111/j.1365-3180.2008.00687.x>
- Llorente, A., 2012. Cartografía delictiva: Herramientas SIG y mapas on-line. *Revista Catalana de Geografia* IV, XVII 46.
- Losada, N., 2019. La Cartografía Colaborativa o Información Geográfica Voluntaria. *Geoinnova*. URL <https://geoinnova.org/blog-territorio/cartografia-colaborativa/> (accessed 12.9.20).
- Malek, R., Tattoni, C., Ciolli, C., Corradini, S., Andreis, D., Ibrahim, A., Mazzoni, V., Eriksson, A., Anfora, G., 2018. Coupling Traditional Monitoring and Citizen

- Scienceto Disentangle the Invasion of *Halyomorpha halys*. ISPRS Int. J. Geo-Inf 7. <https://doi.org/doi:10.3390/ijgi7050171>
- MapLarge, 2020. GeoJSON - GIS Data Format [WWW Document]. MapLarge. URL <https://maplarge.com/> (accessed 12.29.20).
- McKenzie, S.A., 1990. Geographic Information System for the sugar industry. Proc. Austr. Soc. CaneTechnol.
- Mena, C., Ormazabal, Y., Llanos, J., Díaz, J., 2007. Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica para mejorar la gestión del agua de riego del embalse Convento Viejo, Chile. Agricultura Técnica 67, 49–59.
- Miranda, I., 2019. Pronóstico de la distribución de las principales plagas de *Solanum tuberosum* L. en correspondencia con el desarrollo del cultivo en escenarios climáticos futuros (Proyecto). Cuba.
- Mondragón, R.M.B., 2019. La Aplicación De Los Sistemas De Información Geográfica En Estudios De Evaluación De Impacto Social Para El Sector De Hidrocarburos (Maestría). Iztapalapa, México, Ciudad de México.
- Morales, A., 2022. Lenguajes de programación para GIS. MappingGIS. URL <https://mappinggis.com/2012/11/lenguajes-de-programacion-gis/> (accessed 9.13.22).
- Morales, A., 2017. Creación de mapas base para visores webmapping con QGIS (parte I). MappingGIS. URL <https://mappinggis.com/2017/03/creacion-de-mapas-base-para-visores-webmapping-con-qgis/> (accessed 12.5.22).
- Mutembesa, D., Omongo, C., Mwebaze, E., Nsumba, S., Mutaasa, H., 2019. Mobile community sensing with smallholder farmers in a developing nation. A scaled pilot for crop health monitoring. HCOMP 6.
- NCGIA, 1990. NCGIA Core Curriculum.
- Ndzabandzaba, C., 2019. Participatory Geographic Information System (PGIS): A Discourse Toward a Solution to Traditional GIS Challenges, in: Brunn, S.D., Kehrein, R. (Eds.), Handbook of the Changing World Language Map.

- Springer Nature Switzerland AG, Institute for Water Research, Rhodes University, Grahamstown, South Africa.
- Neumann, W.P., Dixon, S.M., Ekman, M., 2012. Ergonomics action research I: shifting from hypothesis testing to experiential learning. *Ergonomics* 55, 1127–1139. <https://doi.org/doi:10.1080/00140139.2012.700327>
- Newman, G., Zimmerman, D., Crall, A., Laituri, M., Graham, J., Stapel, L., 2010. User-friendly web mapping: lessons from a citizen science website 24, 1851–1869. <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2010.490532>
- Olteanu-Raimond, A.-M., See, L., Schultz, M., Foody, G., Riffler, M., Gasber, T., Jolivet, L., Bris, A. le, Meneroux, Y., Liu, L., Poupée, M., M. Gombert, 2020. Use of Automated Change Detection and VGI Sources for Identifying and Validating Urban Land Use Change. *Remote Sensing* 12, 1186. <https://doi.org/10.3390/rs12071186>
- Padhy, D., 2020. Principles of Integrated Pest and Disease Management.
- Pérez, A., Botella, A., Olivella, A.R., Olmedillas, J., Rodríguez, J., 2011. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica y Geotelemática.
- Pérez, E., Paredes, E., Almaguel, L., Vázquez, L., Veitía, M.M., Botta, E., González, M., 2008. Metodologías de pruebas biológicas para la determinación de organismos nocivos y residuos fitotóxicos en suelo, sustrato y materia orgánica.
- Perez-Garcia, C.A., Pérez-Atray, J.J., Hernández-Santana, L., Gustabello-Cogle, R., Armas, E.B., 2019. Sistema de Información Geográfica para la agricultura cañera en la provincia de Villa Clara. *Rev. Cuba. Cienc. Inform.* 13, 30–46.
- Perniola, O.S., Chorzempa, S.E., Staltari, S., Molina, M. del C., 2019. Biofumigación con *Brassica juncea*: efecto sobre la flora arvense. *Revista de la Facultad de Agronomía* 118, 25–35.
- PESHIN, R., DHAWAN, A.K., 2009a. Integrated Pest Management: Dissemination and Impact. Springer: Dordrecht, The Netherlands.

- PESHIN, R., DHAWAN, A.K., 2009b. Integrated Pest Management: Innovation-Development Process. Springer: Dordrecht, The Netherlands.
- Peteira, B., 2020. La resistencia inducida como alternativa para el manejo de plagas en las plantas de cultivo. *Revista de Protección Vegetal* 35, 12.
- Peteira Delgado-Oramas, B., 2020. La resistencia inducida como alternativa para el manejo de plagas en las plantas de cultivo. *Revista de Protección Vegetal* 35, 12.
- Ponce de León, D., Balmaseda, C., 2004. Manual. Fundamentos Teórico - Prácticos de Sistemas de Información Geográfica.
- Python Software Foundation, 2022. El tutorial de Python — documentación de Python - 3.10.7 [WWW Document]. URL <https://docs.python.org/es/3/tutorial/> (accessed 9.13.22).
- Rahman, M., Blackwell, B., Banerjee, N., Saraswat, D., 2015. Smartphone-based hierarchical crowdsourcing for weed identification. *Computers and Electronics in Agriculture* 113, 14–23.
- Recio Aguado, B., Valero Ubierna, C., Diezma Iglesias, B., 2009. Las tecnologías de la información en la agricultura: asignatura pendiente. *Vida Rural* 21–25.
- Rocha, V., 2005. Uma nova tecnologia para gerenciamento agrícola das usinas e destilarias. *ÁLCOOL & ACUCAR*. 79, 30–35.
- Rodríguez, O., González, S., Piñeiro, S., Pedroso, D., Chacón, L., Herrera, Y., Artigas, E., 2021. Fortalecimiento de la Autogestión Comunitaria para Desarrollo Territorial. experiencias desde la educación Superior. *Desarrollo y Territorio* 11.
- Rodríguez, Y., Paredes, E., Oviedo, R., Gutiérrez, J.E., 2014. Multimedia Manejo de Arvenses en Cultivos Agrícolas de Cuba.
- Rojas, J., 2016. Cartografía participativa y Sistemas de Información Geográficos. Algunas experiencias desde las ciencias sociales cubanas. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina* 4.

- Rouault, Even, Warmerdam, Frank, Schwehr, Kurt, Kiselev, Andrey, Butler, Howard, Łoskot, Mateusz, Szekeres, Tamas, Tourigny, Etienne, Landa, Martin, Miara, Idan, Elliston, Ben, Kumar, Chaitanya, Plesea, Lucian, Morisette, Daniel, Jolma, Ari, Dawson, Nyall, 2022. GDAL. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.5884351>
- See, L., Estima, J., Pődör, A., Arsanjani, J.J., Laso, J.C., Vatseva, R., 2017. Categorisation of VGI Sources for Mapping, in: Foody, G., Fritz, S., Mooney, P., Olteanu-Raimond, A.-M., Costa Fonte, C., Antoniou, V. (Eds.), Mapping and the Citizen Sensor. Ubiquity Press Ltd., Londres, Reino Unido, pp. 13–36.
- See, L., Mooney, P., Foody, G., Bastin, L., Comber, A., Estima, J., Fritz, S., Kerle, N., Jiang, B., Laakso, M., 2016. Crowdsourcing, citizen science or Volunteered Geographic Information? The current state of crowdsourced geographic information. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 5.
- Seeger, C.J., 2008. The Role of Facilitated Volunteered Geographic Information in the Landscape Planning and Site Design Process. *Geojournal* 72, 199–213.
- Seguel, D., 2008. Tierra, sentido y territorio: La ecuación geosemántica. *Revista AAInteligencia*.
- Severinsen, J., de Roiste, M., Reitsma, F., Hartato, E., 2019. VGTrust: measuring trust for volunteered geographic information. *International Journal of Geographical Information Science*. <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1572893>
- Solano, Á.T., Gúzman, C.Á., 2020. Diversidad De Plantas Arvenses Presentes En La Granja La María De La Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia Y Sus Beneficios Ecológicos Tunja- Boyacá. (grado). Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia, Tunja, Colombia.
- Sun, T., Xia, H., Li, L., Shen, H., Liu, Y., 2019. A Semantic Expansion Model for VGI Retrieval. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8, 589. <https://doi.org/10.3390/ijgi8120589>

- Sun, Z., Wang, D., Zhong, G., 2018. Extraction of Farmland Geographic Information Using OpenStreetMap Data, in: 2018 7th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics). Presented at the 2018 7th International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics), pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/Agro-Geoinformatics.2018.8476088>
- The PostgreSQL Global Development Group, 2022. PostgreSQL: About [WWW Document]. URL <https://www.postgresql.org/about/> (accessed 9.13.22).
- Torres, Z.A., Fernández, Y., Díaz, D., 2022. Arvenses hospedantes de plagas en el cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum*, L), en Las Tunas, Cuba. *Apuntia Brava* 14, 178–190.
- Tully, D., Tully, D., Tully, D., Tully, D., Tully, D., Tully, D., 2015. Hybrid 3D rendering of large map data for crisis management. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 4, 1033. <https://doi.org/0.3390/ijgi4031033>
- Turner, A., 2006. Introduction to Neogeography [WWW Document]. URL <http://oreilly.com/catalog/9780596529956/cover.html>
- Vázquez, L.L., 2006. La lucha contra las plagas agrícolas en Cuba. De las aplicaciones de plaguicidas químicos por calendario al manejo agroecológico de plagas. *FITOSANIDAD* 10, 221–242.
- Weed, A.S., Schwarzländer, M., 2014. Density dependence, precipitation and biological control agent herbivory influence landscape-scale dynamics of the invasive Eurasian plant *Linaria dalmatica*. *Journal of Applied Ecology* 51, 825–834. <https://doi.org/doi:10.1111/1365-2664.12226>
- Yan, Y., 2016. Exploring Volunteered Geographic Information with data quality control for integrated pest management.
- Yan, Y., Feng, C.-C., Chang, K.T.-T., 2017. Towards enhancing integrated pest management based on volunteered geographic information. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6, 224. <https://doi.org/doi:10.3390/ijgi6070224>

- Yan, Y., Feng, C.-C., Huang, W., Fan, H., Wang, Y.-C., Zipf, A., 2020a. Volunteered geographic information research in the first decade: a narrative review of selected journal articles in GIScience. *International Journal of Geographical Information Science*. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1730848>
- Yan, Y., Feng, C.-C., Huang, W., Fan, H., Wang, Y.-C., Zipf, A., 2020b. Volunteered geographic information research in the first decade: a narrative review of selected journal articles in GIScience. *International Journal of Geographical Information Science*. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1730848>
- Zhang, G., 2020. Spatial and Temporal Patterns in Volunteer Data Contribution Activities: A Case Study of eBird. *ISPRS Int. J. Geo-Inf* 9, 597. <https://doi.org/doi:10.3390/ijgi9100597>