

Aplicativo con tecnologías de información geográfica para la evaluación de broca del café (Hypothenemus hampei Ferrari) en Colombia

Daniel Agudelo Quintana

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Magíster en Tecnologías de la Información Geográfica

Director (a):

Ph.D., Omar Antonio Vega

Línea de Investigación: Territorios inteligentes y sostenibles

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica

Manizales, 2023

Agradecimientos

Agradezco en primera instancia a mi familia por apoyarme y motivarme a llegar cada vez más lejos con mis metas y propósitos; también agradezco a todas las personas que orientaron y aportaron su conocimiento, recomendaciones y experiencia, para lograr los resultados obtenidos en la presente investigación.

En especial agradezco a las siguientes personas cuyo apoyo y contribución fue decisivo para culminar la investigación:

Al equipo de la Hacienda Venecia, encabezado por su propietario: Juan Pablo Echeverri, a Giovanny Cuesta Giraldo (agronómo) y a Jerferson Gómez (operario de campo) por participar activamente desde la identificación del problema hasta la realización de pruebas de campo con la constante retroalimentación y disposición para validar la aplicación.

A Yenifer Carolina Jaramillo y a Héctor Jaime Palacio por apoyar las labores de campo necesarias para validar el funcionamiento de la aplicación

Al doctor Pablo Benavides Machado, por sus orientaciones, recomendaciones y aportes que dieron un sustento teórico muy valioso para el proceso investigativo.

Al doctor Omar Antonio Vega por dirigir la investigación y aportar su valioso conocimiento y experiencia.

Resumen

La geolocalización fue una característica que enriqueció los datos al proporcionar un contexto espacial, permitiendo la visualización e interpretación efectiva de la información. En el ámbito del Manejo Integrado de Plagas (MIP), conocer la ubicación de los individuos muestreados y analizar las variables que influyeron en su proliferación en áreas específicas brindó la oportunidad de desarrollar estrategias precisas y eficientes para controlar las plagas en sistemas productivos.

El objetivo principal de este estudio fue validar la utilidad de la incorporación de tecnologías de la información geográfica en el método existente para evaluar los niveles de infestación y penetración de la broca *Hypothenemus hampei* (Ferrari) utilizado por los caficultores en Colombia. Para lograrlo, se llevaron a cabo diversas actividades centradas en la digitalización e integración de la geolocalización en el mencionado método de evaluación, formulado por el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, en 1995.

Los resultados obtenidos revelaron que la innovación tecnológica de digitalizar el formato y agregar la geolocalización proporcionó una visión más completa de la situación de infestación. Esta mejora resultó de gran relevancia para los caficultores participantes, ya que les permitió tomar decisiones de manejo más informadas, lo que, a su vez, se tradujo en un manejo más eficiente de los cultivos en producción. Esta mejora en el manejo puede traer a futuro cosechas de mayor calidad y en última instancia, en una compensación que seguro será más favorable al momento de venta de su producto.

Palabras clave: *Hypothenemus hampei* Ferrari, Geolocalización, Evaluación

Abstract

Geolocation proved to be a feature that enriched data by providing spatial context, enabling effective visualization and interpretation of information. In the realm of Integrated Pest Management (IPM), understanding the location of sampled individuals and analyzing the variables that influenced their proliferation in specific areas offered the opportunity to develop precise and efficient strategies for controlling pests in productive systems.

The primary objective of this study was to validate the utility of incorporating geographic information technologies into the existing method for assessing infestation levels of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) used by coffee growers in Colombia. To achieve this, various activities focused on digitizing and integrating geolocation into the aforementioned evaluation method, formulated by the National Coffee Research Center, Cenicafé, in 1995.

The results obtained revealed that the technological innovation of digitizing the format and adding geolocation provided a more comprehensive view of the infestation situation. This improvement was of great relevance to the participating coffee farmers, as it allowed them to make more informed management decisions, which, in turn, translated into more efficient management of the crops in production. This improvement in management can bring higher quality harvests in the future and ultimately, a compensation that will surely be more favorable at the time of sale of your product.

Keywords: *Hypothenemus hampei* (Ferrari), Geolocation, Evaluation of coffee berry borer, Geographic information systems, Integrated Pest Management (IPM).

Contenido

	Pág.
1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación	12
1.1 Descripción del área problemática.....	12
1.2 Formulación del problema.....	14
1.3 Justificación.....	14
2. Objetivos.....	18
2.1 Objetivo general	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3. Antecedentes.....	19
4. Referente normativo y legal.....	28
5. Referente teórico.....	31
5.1 Cultivo de café.....	31
5.2 Broca del café.....	34
5.3 Técnicas de información geográfica	40
6. Metodología.....	44
6.1 Enfoque metodológico.....	44
6.2 Tipo de estudio	44
6.3 Procedimiento.....	43
6.4 Población o unidad de trabajo	46

V Aplicativo con tecnologías de información geográfica para la evaluación
de broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) en Colombia

6.5	Muestra y muestreo	47
6.6	Operacionalización de variables	48
6.7	Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	50
6.8	Plan de análisis	51
7.	Resultados.....	53
7.1	Identificación de los sitios de muestreo	53
7.2	Fase 1: Adaptación del formato de evaluación de infestación de broca (análogo a digital)	59
7.3	Fase 2: Integración de la versión digital del formato a una base de datos en línea.....	72
7.4	Fase 3. Desarrollo del geovisor para la visualización de resultados.....	73
7.5	Fase 4. Validación del funcionamiento del aplicativo desarrollado.....	80
	Discusión de resultados.....	94
8.	Conclusiones.....	102
9.	Recomendaciones.....	109
10.	Referencias	115
	<i>Anexo 1. Formatos para evaluación de infestación y penetración utilizados en campo por administradores de fincas cafeteras</i>	<i>127</i>
	<i>Anexo 2: Publicaciones relevantes que se refieren al método de evaluación y penetración de la broca en los cultivos de café.....</i>	<i>116</i>
	<i>Anexo 3: Premisas de diseño del formulario digital para evaluación de infestación y penetración de la broca del café.....</i>	<i>119</i>
	<i>Anexo 4: Atributos del formulario digital utilizados para el diseño de la evaluación de infestación</i>	<i>131</i>
	<i>Anexo 5: Diseño de la interfaz y funcionalidades del formulario digital para evaluación de infestación y penetración de la broca del café.....</i>	<i>141</i>
	<i>Anexo 6. Distribución de muestras en los lotes de estudio</i>	<i>156</i>

Anexo 7. Etapas del proceso de validación del aplicativo en las fincas..... 161

Anexo 8. Proceso de selección de la representación cartográfica de resultados de evaluación de la broca 169

Anexo 9. Reconocimiento a un proyecto orientado a evaluación de broca del café 171

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1.....	37
Figura 2.....	38
Figura 3.....	39
Figura 4.....	40
Figura 5.....	51
Figura 6.....	54
Figura 7.....	55
Figura 8.....	57
Figura 9.....	58
Figura 10.....	62
Figura 11.....	63
Figura 12.....	65
Figura 13.....	67
Figura 14.....	68
Figura 15.....	73
Figura 16.....	76
Figura 17.....	78
Figura 18.....	87
Figura 19.....	89
Figura 20.....	91

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1.	48
Tabla 2.	52
Tabla 3.	56
Tabla 4.	69
Tabla 5.	70
Tabla 6.	80
Tabla 7.	81
Tabla 8.	82
Tabla 9.	83
Tabla 10.	85
Tabla 11.	88
Tabla 12.	92

Lista de símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>AFLP</i>	Amplified Fragment Length Polymorphisms, técnica basada en la amplificación selectiva de los fragmentos de restricción mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR)
<i>APP</i>	Apócope de la voz inglesa <i>applicatiomn</i> usada para referirse a una aplicación informática para dispositivos móviles y tabletas
ArcGIS	Software licenciado para implementación de Sistemas de Información Geográfica desarrollado por ESRI©
<i>BBCH</i>	Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und CHemische Industrie, sistema para codificación uniforme de identificación fenológica de estadios de crecimiento para las plantas mono y dicotiledóneas
<i>Cenicafé</i>	Centro Nacional de Investigaciones de café
<i>ENIB</i>	Evaluación de los Niveles de Infestación de Broca.
ESRI	Environmental Systems Research Institute, empresa de software especializada en sistemas de información geográfica
<i>GPS</i>	Global Positioning System / Sistema de posicionamiento global.
<i>GRASS GIS</i>	Geographic Resources Analysis Support System - Geographic Information System, software libre que proporciona herramientas para el almacenamiento, visualización y análisis de datos espaciales.

<i>Ha / ha</i>	Hectárea, unidad de medida de área correspondiente a 10.000m ²
<i>ICA</i>	Instituto Colombiano Agropecuario, entidad pública colombiana, adscrita al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
<i>ICO</i>	International Coffee Organization / Organización Internacional del Café
<i>IGAC</i>	Instituto Geográfico Agustín Codazzi, entidad encargada de producir el mapa oficial y la cartografía básica de Colombia, así como elabora el catastro nacional de la propiedad inmueble.
<i>m.s.n.m / msnm</i>	Metros sobre el nivel del mar, medida de altitud.
<i>MaxEnt</i>	Maximum Entropy / Entropía Máximo, la herramienta <i>Predicción solo de presencia (MaxEnt)</i> , de ESRI, utiliza un enfoque de entropía máximo (MaxEnt) para estimar la probabilidad de presencia de un fenómeno.
<i>MIB</i>	Manejo Integrado de la Broca
<i>MIP</i>	Manejo Integrado de Plagas
<i>MoM</i>	Method of Moment / Método de Momentos, método de estimación de los parámetros poblacionales
<i>NVDI</i>	Normalized Difference Vegetation Index / Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, un indicador de la biomasa fotosintéticamente activa o, en términos simples, un cálculo de la salud de la vegetación.
<i>OLS</i>	Ordinary Least Squares / Mínimos Cuadrados Ordinarios o Mínimos Cuadrados Lineales, método para encontrar los parámetros poblacionales en un modelo de regresión lineal
<i>PDF</i>	Portable Document Format / Formato de Documento Portátil, extensión

V Aplicativo con tecnologías de información geográfica para la evaluación de broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) en Colombia

de archivos con estándares mundiales para una distribución e intercambio seguros y fiables como documentos electrónicos

QGIS Quantum GIS, software de código libre que permite manejar formatos ráster y vectoriales así como bases de datos.

REML Residual maximum likelihood / Máxima Verosimilitud Restringida, método de estimación que utiliza una función de verosimilitud calculada a partir de una conjunto de datos transformado, de modo que los parámetros molestos no tengan ningún efecto

SIG / GIS Sistemas de Información Geográfica / Geographic Information System

TIG Tecnologías de Información Geográfica

WGS 84 World Geodetic System / Sistema Geodésico Mundial 1984, sistema desarrollado a partir de observaciones satelitales

1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

1.1 Descripción del área problemática

El cultivo del café en Colombia se constituye en unos de los principales renglones socio- económicos, debido a su significativa participación en las exportaciones del país pero, especialmente, por la cantidad de personas involucradas en su proceso de producción y comercialización, como lo señala Vélez (2021):

El valor de la cosecha cerró el año en \$10,8 billones, 20% más que el récord de 2020, lo que contribuye al crecimiento económico del país, sobre todo en los más de 600 municipios y 23 departamentos donde se cultiva el grano.

El café genera unos 960.000 empleos directos y tiene un efecto multiplicador sobre los demás eslabones de la cadena: transporte, fertilizantes y agroquímicos, herramientas y maquinaria, servicios técnicos y profesionales, etc. Por otro lado, el buen precio dinamiza el consumo en las regiones cafeteras.

(p.9)

La broca del café (*Hyphotenemus hampei* Ferr.), es un insecto coleóptero que se ha constituido en la principal plaga de importancia económica del cultivo en el mundo, con afectación directa al grano. Aunque hay reportes de su presencia en países africanos (Gabón y Uganda, específicamente), desde inicios del siglo XX, en el continente americano se observa por primera vez en 1923 en cultivos ubicados en Brasil, mientras

en Colombia se detecta en el año 1988.

Debe señalarse que la hembra adulta penetra al fruto con miras a asegurar el futuro de su progenie, ocasionando daños como disminución del peso del fruto, entrada de microorganismos por el orificio y caída de frutos, lo que redundará en la pérdida en la calidad del grano, por ende de su precio, y la bebida final.

La Federación Nacional de Cafeteros, a través de Cenicafé, ha llevado a cabo investigaciones, llegando a definir el Manejo Integrado de la Broca (MIB) que, de acuerdo con Bustillo et al. (1998, p.11-14), comprende una serie de medidas y acciones de manejo, de carácter agronómico (controles cultural, biológico y químico) y administrativo, con el objetivo de reducir la población de broca a niveles por debajo del umbral de daño económico.

Entre los elementos fundamentales en la toma de decisiones para el manejo de la plaga, el MIB señala la evaluación de broca en los cultivos, mediante dos acciones mensuales y debidamente registradas en los formatos en papel correspondientes, según contempla el Centro Nacional de Investigaciones de Café [Cenicafé] (2014, p. 29-30):

- Cálculo del nivel de infestación, a partir de un muestreo de 30 sitios por hectárea de cultivo, mediante un recorrido en zig-zag, donde en cada sitio se selecciona una rama productiva para contar la totalidad de frutos en ella, así como el total de frutos *brocados*.

- Determinación de la posición de la broca en el fruto, aprovechando el recorrido, se reogen 2 o 3 granos *brocados* por sitio, para luego abrirlos y conocer el grado de penetración (Posición

A. Broca iniciando perforación; Posición B. Broca en el canal de penetración; Posición

C. Broca perforando la almendra; Posición D. Broca con su descendencia (huevos, larvas y pupas))

Sin embargo, este método no permite una identificación precisa de la concentración de la plaga en áreas específicas conocidas como *focos* o *puntos calientes* dentro del lote, donde, en caso de ser necesario, debieran realizarse aplicaciones localizadas de insecticidas, “no de forma generalizada, con el fin de proteger el cultivo, evitar uso excesivo de producto, ocasionar deterioro al medio ambiente y desequilibrios biológicos” (Cenicafé, 2013, p. 181).

1.2 Formulación del problema

¿La incorporación de tecnologías de la información geográfica al método utilizado actualmente en los cultivos de café de Colombia para estimar los niveles de infestación de la broca *Hypothenemus hampei* (Ferrari) y determinar su posición de penetración permite mejorar la gestión del manejo integrado de plagas?

1.3 Justificación

La integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sistemas de posicionamiento global (GPS) ha representado una auténtica revolución en la forma en que abordamos el manejo de sistemas productivos, especialmente en el ámbito de la agricultura. Estas tecnologías avanzadas han abierto un abanico de posibilidades que nos permiten desarrollar estrategias más precisas y eficientes, lo que puede tener un impacto de gran trascendencia en el control de plagas a nivel de fincas y regiones agrícolas. Este proyecto de investigación se enfoca específicamente en la evaluación de los niveles de infestación y penetración de la broca en los cultivos de café en Colombia,

un desafío crucial para la calidad y la productividad de uno de los productos agrícolas más emblemáticos del país.

En el contexto actual, la evaluación de los niveles de infestación de la broca en los cultivos de café en Colombia se basa en un método estadístico no espacial. Este método implica un muestreo aleatorio en una unidad de área sembrada de café, generalmente una hectárea, que produce un porcentaje generalizado que se aplica a toda la extensión del lote evaluado. Esto se traduce en una estimación generalizada de la severidad o grado de infestación de la plaga como un único valor. A pesar de su utilidad, este enfoque presenta limitaciones notables; su implementación en el territorio ha presentado dificultades por parte de los caficultores debido a las barreras educativas, afirma Aristizábal, Salazar y Mejía (2002, p.25), y, por otra parte, no aprovecha plenamente las potencialidades que ofrecen las tecnologías geoespaciales modernas, como los dispositivos de posicionamiento satelital.

La relevancia y la necesidad de este proyecto se fundamentan en múltiples dimensiones. En primer lugar, desde una perspectiva teórica, el proyecto responde a la pregunta fundamental de cómo podemos aprovechar al máximo las tecnologías geoespaciales avanzadas para abordar el problema de la infestación de la broca en los cultivos de café. Esta cuestión teórica motiva no solo al investigador sino también a la comunidad académica, ya que representa una oportunidad para avanzar en la comprensión y aplicación de estas herramientas innovadoras en el contexto agrícola. Desde un punto de vista práctico, la importancia de este proyecto se manifiesta en su capacidad para generar soluciones concretas a problemas agrícolas reales. El control de plagas es un aspecto crítico tanto desde una perspectiva económica como en

términos de agricultura sostenible. Al incorporar tecnologías de información geográfica, podemos obtener una comprensión más profunda de los patrones de distribución de la broca en los campos de café, lo que nos permite tomar medidas más precisas y efectivas para su control. Esto, a su vez, puede llevar a una gestión más eficiente de los recursos económicos invertidos en el control químico, lo que resulta en un ahorro económico y una reducción de la cantidad de pesticidas aplicados. Los beneficios son evidentes tanto para los agricultores como para la sociedad en general, ya que se promueve una agricultura más sostenible y se mejora la calidad del producto final.

Además, la novedad de este enfoque radica en su aplicación específica en el contexto colombiano. A pesar de los avances en el uso de tecnologías geoespaciales en la agricultura en otras partes del mundo, no se ha encontrado evidencia de un enfoque similar aplicado al control de la broca en Colombia. Por lo tanto, este proyecto tiene el potencial de llenar un vacío en la investigación y la aplicación práctica en el país, lo que es de gran importancia para la comunidad agrícola colombiana.

En cuanto a la utilidad, los beneficios de este proyecto son múltiples y abarcan diversos sectores. Desde el punto de vista económico, los resultados podrían mejorar la calidad del café colombiano, un producto emblemático que sustenta a miles de productores y sus familias en el país. Además, esta investigación puede tener un impacto significativo en la agricultura de precisión, lo que se traduciría en una agricultura más eficiente y sostenible. El ahorro económico derivado de un control de plagas más preciso y eficiente no solo beneficia a los agricultores, sino que también puede contribuir al desarrollo del sector agrícola en Colombia, fortaleciendo su posición en el

mercado internacional.

En resumen, este proyecto de investigación sobre la incorporación de tecnologías de información geográfica en la evaluación de la infestación de la broca en cultivos de café en Colombia se justifica por su relevancia teórica, su capacidad para generar soluciones prácticas, su aplicabilidad en el contexto colombiano, su utilidad en términos económicos y ambientales, y su potencial para superar barreras educativas. Representa una oportunidad para avanzar en la comprensión y aplicación de tecnologías innovadoras en la agricultura, beneficiando a la sociedad y al sector agrícola en general. Además, contribuye al desarrollo de nuevas metodologías y enfoques que pueden tener un impacto positivo en la agricultura colombiana del cual derivan su sustento los productores y sus familias, y en la competitividad de sus productos agrícolas a nivel internacional.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar un aplicativo de apoyo a la gestión del manejo integrado de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari), a partir de la incorporación de tecnologías de información geográfica al método de Cenicafe para la evaluación de infestación y posición de penetración de la broca.

2.2 Objetivos específicos

- Adaptar el formato de evaluación de infestación y posición de broca, diseñado por Cenicafe, a versión digital.
- Integrar la versión digital del formato a una base de datos en línea.
- Desarrollar el geovisor para la visualización de resultados.
- Validar el funcionamiento del aplicativo desarrollado.

3. Antecedentes

En el sector cafetero ya se tienen algunas experiencias donde se incorporan tecnologías de información geográfica en la gestión de la explotación. Entre estos casos es relevante mencionar:

- La implementación de un SIG, apoyado en herramientas ArcGIS y Google Earth, en una finca cafetera de Belalcázar (Caldas, Colombia), a partir de imágenes satelitales y la toma de datos en campo utilizando un aplicativo, por Escobar y Sepúlveda (2016), que ofrece los costos correspondientes a cinco actividades culturales (control de arvenses, fertilización, control de broca, cosecha y otras labores) y los niveles de infestación de broca (*H. hampei*), para lo cual se utilizó el método diseñado por Cenicafé.

- La distribución espacial de *Hypothenemus hampei* Ferrari, bajo diferentes estados de diversidad florística en agroecosistemas cafetaleros de la selva central del Perú, fue evaluada por Alvarado (2018), mediante índices de diversidad. Realizó un análisis espacial de la distribución de insectos, a través de la densidad Kernel con el software ArcGIS®, encontrando que estuvo condicionada hacia los sectores de mayor vegetación y sombra.

- Entre las investigaciones realizadas en Cenicafé, se ha abordado la vulnerabilidad de la caficultura frente a la broca en diferentes eventos climáticos, considerando las temperaturas favorables para la mayor dispersión y el acortamiento del ciclo de vida de *H. hampei*. Para ello, se han creado mapas, a partir de información meteorológica, usando técnicas avanzadas y sistemas de información geográfica y el software ArcGIS. Entre estos estudios realizados en ecotopos cafeteros de diversas partes del país cafetero, como el departamento de Risaralda (Giraldo et al., 2019) y el del departamento de Huila (Giraldo et al. 2020), que arrojan importante información sobre el MIB en momentos diferenciados, como la presencia de los

fenómenos de El Niño o La Niña.

- Cure et al. (2022) desarrollan el PBDM del agroecosistema productivo del café en Colombia, integrado con sistemas GIS GRASS o QGIS, que permite obtener mapas y analizar el efecto del clima sobre la floración, la producción del cultivo y la dinámica de broca.

- Montoya et al. (2009), construyeron un modelo de simulación matemático para el cultivo de café, con carácter de predicción, en el cual se involucran el crecimiento vegetativo y reproductivo, el desarrollo foliar, la distribución de materia seca, el crecimiento del fruto y la producción, a partir de las investigaciones de Cenicafé y como elemento clave para el pronóstico de cosecha y la toma de decisiones.

- En Perú, Quiñones et al. (2023), desarrollan un sistema de monitoreo y diagnóstico para la presencia de la roya del café (*Hemileia vastatrix*), integrando la electrónica de cinco estaciones meteorológicas, el medio de transmisión por radiofrecuencia establecida por telefonía móvil y el servicio de plataforma WEB, para el almacenamiento y posterior análisis de datos, cuya validación llevó a la visualización de la incidencia y severidad de roya en las hojas de las plantas.

- Por su parte, Alves et al. (2011), emplearon técnicas avanzadas de geoestadística y sistemas de información geográfica (SIG) para analizar y caracterizar patrones espaciales de infestación por *Hypothenemus hampei* y el minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*) en un agroecosistema de café. La metodología se basó en la creación de variogramas mediante dos enfoques: el método de momentos (MoM) y la máxima verosimilitud residual (REML), cuya comparación reveló la superioridad de los estimados por REML, en términos de la precisión de los coeficientes de error en el proceso de kriging. Además, se aplicaron modelos de variograma ajustados por mínimos cuadrados ordinarios ponderados (OLS) para el variograma

experimental MoM, que permitieron mapear la variación espacial y temporal de las infestaciones de las plagas.

Asimismo, en América Latina, la información geográfica, y sus técnicas, se ha utilizado para la evaluación de plagas, y la sanidad en general, como elemento para su oportuno manejo, en diversos cultivos.

- Con miras a optimizar el manejo de plagas en pastos, Bautista, Cardona y Soto (2013), apoyados en SIG, determinaron la distribución espacial de dos insectos plaga (*Collaria scenica* y *Hortensia similis*) limitantes en la explotación lechera desarrollada en los valles andinos de clima frío, logrando determinar patrones específicos, que facilitan sus manejos focalizados.

- En el caso de Cenipalma, se cuenta con GeoPalma® Plantación, de acuerdo con Torres y Ruíz (2016), un sistema de manejo de información geográfica, de fácil acceso al palmicultor que facilita la gestión agronómica del cultivo, al contar con los módulos de Catastro, Sanidad, Labores, Producción, Manejo de aguas, Nutrición y Administración.

- Muñoz et al. (2002), en el marco de vigilancia de Huanglongbing, HLB o enfermedad del brote amarillo de los cítricos, y su insecto vector, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Phyllidae), en la zona norte colombiana, desarrollaron un visor geográfico que permite la visualización de los casos positivos a la bacteria, en el insecto vector y en planta, representados como capas temáticas, posibilitando la observancia de la distribución espacio temporal de la plaga para facilitar la toma de decisiones referidas a su manejo.

- En la provincia de Guayas (Ecuador), donde el banano tiene una alta importancia, Tipantuña (2017), realizó el análisis de la respuesta espectral mediante índices de vegetación, aplicados a imágenes Pleíades 1 A y 2 B, de 0.5 m de resolución, a partir del rojo e infrarrojo cercano, con lo que logró identificar diferentes estados del cultivo (incluyendo plantas enfermas) y

cuerpos de agua.

- En el año 2015, en la sierra Chincua (México) se desarrolló una técnica innovadora para la detección de plagas forestales utilizando fotografías aéreas infrarrojas, generando una representación VIR (visible + infrarrojo) de alta resolución, que facilita la identificación y localización de árboles del género *Abies* en diversos estados de deterioro, según señalan Leautaud y López (2017).

- En el mismo país, pero en zonas vitivinícolas, Oliva et al. (2020), recopilaron y georreferenciaron 7695 datos de plantas hospedantes silvestres de *Xylella fastidiosa* subsp. *fastidiosa*, una γ -proteobacteria nativa de América, agente causal de la enfermedad de Pierce. Tales datos geográficos se procesaron con ArcGIS ArcMap 10.1, obteniendo un archivo de puntos de todos los registros, o shapefile con la información de la especie, estado, latitud, longitud y altitud correspondiente a cada punto.

- En el cultivo de chocho (*Lupinus mutabilis*), Ugsha (2023) evaluó el índice de daño de las plagas y enfermedades, mediante programas de sistemas de información geográfica, integrando equipo tecnológico y softwares (dron, cámaras multispectrales, programas como ArcGIS y R), para obtener el NDVI (Índice diferencial de vegetación normalizada) y decidir el manejo de plagas, especialmente químico, de insectos plaga como *Apion* spp. y *Anthomyiidae* spp.

- La mosca de la fruta es un insecto plaga de amplio espectro, por lo que Chambilla (2019) implementó un Visor GIS para contribuir al manejo de la plaga en la región Lima, al indicar la geolocalización inmediata de la mosca e información estadística y así analizar en menor tiempo su situación y la toma de decisiones estratégicas y operacionales.

- En un estudio realizado en el Cantón Naranjal (Ecuador), por Sánchez et al. (2023),

que abarcó cuatro fincas arroceras con un área total de 213,8 hectáreas, se empleó un enfoque basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG). A través de muestreos en forma de patrones X con 20 pases dobles utilizando una red entomológica, se logró recopilar datos sobre la presencia de insectos plagas en el cultivo. La clave radicó en la georreferenciación precisa de estas plagas, lo que permitió no solo identificar su ubicación sino también su relación con los diferentes estadios fenológicos del cultivo, gracias al uso de la tabla extendida BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie).

- Suárez et al. (2018), estimaron la distribución y el área potencial de afectación de la mosca sierra (*Zadiprion howdeni*), una especie defoliadora epidémica en la Sierra Norte de Oaxaca. Para lograrlo, emplearon modelos de nicho ecológico utilizando el algoritmo MaxEnt y la densidad de Kernel. Los resultados indican que tiene el potencial de afectar aproximadamente 14,000 hectáreas de *Pinus pseudostrobus*, pudiendo abarcar más del 80% del bosque destinado al aprovechamiento forestal.

- En Honduras, en 123 microcuencas de cuatro departamentos, Bustos (2021) cuantificó el área de bosques de pino afectada por el gorgojo (*Dendroctonus frontalis*), e indagó sobre la relación entre las áreas agrícolas y las áreas afectadas, mediante un análisis de distancias usando herramientas de Sistemas de Información Geográfica, lo que conllevó a proponer prácticas agrícolas enfocadas a sistemas agroforestales.

- Pérez et al. (2016), evaluaron la disponibilidad ambiental en México de *Bulia schausi* Richards, una plaga potencial del brócoli, mediante el algoritmo de Máxima Entropía, en MaxEnt v.3.3.3, considerando tres variables ambientales: temperatura mínima del mes más frío, media del rango diurno e isotermalidad. El modelo de nicho generado, evaluado con el valor de la curva *Area Under the Receiver Operating Characteristic* (ROC), mostró una alta precisión (AUC = 0.982), incluyendo los mapas de distribución potencial de *B. schausi* elaborados con ArcMap® 10.3.1.

- En Latacunga, Cotopaxi (Ecuador), Alarcón (2022), analizó el impacto de la temperatura en el desarrollo de la plaga *Ceratitis capitata*, utilizando software estadístico R y R Studio, así como el ILCYM (Insect Life Cycle Modeling) v.3.0, e implementando el modelo de fenología, en un entorno al Sistema de Información Geográfica (GIS), que permite una simulación espacial, global o regional de las actividades de la plaga.

- En Venezuela, específicamente en el estado Lara, Paz y Arrieche (2017), para realizar el monitoreo y determinar la distribución espacial del piojito de la cebolla, *Thrips tabaci*, emplearon técnicas de geoestadística y georreferenciación de 11 puntos de muestreo, con frecuencia semanal, en una parcela, para evaluar la cantidad de individuos por planta en cada punto. Utilizando ArcGIS y el método de interpolación de Kriging, generaron mapas predictivos que revelaron un patrón de distribución agregado de la plaga, lo que permitió identificar los focos de agregación del insecto, proporcionando información valiosa para el manejo adecuado de insecticidas.

- Ramírez et al. (2011), utilizando datos de temperatura de la red de estaciones agrometeorológicas de Zacatecas (México), desarrollaron un sistema de alerta, basado en la acumulación de unidades calor (UC) y un sistema de pronóstico meteorológico de UC a 15 días derivado de la tecnología AgroPron, para el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), con una plataforma web para mostrar los niveles de advertencia según el desarrollo de la plaga, buscando aportar a la efectividad del control químico y biológico, reducir los riesgos para la producción, aumentar la competitividad y minimizar la contaminación ambiental, en un enfoque integral en la gestión de la plaga. Posteriormente, Yañez et al. (2019), integraron el sistema de alerta para *S. frugiperda* con “la información de la red de estaciones agrometeorológicas de INIFAP-COFUPRO en Guanajuato, un modelo de simulación dinámica del crecimiento y desarrollo del insecto y datos sobre la dinámica poblacional del insecto” (p.407).

- En Bolivia, Vargas y Machicao (2023), desarrollaron dos aplicaciones, para la identificación y monitoreo de plagas de la papa, usando recursos de Esri: - MIPapa, desarrollado con ArcGIS Survey123 Connect, para identificar plagas (complejo gorgojos o complejo polillas), además de ofrecer su geolocalización y algunas recomendaciones de manejo, y la aplicación web para el monitoreo, desarrollada con Web AppBuilder, presentando un mapa interactivo (servicio en la nube de ESRI), que contiene información base, procesada en Arcmap 10.5, y de MIPapa, para visualizar las observaciones de campo, y generar reportes en tiempo real.

Vásquez et al. (2021), emplearon técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar la distribución de la plaga *Synanthedon cardinalis*, conocida como la palomilla resinera, en el estado mexicano de Veracruz. Recopilaron datos curatoriales de colecciones entomológicas y se realizaron colectas en diferentes provincias fisiográficas, que organizaron en una base de datos con Microsoft Excel ® y utilizaron para crear cartografías haciendo uso de ArcGIS 10.0.

Pérez et al. (2019), desarrollaron PulAm, un prototipo para la versión de Android 4.0 (KitKat) que exige un dispositivo móvil con GPS y conexión a Internet, diseñada para el monitoreo de plagas en cultivos, específicamente del pulgón amarillo del sorgo. Para probar la aplicación, visitaron 40 plantaciones de sorgo en el estado de Nayarit, para lo que solicitaron, al CESAVENAY, copia de las bitácoras de las inspecciones a los mismos, mostrando que los técnicos de esta entidad pueden registrar el levantamiento de datos de sus campañas fitosanitarias, de forma ágil y minimizando los errores.

Los antecedentes revisados presentan una gama diversa de enfoques, desde el empleo

de SIG y herramientas como ArcGIS y Google Earth para evaluar la infestación de broca en fincas cafeteras en Caldas, hasta la aplicación de técnicas de geoestadística para analizar la distribución espacial de la broca en agroecosistemas cafetaleros de Perú.

Las contribuciones a esta área abarcan desde la simulación y modelado matemático del crecimiento del café hasta el desarrollo de sistemas de monitoreo y diagnóstico para la detección de plagas como la roya del café, la mosca de la fruta, y otras plagas de diversos cultivos, empleando diversas herramientas de SIG y georreferenciación. Además, se ha explorado el uso de la tecnología para identificar patrones espaciales de infestaciones y la evaluación de áreas potenciales de afectación de plagas, como la mosca sierra y la broca en bosques de pino.

Estos antecedentes resaltan el valor y la efectividad de las tecnologías geoespaciales en la gestión de plagas agrícolas, ofreciendo herramientas valiosas para monitorear, predecir y tomar decisiones informadas para el control y manejo de estas plagas. Las aplicaciones varían desde el monitoreo en tiempo real, detección temprana, análisis de patrones espaciales y distribución de plagas, hasta la generación de mapas predictivos para identificar áreas de riesgo y orientar estrategias de control y prevención.

Considerando los objetivos y alcances de este estudio, la experiencia destacada de Vargas y Machicao en Bolivia (2023) en el control de plagas de papa sugiere un enfoque operativo similar al propuesto en esta investigación. Este enfoque se basa en la utilización de la suite de productos de ESRI, que permite la geolocalización mediante herramientas que abarcan desde aplicaciones de escritorio como ArcMap 10.5 hasta el empleo de aplicaciones en línea como Web App Builder, culminando en el desarrollo de un geovisor denominado MIPapa.

Aunque se encontraron otras experiencias que emplearon software libre como QGIS, en el marco de esta investigación se optó por el uso de productos suministrados por ESRI©, los cuales

fueron facilitados por la Universidad de Manizales con el licenciamiento adecuado para su aplicación en actividades académicas e investigativas. Esta elección se basó en la disponibilidad y apoyo brindado por la institución para utilizar estas herramientas en el contexto del aprendizaje y la investigación en el ámbito académico.

4. Referente normativo y legal

Entre los aspectos más críticos en el manejo agronómico de los cultivos, donde cabe el manejo de la broca del café, se relaciona con el control químico, ya que tiene implicaciones directas sobre la salud del entorno, incluyendo al aplicador y los posibles residuos en el producto final -de consumo humano en el caso del café-, así como la eficacia y seguridad de la aplicación, por lo que deben considerarse una serie de factores.

Por ello, en el caso de MIB, la decisión de aplicaciones de insecticidas químicos, debe estar sustentada en la previa evaluación de la broca y ser recomendada por un profesional de la agronomía. Además, deben considerarse acciones relacionadas con la disminución del riesgo, tales como la selección del producto insecticida adecuado (teniendo en cuenta categoría toxicológica, tipo de cultivo, tipo de acción, tipo de aplicación), el transporte y almacenamiento de plaguicidas, la calibración de los equipos de aspersión y del aplicador, la dosificación y preparación del insecticida, la protección del aplicador, la protección del ambiente, la disposición y manejo de residuos y empaques.

En esta orientación, en el país existen varias normativas, especialmente del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, el organismo estatal que vela por la sanidad agropecuaria del país, como:

- Resolución 3497 de 2014 del ICA, representa un paso importante en la armonización de los requisitos técnicos para los plaguicidas químicos de uso agrícola comercializados en Colombia, lo que contribuye a la calidad y la uniformidad en su aplicación.

- Resolución No. 075486 de 2020, emitida por el ICA, establece los requisitos y procedimientos para el registro o ampliación de uso, en el sector agrícola, de bioinsumos y plaguicidas químicos.

- Resolución 01669 de 1997, emitida por el Ministerio de Salud, que autoriza el uso de productos con base en Endosulfan únicamente para el control de la broca del cafeto (*Hipotenemus hampei*). Esta fue modificada por las resoluciones:

- Resolución 1311 de 21 de junio de 2001 del ICA. Cancelar los registros de venta en Colombia a la Empresa Aventis Cropscience Colombia S.A., correspondiente a los productos formulados con base en Endosulfan.

No.	Registro Producto
761	Thiodan 4 DP
751	Thiodan 30 UL
1928	Thiodan 15 UL
2424	Thiodan 35 SC
613	Thiodan 35 EC
1703	Endosulfan RP 35 EC

- Resolución 1312 de 21 de junio de 2001 del ICA. Cancelar el registro de venta de la Empresa Proficol S.A., correspondiente al producto Thionex 35 EC, formulado con base en Endosulfan.

- Resolución 1313 de 21 de junio de 2001 del ICA. Cancelar el registro de venta de la Empresa Agroquímicos Semillas y Equipos de Riego S.A., correspondiente al producto Thionil 35 EC, elaborado con base en Endosulfan. (ICA, 2020)

- Sentencia No. 5483 de 2001, del Consejo de Estado, donde declara la nulidad de los artículos 4, 6 y 8 de la Resolución 1669 de 1997 del Ministerio de Salud, con lo que se restringe el insecticida endosulfán.

- Resolución No. 00001580 de 2022, Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el registro de los fabricantes, formuladores, envasadores, distribuidores, importadores y/o exportadores de los plaguicidas químicos de uso agrícola. Además, la Federación Nacional de Cafeteros, en sus procesos de educación, extensión y asesoría a los caficultores, despliegan acciones dirigidas al adecuado manejo de los agroquímicos utilizados

en el cultivo de café, lo cual se complementa con algunas publicaciones realizadas.

Pero también se han emitido normativas sobre el MIB, como:

- Resolución No. 2581 de 1995, que establece medidas fitosanitarias para la producción, comercialización y transporte de café, ante la presencia de la broca en algunas partes del país, como mantener los árboles de café sin frutos maduros mediante recolecciones oportunas y repases permanentes, beneficiar en forma oportuna, cubriendo con plástico el café cereza en tolva y tratando la pulpa en un solo sitio, y prohibir el transporte de café cereza y seco de agua, de zonas afectadas por la broca hacia áreas libres de ella plaga.

- Resolución No. 321 de 1999, relacionado con el procedimiento obligatorio a seguir con respecto a las acciones tendientes a disminuir la población de broca (recolección de frutos y manejo de árboles trampa) durante la renovación o eliminación de lotes de café.

5. Referente teórico

5.1 Cultivo de café

El café se constituye en uno de los principales cultivos en el mundo, con especial importancia en Latinoamérica, donde Brasil y Colombia se destacan como productores importantes, siendo el café colombiano reconocido por su alta calidad en taza.

5.1.1 Origen e importancia económica

El café pertenece a la familia Rubiaceae, la cuarta familia más grande de angiospermas (Denoeud et al., 2014). Es clasificada como una planta arbustiva, originaria de las regiones altas de África central, particularmente del Sureste de Etiopía y Norte de Kenia. Etiopía es considerada el lugar de origen del café (Gebeyehu et al., 2020). El café actual es una hibridación natural de dos formas ancestrales cercanas a las especies *Coffea eugenioides* y *Coffea canephora*, obteniendo como resultado el genoma actual de *Coffea arabica*. El *Coffea arabica* se compone por dos subgenomas poco diferenciados, confiriéndole su carácter de alopoliploide segmental (Romero et al., 2010). (Enríquez, Retes y Vásquez, 2020, p.150)

“Aunque, en el género *Coffea* se han identificado 130 especies (Davis y Rakotonasolo 2021), únicamente se comercializan *Coffea arabica* L., representando el 70% de la producción global y *Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner, el 30% restante” (Molina, 2022, p.2). Así, el café (*Coffea arabica*), a pesar de su origen africano, de acuerdo con Enríquez, Retes y Vásquez (2020, p.149-150), se ha convertido en uno de los cultivos más importantes en el mundo, ya que aproximadamente 60 países tropicales y subtropicales producen café extensivamente,

involucrando unos 25 millones de productores (70% con menos de 10 Ha cultivadas), siendo, para muchos de ellos, su principal producto agrícola de exportación, además de su relevancia social.

Sin embargo, International Coffee Organization [ICO] (2021, p.13), señala que el cultivo es una actividad que exige alta mano de obra, por lo demás mal remunerada, lo que está favoreciendo la emigración de muchos jóvenes hacia las ciudades, o a países vecinos o industrializados, en busca de oportunidades más lucrativas y gratificantes, dejando en manos de agricultores envejecidos poco aptos la producción futura.

En cuanto a la participación en el mercado mundial, de acuerdo con ICO (2021), durante el año cafetero 2020/2021, en la producción de grano verde, América del Sur aportó el 49% de la producción total (83,8 millones de sacos), África el 11% (19,3 millones de sacos), América Central un 11% (19,7 millones de sacos), mientras Asia y Oceanía pusieron en 28% (48,1 millones de sacos), teniendo el *arábigo* una cuota mayoritaria (59,2%), siendo América del Sur el mayor productor, mientras que Asia y Oceanía se constituyen en los mayores productores de *robusta*, con 41,5 millones de sacos producidos.

En el caso colombiano, de acuerdo con Quintero y Cuartas (2022, p. 12), es reconocido como el tercer productor mundial de café y el primero de café suave (*arábigo*), con un área cultivada de aproximadamente un millón de Ha, por parte de 550 mil familias, lo que representa cerca del PIB nacional.

El café hace parte de los productos de exportación que tienen mayor importancia en la economía colombiana. Para los años 1970, el café era el producto más exportado en Colombia, sin embargo, veinte años después, desde la década de 1990, el petróleo ocupó el primer lugar, tomando mayor relevancia. En la actualidad, el café es el tercer producto

más exportado en Colombia luego del petróleo y el carbón (Oviedo & Sierra, 2019). De esta manera, el café, al igual que otros productos agrícolas, es una importante fuente de ingresos para el país y genera empleo para miles de familias rurales. (García y Gordillo, 2002)

5.1.2 Manejo agronómico

El manejo agronómico del cultivo de café ha sido ampliamente tratado, especialmente, la emisión de manuales de cultivo publicados por organizaciones en diversos países productores, como una manera de asegurar el adecuado manejo agronómico del cultivo, el manejo poscosecha y la calidad final del grano y la bebida.

En el caso colombiano, el principal orientador del manejo del cultivo ha sido la Federación Nacional de Cafeteros, a partir de las investigaciones realizadas por Cenicafe en la geografía cafetera del país, que arrojan una serie de publicaciones (boletines, cartillas, avances técnicos, informes anuales, etc.), de acceso a los agricultores, quienes además reciben la asesoría técnica por parte del Servicio de Extensión de la organización gremial. De igual manera, varios de los Comités Departamentales de Cafeteros han producido sus propios manuales del cultivo, en los cuales, además de los aspectos generales, se especifican situaciones acordes con sus condiciones ambientales.

Quizás la principal publicación orientadora para el cultivo de café es el Manual del Cafetero Colombiano, en sus diversas ediciones (la última versión publicada en 2013), donde fundamentalmente se tratan los siguientes componentes:

- Condiciones ecológicas para el cultivo de café
- Establecimiento del cultivo (semilla, germinador, almácigo, siembra)

- Manejo agronómico del cultivo (manejo integrado de arvenses, fertilización, manejo integrado de plagas -incluida la broca-, manejo integrado de enfermedades)

- Recolección y poscosecha (recolección, beneficio ecológico, comercialización)

5.2 Broca del café

La broca del café o barrenador del fruto de café (*Hypothenemus hampei* Ferr.), un insecto coleóptero escolítido de origen africano, se ha convertido en la plaga más importante del cultivo de café en el mundo. A continuación se presenta una información básica sobre sus características.

5.2.1 Biología y etología

De acuerdo con Gallardo (2013, p.23). la broca es un insecto holometábolo, que presenta un estado de huevo, varios estados larvarios, un estado de pupa y luego adulto, con dimorfismo sexual: -los machos, que tienen alas membranosas que no le permiten volar y viven entre 20 y 87 días, miden entre 1 a 1,25 mm de largo y 0,5 a 0,6 mm de ancho, mientras - las hembras, que pueden vivir hasta 157 días e invaden frutos diferentes a donde nacieron, tienen un largo de 1,37 a 1,82 mm, y 0,62 a 0,80 mm de ancho.

El ciclo de vida completo de la broca del café consiste en huevo, larva (dos instares en la hembra), pupa (con un breve estado de pre-pupa) y adulto (Bergamin 1943; Damon 2000). La información sobre la duración de los estados biológicos difiere entre 20 y 63 días, dependiendo de las condiciones del ambiente, especialmente de la temperatura, los métodos empleados en los distintos ensayos y de la humedad de los frutos (Leefmans 1923; Bergamin 1943; Ticheler 1961;

Ticheler y Quiceno 1963; Muñoz 1989; Ruiz 1996; Mendesil et al. 2004b; Jaramillo et al. 2009a; Jaramillo et al. 2010; Hamilton et al. 2019). Recientemente, se estableció que el tiempo de desarrollo total es alrededor de 18 días a 30°C y de 63 días a 18°C (Azrag et al. 2019). Similar al encontrado por Bergamin (1943) de 63 días a 19,2°C. El promedio de duración de los estados de *H. hampei* en días es de 4 (huevo), 15 (larva) y 7 (pupa) a 27°C (Damon 2000), con un promedio de duración de 27,5 días a una temperatura media de 24,5°C (Bergamin 1943). El tiempo generacional en campo es de 45 días a 22°C (Ruiz 1996). En dietas artificiales la duración del ciclo de vida es de 23,3 a 24,1 días a $26 \pm 1^\circ\text{C}$, con una humedad relativa entre 70 a 80% (Ruiz et al. 1996). (Molina, 2022, 5).

Como se ha definido, mientras el macho permanece en el fruto donde ha nacido, la hembra vuela para invadir un grano e iniciar un nuevo ciclo. “La distancia mediana de dispersión de la broca, correspondiente a una probabilidad de 0.5, se ha fijado en 5 metros” (Montes, citado por Gallardo, 2013, p.30). La relación más aceptada es de un macho por 10 hembras, siendo necesario el apareamiento era necesario para su exitosa reproducción, ya que se ha descartado la partenogénesis, y la identificación de los genes que se expresan en los machos sugiere que el cromosoma Y puede estar involucrado en la haplodiploidia del insecto (Molina, 2022, p.5).

5.2.2 Origen e importancia económica

La broca del café, o barrenador del fruto de café (*Hypothenemus hampei* Ferrari), de acuerdo con Molina (2022, p.3), es un insecto autóctono de los bosques Guineo-Congolense, con altitudes entre 0 y 1.200 m y temperatura promedio de 24 a 26°C, donde predomina *Coffea canephora* ‘Robusta’, de donde se propagó al resto del África. Fue Johann Angelo Ferrari, en el año 1867, quien la describió por primera vez, como *Cryphalus hampei*, a partir de granos exportados a Francia. No obstante, Bustillo et al. (1998, p.19), señalan que, posteriormente,

fue reubicada en el género *Stephanoderes* por Roepke y más tarde, en 1928, Costa Lima, tras un análisis comparativo entre especies de los géneros *Stephanoderes* e *Hypothenemus*, fue ubicado en este último.

La broca del café se ubica taxonómicamente como la especie *Hypothenemus hampei*, subfamilia Scolytinae, Familia Curculionidae, Orden Coleoptera, Clase Insecta o Hexápoda.

El análisis de la distribución de la broca del café en el mundo, a partir de muestras de 17 países basados en los polimorfismos en la longitud de los fragmentos amplificados (AFLP) evidenció que una población originaria del occidente de África invadió primero Asia y luego América, llegando inicialmente a Brasil desde donde dos introducciones se dispersaron a Centro América y una tercera se dispersó a Perú y Colombia (Benavides et al. 2005). La variabilidad genética fue baja entre especímenes, como se esperaba de una especie con una extrema endogamia (Andreev et al. 1998). En contraste, mediante la técnica de PCR se analizaron secuencias de ADN de especímenes de *H. hampei* de 37 localidades en 18 países, y se encontró una baja variabilidad genética dentro de los países, en cambio una considerable variación entre grupos de especímenes de *H. hampei*, lo cual sugiere la existencia de un complejo de especies de este escolítido (Gauthier 2010). (Molina, 2022, p.3)

La broca del café se ha constituido como la principal plaga del café en el mundo, “debido a que puede causar varios tipos de daño: 1- Caída de frutos pequeños (disminuye los volúmenes de producción), 2-Pérdidas en peso (afecta el factor de rendimiento) y 3- Pérdidas en calidad (afecta el precios de venta del café)” (Trujillo et al., 2006, p.40), y, por ende, a la bebida final, debe al cambio en sus características organolépticas, lo cual es preocupante si se tiene en cuenta que, según Godínez (2023, p.105), el calentamiento climático propiciaría su aumento entre 5 y 0 veces más, debido a que podría alcanzar su máximo óptimo de 26°C en mayor cantidad de

regiones cafeteras. Pérez, Ramírez y Figueroa (2023, p.4), señalan que un incremento de 1% en el nivel de infestación implica una caída prematura de granos entre 0,26 y 0,47%, mientras infestaciones de 10 a 15% ocasiona pérdidas de alrededor de 5 Kg por cada 46 Kg de café.

5.2.3 Manejo

Sin lugar a dudas, en el ámbito colombiano, la principal fuente sobre el manejo integrado de la broca del café, lo constituye Bustillo et al. (1998), pues aunque han dado avances en aspectos específicos, especialmente fruto de las investigaciones de Cenicafé, el conjunto de acciones en ella definidos permanece vigentes. El manejo integrado de la broca del café (MIB), puede resumirse en la Figura 1.

Figura 1.

Resumen gráfico del MIB

Manejo integrado de la broca del café (MIB)	Criterios básicos para el MIB	Actividades permanentes	Recolección oportuna de frutos maduros y secos Repase Uso de costales de fibra en buen estado Traslado frecuente al beneficiadero del grano cosechado Cubrir la tolva de recibo Tratar la pulpa Secar diferencialmente flotes y pasillas
		Actividades variables	Registro de floración Porcentaje de infestación Posición y mortalidad de la broca en frutos
		Criterios de manejo	Momento para aplicar hongo Momento para aplicar insecticida Momento para realizar repase
	Control cultural	Sistema de recolección y pérdidas en recolección	
		Potencial de broca posterior a cosecha principal	
	Control biológico	Manejo de renovación	Renovación por zoqueo Surcos trampa
		Entomopatógenos	<i>Beauveria bassiana</i> <i>Metharhizium anisoplae</i>
	Control químico	Parasitoides	
		Producto	
		Calibración de equipos y operarios Aplicación focalizada Condiciones de clima	

Nota: Construcción propia a partir de Bustillo et al.(1998).

Para el presente trabajo tiene importancia esencial lo relacionado con la evaluación de la broca, es decir la determinación del nivel de broca en los lotes y la posición de la broca en el fruto:

- Para la estimación de los niveles de infestación de broca, el método que ha sido transferido al caficultor, y que se recomienda hacerse quincenalmente después de la recolección, se resumen en la Figura 2 para cada hectárea de cultivo, haciendo un recorrido en zig-zag, se escogen 30 árboles o sitios, a los cuales se les selecciona una rama en la productiva, en la cual se cuenta la totalidad de sus frutos así como sus *frutos brocados*, datos que se registran en el formato existente para ello, y se calcula el nivel de infestación multiplicando el total de frutos brocados contados por 100 y dividiendo ese resultado entre el número total de frutos contados (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia [FNCC], 1994, p.16).

Figura 2.

Cálculo del nivel de infestación por broca.

CONTEO DE FRUTOS EN UNA RAMA DE CADA ARBOL		
ARBOL	FRUTOS TOTALES	FRUTOS BROCADOS
1	75	8
2	69	4
3	81	6
4	70	0
5	65	9
6	73	10
7	74	9
8	63	11
9	68	7
10	80	12
11	67	6
12	58	13
13	71	5
14	84	10
15	76	3
16	59	8
17	64	7
18	66	0
19	69	5
20	73	8
21	80	10
22	71	2
23	59	5
24	63	9
25	70	6
26	62	4
27	66	12
28	71	10
29	77	8
30	80	12
TOTALES	2.104	219

PORCENTAJE DE INFESTACION:
FRUTOS BROCADOS _____ X100
FRUTOS TOTALES _____
219 _____ X100
2104
PORCENTAJE DE INFESTACION:
RESULTADO: 10.4
EL NIVEL DE INFESTACION EN EL LOTE ES DEL 10.4%

Si el nivel de infestación es	Alerta	Recomendación
0.0 – 2.9		Continúe con RE-RE
3.0 – 5.0		Cuidado Haga más RE-RE - Evalúe nuevamente
Más de 5.0		Peligro Necesita otra medida de control - Consulte el técnico

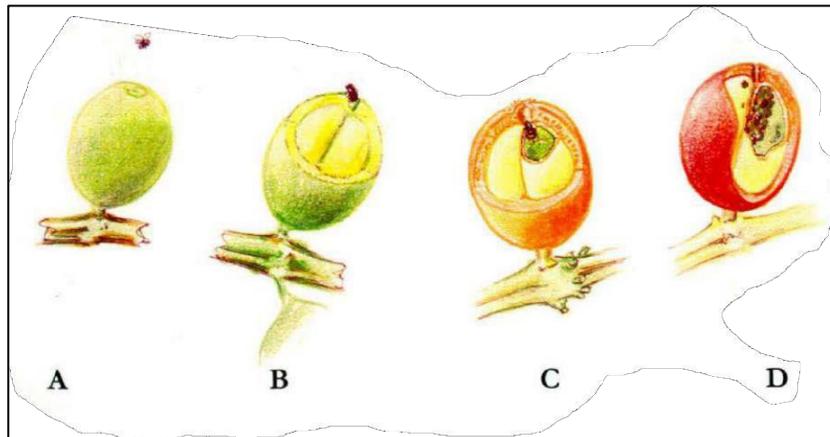
Nota: Construcción propia a partir de Federación Nacional de Cafeteros (1994, p.14, 17).

- Para evaluar la posición de penetración de la broca en el fruto, aprovechando el recorrido para determinar el nivel de infestación, se recolectan 100 *frutos brocados* al azar y en cada uno de ellos se determina la posición de la broca, para luego, mediante disección, determinar el número de adultos vivos, muertos y su posición dentro del fruto. De acuerdo con Bustillo et al. (1998, p.98), las posiciones (Figura 3) son:

- posición A, cuando una broca está en busca de un fruto o iniciando su perforación,
- posición B, cuando una broca se ubica en el canal de penetración,
- posición C, la broca está perforando la almendra, y
- posición D, una broca con su descendencia (huevos, larvas y pupas)

Figura 3.

Posición de la broca dentro del fruto



Fuente: Manejo Integrado de la broca del Café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. (1996)

Es de anotar que desde las diferentes instancias del gremio cafetero, se han desplegado diversas estrategias para contribuir a que el MIB se instaure y la productividad y calidad del

café colombiano no se vea afectado significativamente por el ataque de esta plaga. Un ejemplo de ello, lo constituye un plegable (Figura 4), realizado por Vega (1993), que integra el desarrollo del fruto, el desarrollo del insecto y el manejo recomendado de manera visual para mayor comprensión de los caficultores colombianos que recibían capacitación en el centro de Educación Agropecuaria Fundación Manuel Mejía.

Figura 4.

Plegable integrador de desarrollo de la broca, del fruto y manejo.

									
Nombre		"Garra pata"	Acuoso	Pastoso	"Jecho"	Pintón	Maduro	Sobremaduro	Seco
Edad		4 semanas	5-12 Semanas	13-16 semanas	18-20 semanas	23-25 semanas	28-32 semanas	34-36 semanas	38 o más semanas
Daño ocasionado por la broca.		Sólo cuando hay poblaciones muy altas de broca, puede verse afectado.	La broca colonizadora entra pero no se queda. El grano generalmente se cae.	La broca madra entra y se establece. Es el grano más susceptible de ser atacado.	Las larvas comen almendra. No presenta otras hembras adultas.	La almendra está muy afectada. Hay algunas nuevas hembras que pueden invadir otros frutos.	La almendra sana puede verse afectada. Las nuevas hembras invaden otros frutos.	Las dos almendras están muy afectadas. La invasión a otros frutos es muy grande.	Prácticamente no existen almendras. Hay entre 30 y 150 adultos.
Estados de la broca que se encuentran.									
									
									
									
Qué hacer.				Mantengamos niveles de infestación con tendencia a cero.		Estemos atentos para recolección oportuna.	Hagamos recolección rigurosa y beneficiosa.	Repasemos frecuentemente para bajar población de broca.	Repasemos frecuentemente para bajar población de broca.

Nota: Obtenido de Vega (1993).

5.3 Técnicas de información geográfica

5.3.1 Generalidades

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las Tecnologías de Información Geográfica (TIG) están estrechamente relacionados en el campo de la geoinformática y

desempeñan un papel fundamental en la captura, gestión y análisis de datos espaciales. Estas dos disciplinas comparten un objetivo común: facilitar la comprensión y el manejo de la información geográfica para tomar decisiones informadas en una amplia variedad de aplicaciones.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) se puede definir de manera precisa y formal en función de las operaciones que debe permitir realizar, de acuerdo con Olaya (2020):

- Gestión de Datos Espaciales, que incluye la lectura, edición, almacenamiento y gestión general de datos espaciales, es decir, información relacionada con la ubicación geográfica.

- Análisis de Datos, puesto que el SIG debe ser capaz de analizar datos, desde consultas sencillas hasta la creación de modelos complejos. Este análisis puede realizarse tanto en términos de ubicación geográfica como de los propios datos.

- Generación de Resultados: Un SIG está en capacidad de generar resultados, como mapas, informes, gráficos, entre otros, a partir de los datos y análisis realizados.

Así, la esencia de un SIG radica en su capacidad para vincular datos geográficos con atributos, lo que permite a los usuarios explorar relaciones espaciales y tomar decisiones basadas en la ubicación.

Por otro lado, las Tecnologías de Información Geográfica (TIG) se refieren al conjunto de tecnologías y herramientas específicas que respaldan la recopilación y el procesamiento de datos geoespaciales. Esto incluye dispositivos de captura de datos como receptores GPS, sistemas de teledetección, drones y dispositivos móviles georreferenciados. Las TIG también abarcan software especializado para la edición, análisis y visualización de datos geográficos, como software de mapeo, análisis espacial y modelado geoespacial.

5.3.2 Utilidades y aplicaciones

En el contexto del manejo integrado de plagas (MIP) y la agricultura de precisión, las tecnologías de información geográfica (TIG) desempeñan un papel crucial para lograr una producción agrícola sostenible y eficiente. De acuerdo con Duarte et al. (2015), estas técnicas aprovechan la capacidad de los sistemas de información geográfica (SIG), los sistemas de posicionamiento global (GPS) y la geoestadística para abordar problemas fitosanitarios y mejorar la toma de decisiones en la agricultura. Algunas utilidades y aplicaciones clave de las TIG en este contexto son:

- Planificación y Control Preventivo del MIP: las TIG permiten planificar estrategias de control basadas en la ubicación geográfica de plagas y sus hábitats. Esto implica mapear áreas críticas y establecer medidas preventivas para evitar la migración de plagas que podría llevar a infestaciones significativas.

- Agricultura de Precisión: se basa en la gestión de las variabilidades espaciales y temporales en la producción agrícola para mejorar el rendimiento de los cultivos y la calidad ambiental. Las TIG desempeñan un papel central al proporcionar información sobre la variabilidad espacial de plagas, condiciones climáticas, y otros factores relevantes. Esto permite ajustar las prácticas agronómicas de manera precisa, como la aplicación de tratamientos fitosanitarios en áreas específicas, en función de la densidad de plagas o las condiciones locales.

- Mapeo de Plagas: mediante procedimientos relativamente simples, las TIG permiten crear mapas detallados que muestran la ubicación y abundancia de plagas en un área específica. Estos mapas son insumos valiosos para la toma de decisiones, ya que ayudan a determinar si se requiere

una estrategia de manejo particular, dependiendo de la presencia o densidad de la plaga en un lugar específico.

- Identificación de factores asociados a plagas: las TIG facilitan la correlación entre la densidad de plagas y las características específicas de cada zona. Esto incluye factores como la densidad de hospederos, sitios de almacenamiento, casas de empaque, áreas con productos sin valor comercial, cultivos abandonados, entre otros. La capacidad de relacionar estos factores con la distribución geográfica de las plagas es esencial para diseñar estrategias de control eficaces y minimizar el uso innecesario de plaguicidas.

6. Metodología

6.1 Enfoque metodológico

La presente investigación tiene un enfoque metodológico cuantitativo, considerando que el desarrollo de sus objetivos permitirá obtener resultados aplicando conocimientos desde los sistemas de información geográfica y el análisis espacial.

6.2 Tipo de estudio

La presente investigación se asimila a un estudio descriptivo, cuyo objetivo, según Guevara, Verdesoto y Castro (2020, p. 164), consiste en “describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permiten establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando información sistemática y comparable con la de otras fuentes”. Ello considerando que se pretende generar contribuciones al método de evaluación de los niveles infestación de broca, aportándole una perspectiva geográfica que mediante la geolocalización pueda dar una interpretación más precisa del comportamiento de la plaga en términos de su distribución en un contexto geográfico, lo cual está enmarcado en el manejo integrado de plagas (MIP), en el cual la potencialidad de los SIG amplía la comprensión del comportamiento de la plaga, su concentración y distribución, lo cual facilita la toma de decisiones para racionalizar las aplicaciones de plaguicidas de tal manera que se realicen en el momento adecuado de acuerdo con la epidemiología particular de cada enfermedad o plaga.

6.3 Procedimiento

La investigación, que se realizó en cuatro fases, con su ejecución de campo en dos fincas ubicadas en el departamento de Risaralda, específicamente en la veredas Miralindo Alto y El Retiro, corregimiento Arabia, municipio de Pereira.

6.3.1 Fase 1: Adaptación del formato de evaluación de infestación de broca (análogo a digital)

- Construir la matriz con la síntesis del método y las publicaciones relacionadas. Involucró la creación de una matriz destinada a resumir los fragmentos pertinentes de documentos y publicaciones que describían los fundamentos del método empleado por Cenicafé para evaluar la broca en los cultivos de café.

- Diseñar el flujograma con los insumos y pasos que realiza el caficultor en campo para llevar a cabo el proceso de evaluación de broca. Este flujograma sirvió como guía completa, desde el inicio de la evaluación hasta el proceso de toma de decisiones, en el cual se determinaron las medidas de manejo necesarias para mantener los niveles del insecto en el cultivo dentro de parámetros aceptables.

- Diseñar e implementar una evaluación digital de broca. A partir de la información recopilada en las actividades previas, se desarrollaron modelos (conceptual y lógico) del formulario digital integral (*front-end* y *back-end*). Se estableció la estructura de atributos requeridos y se definió el comportamiento del formulario de manera que su diligenciamiento fuera intuitivo y facilitara la experiencia del usuario, en especial para el personal técnico de campo. El objetivo era crear una herramienta que permitiera un proceso de diligenciamiento natural y fluido.

Para llevar a cabo esta actividad, se creó un *mockup* que presentó una propuesta de experiencia de usuario (*front-end*) y se establecieron los atributos necesarios para procesar los datos ingresados (*back-end*). La implementación se realizó mediante la codificación de sentencias en el estándar abierto xlsForms, con el fin de lograr una experiencia de usuario intuitiva y de fácil manejo. Este enfoque garantizó la usabilidad y eficiencia del formulario, proporcionando una herramienta efectiva para la recopilación y procesamiento de datos.

- Probar la funcionalidad de la evaluación digital de broca. Una vez implementada la evaluación digital, se realizaron pruebas de experiencia de usuario con el fin de evaluar aspectos funcionales y determinar qué elementos requieren ajustes. Durante este proceso, se prestó especial atención a la coherencia, la facilidad de interacción y los tiempos de diligenciamiento, entre otros factores relevantes. Estas pruebas permitieron identificar y abordar cualquier problema o área de mejora, asegurando así que la evaluación digital fuera eficiente y satisfactoria para los usuarios.

6.3.2 Fase 2. Integración de la versión digital del formato a una base de datos en línea

Tras el desarrollo de la evaluación digital de broca en la etapa anterior, se estableció una conexión con una base de datos espacial alojada en la nube, la cual recibió los datos recolectados mediante el formulario en campo, permitiendo estructurar un sólido repositorio de información. Además, esta conexión sentó las bases para la creación de un geovisor, una herramienta que facilita consultas específicas sobre los resultados de cada lote. Con el geovisor, los usuarios pudieron acceder de manera

eficiente y precisa a la información geoespacial relacionada con los resultados de la evaluación de broca en los distintos lotes.

6.3.3 Fase 3. Desarrollo del geovisor para la visualización de resultados

- Diseñar el geovisor. Con base en el flujograma desarrollado en la etapa anterior, se elaboró la propuesta conceptual del geovisor, que incluyó sus componentes funcionales clave. Este geovisor proporcionó una visualización clara de los resultados de la evaluación y facilitó la toma de decisiones de manejo para el control de la plaga. La propuesta conceptual se diseñó para garantizar una interfaz intuitiva y amigable para los usuarios, permitiendo un acceso sencillo a la información relevante y promoviendo una gestión eficiente de las decisiones de manejo de la plaga.

- Implementar el geovisor. Con base en el diseño conceptual, se procedió a la implementación de un geovisor, considerando los parámetros necesarios para permitir a los usuarios consultar y visualizar los resultados de las evaluaciones de broca y utilizando un módulo de ArcGIS Online® de ESRI (Environmental Systems Research Institute), para garantizar una solución robusta y versátil.

- Probar el funcionamiento del geovisor. Una vez que se implementó el geovisor, se ejecutaron pruebas de escritorio para evaluar el funcionamiento de toda la cadena de procesos. Estas pruebas abarcaron desde la captura de información mediante la evaluación digital hasta la obtención y visualización en línea de los resultados. El objetivo principal fue garantizar que la representación de la información tuviera el poder indicativo necesario para facilitar la toma de decisiones por parte de los caficultores. Se verificó que los datos capturados se procesaron adecuadamente y que los resultados presentados en el geovisor fueran claros, relevantes y proporcionaran indicaciones

comprensibles sobre la situación de la broca en los cultivos de café.

6.3.4 Fase 4. Validación del funcionamiento del aplicativo desarrollado

Para realizar pruebas exhaustivas, se configuró la evaluación digital con la información de las unidades productivas de las diferentes fincas que formaban parte de la muestra. Esto permitió poner a prueba el sistema durante su uso directo por los usuarios en campo, con el propósito de revisar el funcionamiento de los diferentes componentes y evaluar su desempeño en diferentes momentos. Durante esta fase, se validaron aspectos como la experiencia del usuario, la facilidad de operación y la eficiencia que se pudo lograr en todo el proceso de evaluación utilizando las tecnologías de información geográfica. Estas pruebas fueron cruciales para identificar posibles mejoras y asegurar que el sistema cumpliera con los requisitos y expectativas establecidas, brindando una herramienta efectiva y confiable para la evaluación de broca en el contexto agrícola.

Se estableció el flujograma de configuración inicial del aplicativo para su implementación en una unidad productora de café, lo que permitió ponerlo a prueba en una finca que cumplía con las pautas de la definición de la muestra. Esto validó la experiencia del usuario, la facilidad de operación y la eficiencia generada en todo el proceso de Evaluación de Niveles de Infestación de Broca (ENIB) abordado desde las tecnologías de la información geográfica.

6.4 Población o unidad de trabajo

La unidad de trabajo seleccionada para esta investigación fue el lote de café, el cual debía tener una extensión igual o superior a 1 hectárea (10.000 m²). De acuerdo

con el método de evaluación propuesto por Cenicafé, se recomendó examinar la rama que presentara la mayor cantidad de frutos en cada uno de los 30 árboles de café seleccionados al azar en el cultivo. El muestreo se llevó a cabo después de transcurridos al menos 100 días desde la floración principal y después de haber recolectado los frutos maduros.

6.5 Muestra y muestreo

La definición de la muestra consistió en la identificación de dos lotes de una o diferentes fincas que cumplan con los siguientes requerimientos:

- Que se localicen en áreas con vulnerabilidad a la broca del café: *Alta* a *Moderada* según el geovisor de Agroclima de Cenicafé, considerando la ocurrencia actual de eventos climáticos como lo pueden ser el fenómeno del Niño y el Fenómeno de la Niña.

- Rango altitudinal (m.s.n.m) entre 1.200 y 1.800 metros (corresponde al rango en el que está el 89% de área cultivada en café de Colombia)

- Variedad de café predominante en Colombia: Variedad Castillo®

- Lotes con seguimiento previo de niveles de infestación de broca.

- Plantaciones cuyos frutos han alcanzado más del 20% de peso seco (lo cual ocurre entre 120 y 150 días después de la floración).

Así, se definió usar:

- Población: potenciales lotes de café que cumplan los criterios de muestra en el departamento de Risaralda.

- Unidad de análisis: Lote de café de 1 a 3 hectáreas (10.000 a 30.000 m²)

- Tamaño de la muestra: 2 lotes (en una o en varias fincas).

- Tipo de muestreo: Sistemático considerando que el proceso de captura de información se hizo de dos maneras: - la primera es siguiendo el método sugerido por Cenicafé en el cual se eligen 30 puntos por hectárea realizando un recorrido en zig-zag lo que define el primer elemento de forma aleatoria de la primera muestra para luego seleccionar los siguientes 29 sitios en intervalos sistemáticos hasta alcanzar el tamaño de la muestra deseado., y - otra, considerando la variable de geolocalización, con una malla de localizaciones que cubra de forma regular y homogénea el lote con relación al número de muestras por hectárea.

- Procedimiento de selección de elementos muestrales: para los dos lotes en los que se aplicará el muestreo sistemático se seleccionará de forma secuencial cada individuo en la medida en que se identifica de manera aleatoria cada nuevo sitio.

6.6 Operacionalización de variables

En la Tabla 1 se describe la operacionalización de las variables consideradas en el trabajo de investigación.

Tabla 1.

Operacionalización de variables.

Ítem	Descripción	
Variable	Nivel de infestación de broca en el cultivo de café	Porcentaje de brocas vivas en posición A o B
Tipo de Variable	Valor porcentual	Valor porcentual

Operacionalización	El grado de infestación se define como la relación de igualdad que existe entre dos razones, para este caso una de ellas es el total de granos en una rama de un árbol y la segunda razón es el número de estos mismos afectados por el insecto.	El porcentaje de brocas vivas en posición A o B se define como la relación de igualdad que existe entre dos razones, para este caso, la primera razón es el total de granos afectados por la broca viva, muerta o ausente (en cualquier posición A, B, C o D) y la segunda razón es el número de estos mismos afectados únicamente por brocas vivas en posición A o B.
Categorías o dimensiones	No aplica	No aplica

Ítem		Descripción
Definición conceptual	Es el valor de 0 a 100, definido como un porcentaje, que denota un nivel de infestación de broca de un cultivo y su magnitud se presenta en orden creciente.	Valor de 0 a 100, que define el porcentaje de brocas vivas en posición A (referido a una broca en busca de un fruto o iniciando su perforación), o en posición B (lo cual sería una broca viva en el canal de penetración), respecto al total de granos observados con broca en cualquier posición.
Indicador	Porcentaje de infestación	Porcentaje de brocas vivas en posición A y B respecto al total de brocas y sus posiciones identificadas A, B, C o D.
Nivel de medición	De razón	De razón
Unidad de medida	Porcentaje	Porcentaje
Índice	Índice de infestación de broca	Proporción de brocas vivas en posición A y B
Valor	0 a 1	0 a 1

Fuente: Elaboración propia

6.7 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Para el desarrollo de la investigación, el insumo más importante correspondió a los datos de la evaluación de broca, los cuales deben ser diligenciados en campo para cada árbol escogido de forma aleatoria en los lotes definidos en la muestra. El primer paso para incorporación de tecnologías de información geográfica consistió en elegir una plataforma que cumpliera las siguientes condiciones:

- Capacidad de diseñar y personalizar un formulario digital con el que se pudieran incorporar la misma estructura y tipo de preguntas que contiene el formato impreso de la ENIB.
 - Que el formulario digital pueda ser diligenciado mediante un dispositivo móvil (celular)
 - Que el diligenciamiento del formulario digital pueda hacerse en el celular en modo offline, considerando que en la zona rural de Colombia prevalecen dificultades en la cobertura de internet mediante datos móviles.
 - Que los datos de localización de cada muestra y los atributos contenidos en el formulario digital implementado puedan ser transferidos vía internet y que puedan sincronizarse a una base de datos configurada para tal fin.

El segundo paso consistió en el diseño del formulario digital a partir de las variables que se encuentran en el formato análogo para realizar la ENIB. La Figura 5 permite ver el contenido del formulario impreso que tradicionalmente se usa, asimismo, muestra la propuesta de diseño (front-end) del formulario digital para implementar, con tres vistas que recogen la información del lote y el nivel de infestación, la determinación de la posición de la broca en el grano y el centro de calidad del proceso digital.

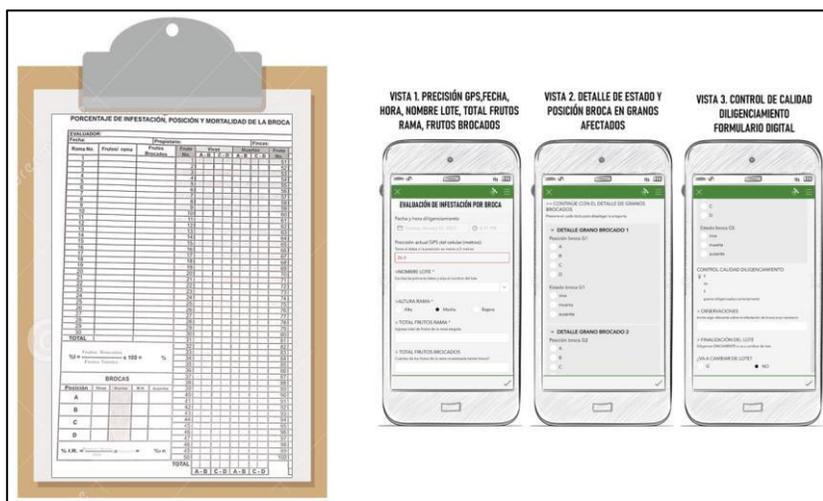
6.8 Plan de análisis

El análisis de la información corresponde a los procedimientos que permitirán seleccionar los datos obtenidos de campo que correspondan con las condiciones necesarias para ser publicados en el geovisor, especialmente la *consistencia espacial*, que corresponde a: - valores de coordenadas XY dentro del área del lote analizado, - valores con coordenadas por fuera de la finca, serán descartados y no serán presentados en el geovisor, - sin embargo, los atributos diligenciados serán utilizados para la estimación de niveles de infestación de la totalidad del lote.

Para el desarrollo de la investigación se requiere el uso de diferentes herramientas y suites ofimáticas, como se describe en la Tabla 2.

Figura 5.

Planilla para medición del nivel de infestación de broca y determinación de la posición de la broca en el fruto, diseñado por Cenicafé y utilizado en Colombia por los caficultores – Vistas de la propuesta digital (front-end)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.

Herramientas ofimáticas y su utilidad en la investigación.

Herramienta/suite ofimática	Utilidad para la investigación
Survey123 web y Survey123 connect®	Diseño, configuración avanzada e implementación de formulario digital.
ArcGIS Survey 123 (app para dispositivo móvil)	Montaje de formulario digital para diligenciamiento en campo con dispositivo móvil.
ArcGIS Online	Usuario virtual con credenciales de acceso que permite hacer la interacción entre el software de escritorio y la base de datos en línea a la cual se sincroniza la información obtenida en campo.
ArcGIS pro y QGIS (software de escritorio)	Visualización, edición, geoprosesos, elaboración de análisis y generación de mapas

Fuente: Elaboración propia

7. Resultados

7.1 Identificación de los sitios de muestreo

Como primera tarea, posterior a un acercamiento a diferentes productores cafeteros en Risaralda, se eligieron dos fincas de las cuales se identificaron sus linderos para determinar el cumplimiento de los requerimientos, por lo que se llevó a cabo la digitalización del perímetro de cada finca y de sus respectivos lotes, principalmente los que estuvieran en producción de café. Este proceso implicó la construcción de una base de datos geográfica precisa, que permitió delimitar cada lote y para lograrlo, se contó con la colaboración de los administradores de cada finca, quienes proporcionaron la información necesaria para su correcto trazado.

La delimitación geográfica de cada lote se llevó a cabo con la ayuda de imágenes satelitales de acceso gratuito disponibles en la web. Estas imágenes proporcionaron la información visual necesaria para establecer de manera precisa los límites de cada lote, permitiendo una representación cartográfica detallada y actualizada de la finca.

La Figura 6 muestra como fue realizado el proceso directamente en una de las fincas.

Con la anterior información se evaluó cada uno de los requerimientos definidos en el numeral 6.5 *Muestra y muestreo* cuyos resultados fueron los siguientes:

- Áreas con vulnerabilidad a la broca del café: *Alta a Moderada* según el geovisor de Agroclima de Cenicafé, considerando la ocurrencia actual de eventos climáticos.

La evaluación de la vulnerabilidad de las fincas ante la broca del café en

diferentes eventos climáticos se basó en los resultados de una investigación realizada por G. Dicho estudio abordó la vulnerabilidad de la caficultura colombiana frente a los ataques de la broca del café en diversos escenarios climáticos. Con el propósito de identificar el nivel de vulnerabilidad de cada finca en el departamento de Risaralda, se recurrió a la información ofrecida por Giraldo et al. (2019).

Figura 6.

Identificación de los linderos y lotes de café en producción para la finca La Ofrenda, vereda el Retiro, municipio de Pereira.



Fuente: elaboración propia.

Para llevar a cabo esta evaluación, se empleó la información geográfica proporcionada por la mencionada investigación. Se cargó la capa vectorial que contenía la delimitación de las fincas con el objetivo de determinar su grado de vulnerabilidad. De esta manera, se aseguró que las fincas seleccionadas cumplieran con el requisito de encontrarse en algún nivel de vulnerabilidad catalogado como *Alta a Moderada* según la muestra. En la Figura 7 se presentan las superposiciones de los límites de las fincas y los lotes de interés en la cartografía

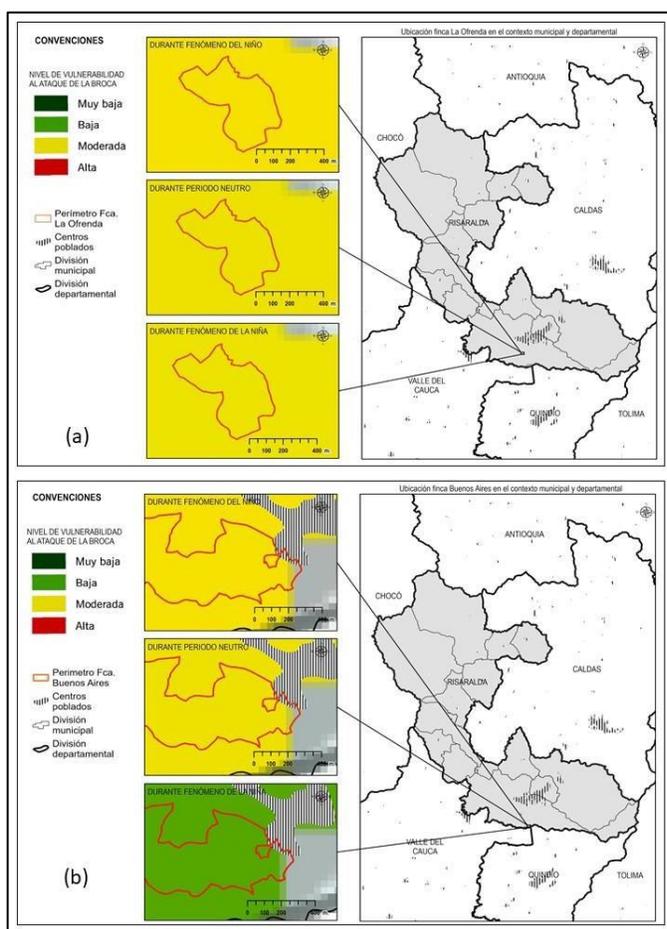
correspondiente. Ambas fincas satisficieron los criterios de vulnerabilidad ante la broca del café, dado que, a lo largo de la investigación, prevalecieron condiciones climáticas mayormente neutrales con una inclinación hacia el Fenómeno del Niño.

- Rango altitudinal (m.s.n.m) entre 1.200 y 1.800 metros (corresponde al rango en el que está el 89% de área cultivada en café de Colombia)

- Variedad de café predominante en Colombia: Variedad

Castillo®

Figura 7.



Nivel de vulnerabilidad al ataque de la broca durante la ocurrencia de los eventos climáticos de las fincas La Ofrenda (a) y Buenos Aires (b).

Fuente: elaboración a partir de Giraldo et al. (2019).

A partir de la sobreposición de los polígonos con un Modelo Digital de Terreno de resolución 12,5 m, obtenido del Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] (2015) se obtuvieron los datos presentados en la Tabla 3, donde se verifica que las fincas están ubicadas en el intervalo altitudinal de 1.200 a 1.800 metros sobre el nivel del mar, cumpliendo con otro de los requisitos planteados en la selección de la muestra.

Tabla 3.

Rango altitudinal de las fincas elegidas.

Variable Geográfica	Finca	
	La Ofrenda	Buenos Aires
Ubicación (Vereda, Municipio, Departamento)	El Retiro, Pereira, Risaralda	Miralindo, Pereira, Risaralda
Coordenadas (en casa principal)	75,744706°W, 4,756929°N	75,7249066°W, 4,7187571°N
Administrador(es)	Alejandro Torres	Alejandra Salguero y Jaime Alberto Mazo
Área (hectáreas)	17,34	61,50
Altitud mínima (m.s.n.m.)	1.292	1.379
Altitud máxima (m.s.n.m.)	1.328	1.540
Rango altitudinal (metros)	36	160
Parcela de investigación	El Plan	N1 Cementerio
Área de parcela (Ha)	1,534641	1,110849
Coordenadas centroide	75,744139°W; 4,754866°N	75,717429°W; 4,71547°N
Altitud (m.s.n.m.)	1.291	1.505
Variedad de café	Castillo	Castillo

Fuente: elaboración propia a partir de información geográfica secundaria (Modelo Digital de

Elevaciones de resolución espacial 12,5 metros, IGAC 2015)

Mediante entrevistas realizadas con los administradores de las fincas, se corroboró la existencia de lotes de café de la variedad Castillo en plena producción. En consecuencia, se seleccionó el lote más adecuado en función de los objetivos de la

investigación, obteniendo así la identificación de los lotes de trabajo correspondientes en cada una de las fincas.

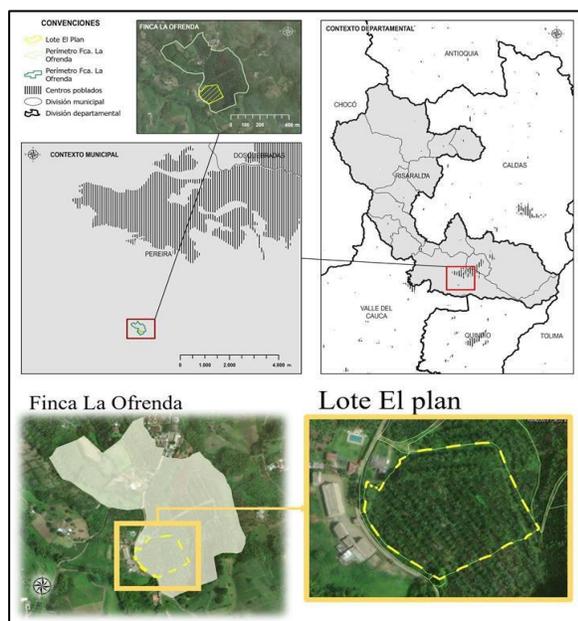
- Lotes con seguimiento previo de niveles de infestación de broca.

A partir de entrevista no estructurada y con la visualización de los formatos presentados en el Anexo 1 (Formatos para evaluación de infestación y penetración utilizados en campo por administradores de fincas cafeteras) se pudo corroborar que en ambas fincas llevaban registros previos de infestación de los lotes de café de las respectivas fincas.

- Plantaciones cuyos frutos han alcanzado más del 20% de peso seco (lo cual ocurre entre 120 y 150 días después de la floración).

A partir de entrevista no estructurada y de la visita a los diferentes lotes de café, se eligieron sectores con café en producción (Figuras 8 y 9).

Figura 8.

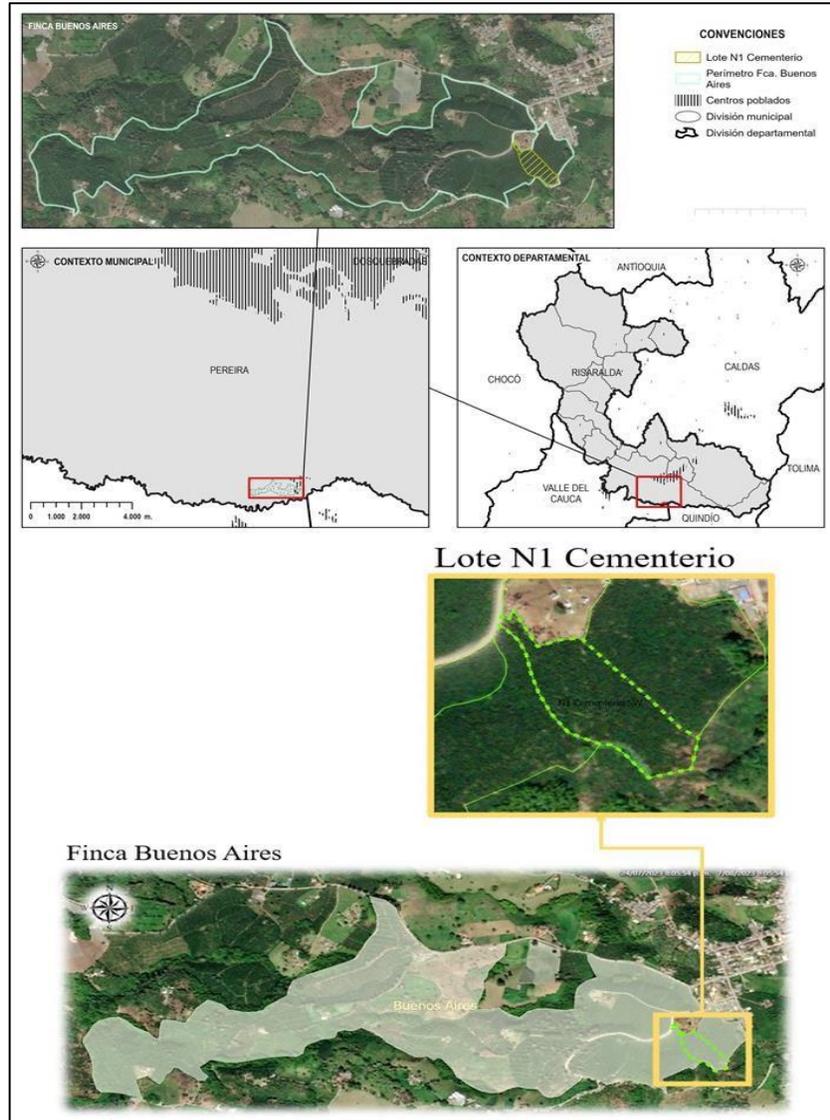


Localización de la finca la Ofrenda (vereda El Retiro) con su lote El Plan.

Fuente: elaboración propia

Figura 9.

Localización de la finca Buenos Aires (vereda Miralindo) con su lote N1 Cementerio.



Fuente: Elaboración propia

7.2 Fase 1: Adaptación del formato de evaluación de infestación de broca (análogo a digital)

- *La construcción de la matriz con la síntesis del método* se elaboró a partir de un conjunto de publicaciones que describieron los fundamentos del método empleado por CENICAFÉ para evaluar la broca en los cultivos de café, la cual se encuentra en el Anexo 2 (Publicaciones relevantes que se refieren al método de evaluación y penetración de la broca en los cultivos de café). A partir de los extractos y síntesis de la revisión bibliográfica, se identificaron los siguientes componentes generales comunes relacionados con la evaluación y manejo de la broca en los cultivos de café:

- **Período Crítico de Evaluación:** Se hace referencia al período crítico en el cual se recomienda que los caficultores estén atentos a los niveles de infestación de la broca. Este período comienza aproximadamente entre los 120 y 150 días después de la floración principal, cuando el fruto alcanza el 20% de peso seco.

- **Posiciones de Penetración de la Broca:** Se mencionan las distintas posiciones de penetración de la broca en el grano (A, B, C y D) y la necesidad de identificar en el proceso de evaluación.

- **Patrones de Floración del Café:** Se describen los patrones de floración del café en Colombia, lo que ayuda a estimar las épocas de mayor susceptibilidad de los frutos al ataque de la broca.

- **Recomendaciones de Acciones en el Período Crítico:** Se enfatiza la importancia de evaluar el nivel de infestación y la posición de penetración de la broca en el fruto durante el período crítico. También se menciona la aplicación de insecticidas

cuando se superan ciertos umbrales de infestación.

- Muestreo y Evaluación: Se detalla el método para estimar la infestación de broca en el campo, incluyendo la recomendación de evaluar una cantidad específica de frutos por hectárea.

- Identificación de Focos de Infestación: Se destaca la importancia de identificar áreas dentro del lote donde el ataque de la broca es más concentrado, utilizando mapas de la finca para aplicar medidas focalizadas.

- Frecuencia de Evaluación: Se recomienda una evaluación regular, generalmente mensual, durante el período crítico y se proporcionan detalles sobre el proceso de evaluación.

- Niveles Máximos Permitidos de Infestación: Se mencionan los niveles máximos permitidos de infestación para obtener café de calidad, así como la necesidad de mantener niveles bajos en períodos sin cosecha.

- Utilización de Mapas de la Finca: Se hace hincapié en el uso de mapas de la finca para ubicar áreas de mayor infestación y dirigir las medidas de control de manera precisa.

- Registro de la Floración: Se sugiere el registro de la floración como un punto inicial para determinar el momento de impacto de la broca en el cultivo.

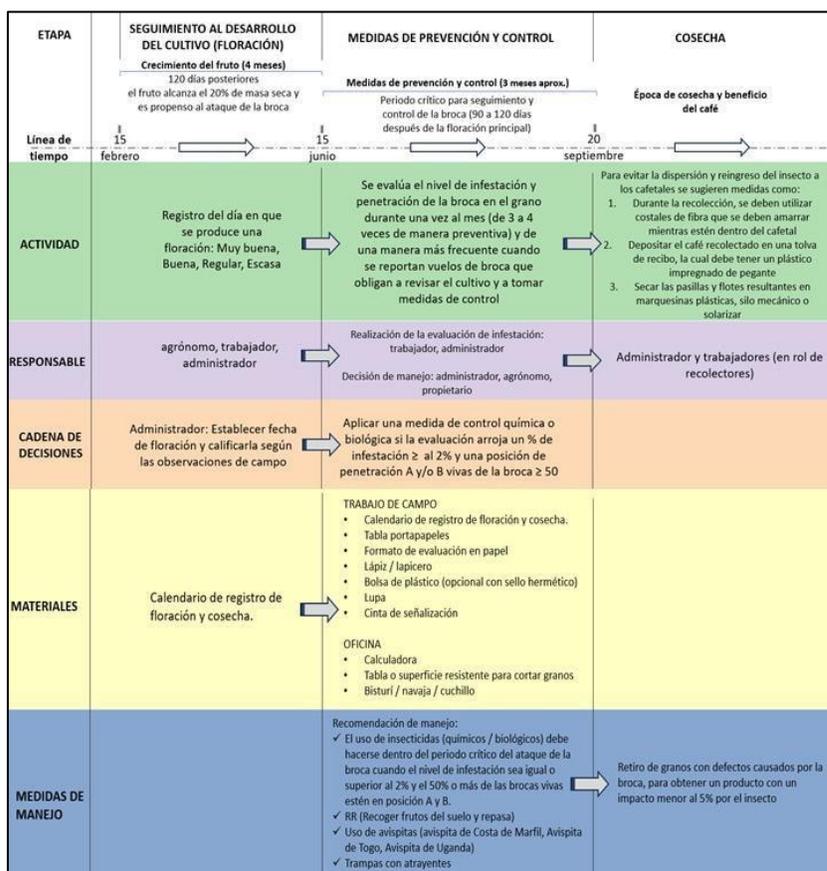
Los componentes generales identificados, permitieron hacer una aproximación más clara de lo que contempla una estrategia efectiva de evaluación y manejo de la broca en los cultivos de café. En relación con los métodos de evaluación de los niveles de infestación de la broca, es relevante destacar que en Colombia se ha utilizado el método de muestreo de los 30 sitios desde 1993. De manera similar, en Hawái, se ha

aplicado este método, cuyos resultados son determinantes para establecer medidas de control químico, como se evidencia en el trabajo de Kawabata, Nakatomo y Curtiss (2016). En contraste, en Guatemala se lleva a cabo un enfoque que implica la identificación de sitios de muestreo en campo. Sin embargo, la evaluación del conteo de granos afectados por la broca y el impacto de esta plaga se determina mediante sectores compuestos por cinco plantas de café, de las cuales se extraen al azar 20 frutos para su posterior examen, como lo describen Campos y Rodas (2018).

- *Diseñar el flujograma con los insumos y pasos que realiza el caficultor en campo para llevar a cabo el proceso de evaluación de broca.* La Figura 10 representa un flujograma detallado que sintetiza los procedimientos e instrumentos que un caficultor debe llevar a cabo en campo para la realización de la evaluación de la broca. Este flujograma es una guía simplificada que abarca desde el inicio de la evaluación hasta el proceso final de toma de decisiones. Su propósito principal fue el de facilitar la comprensión de lo que sucede a cabo en cada fase de la evaluación de infestación de la broca en una línea temporal que corresponde a un periodo productivo en las zonas cafeteras de Risaralda.

Figura 10.

Flujograma con etapas, materiales, actividades, responsables, cadena de decisiones y medidas de manejo relacionadas con la evaluación de infestación de broca en cultivos de café.



Fuente: Elaboración propia

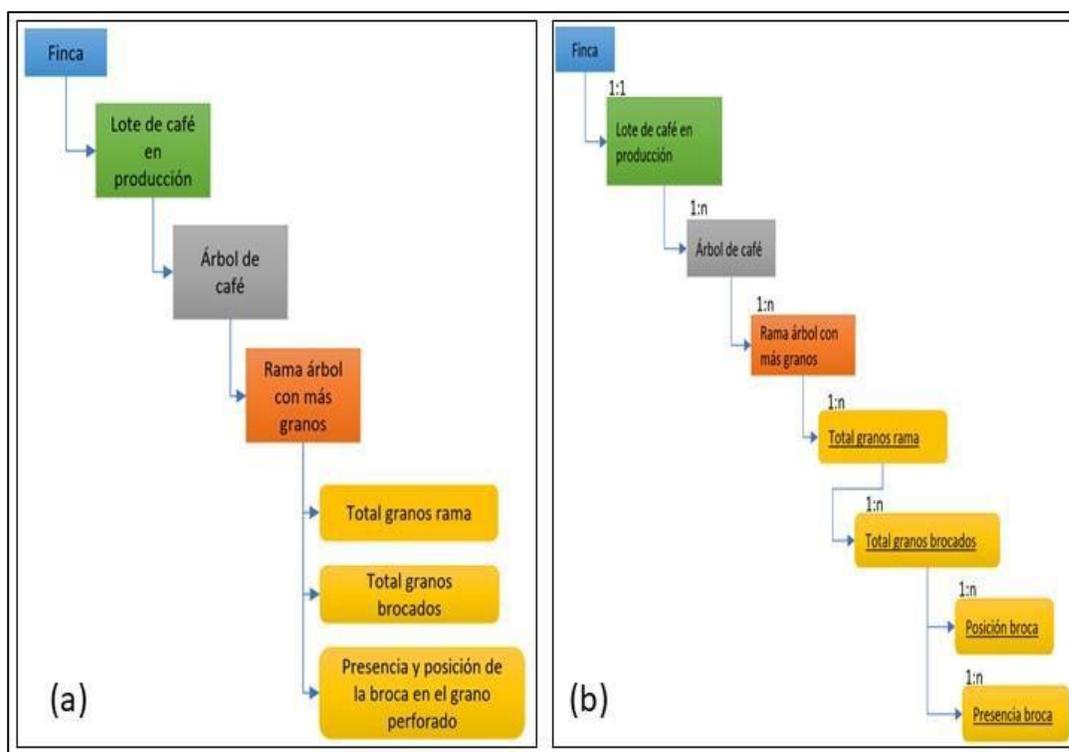
- *Diseñar e implementar una evaluación digital de broca.* El modelo conceptual de la evaluación de los niveles de infestación y de penetración de la broca (Figura 11a) se construyó a partir de la información relevante identificada en la matriz con la síntesis del método y a partir de formatos suministrados por administradores de fincas cafeteras, quienes manifestaron que eran los utilizados para realizar las evaluaciones de infestación

y penetración en sus áreas de cultivo (Anexo 1). Así mismo se definió el modelo lógico de dicha evaluación (Figura 11b)

Figura 11.

Modelo conceptual de la evaluación de infestación y penetración de la broca en el café (a),

Modelo lógico de la evaluación de infestación y penetración de la broca en el café (b).



Fuente: elaboración propia

Para conocer de manera directa el proceso de evaluación, se participó de evaluaciones de infestación realizadas en las dos fincas en donde se identificaron, posteriormente, los lotes de trabajo. Cabe mencionar que, como se puede observar en los formatos del anexo 1, todo el procedimiento es realizado manualmente, desde el

diligenciamiento en campo hasta la obtención de resultados mediante las fórmulas matemáticas mencionadas.

A partir de los componentes de la evaluación de infestación identificados en la bibliografía, tanto en el Anexo 2 como los formatos del Anexo 1, como de lo observado en las visitas realizadas en campo para conocer las condiciones de diligenciamiento y el proceso completo, se llegó a la conclusión de que para el desarrollo de un formulario digital se deben considerar una serie de premisas de diseño las cuales se describen en el Anexo 3 (Premisas de diseño del formulario digital para evaluación de infestación y penetración de la broca del café).

Para lograr obtener un formulario digital apropiado, se estructuró un diseño agrupando las variables en tres grupos que fueron denominados: datos autodiligenciables por el sistema, datos diligenciables por el usuario y datos de procesamiento interno. A continuación, se describe cada grupo:

- Datos autodiligenciables por el sistema: este grupo comprende campos como fecha, hora y precisión del GPS del celular. Estos datos se son diligenciados automáticamente por la app instalada en el celular al iniciar la encuesta en el árbol seleccionado para el muestreo.

- Datos diligenciables por el usuario: comprende los campos que el evaluador o técnico de campo debe ingresar mediante el teclado en pantalla del dispositivo. Ellos se basan en las observaciones realizadas en cada árbol, de acuerdo con las variables establecidas.

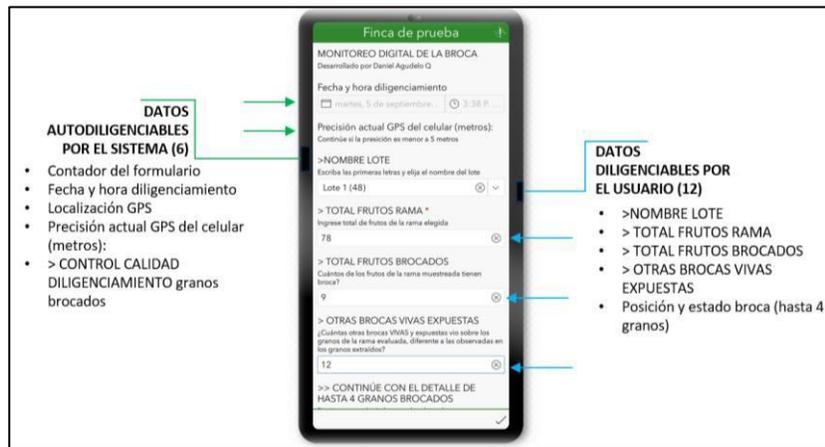
- Datos de procesamiento interno: consiste en la configuración de fórmulas que

permiten el procesamiento de la información ingresada. Para mejorar la experiencia del usuario, se determinó que, en cuanto al detalle del grano, los evaluadores de infestación prefieren hacer una selección única de una letra asociada a la posición (A, B, C o D) y al estado de la broca (viva, muerta o ausente).

Estos tres grupos de datos se clasifican en dos denominaciones: el front-end que agrupa los datos mostrados y que los usuarios pueden visualizar o editar directamente en alguna interfaz, y - el back-end que se encarga del procesamiento y almacenamiento de los datos, así como de la lógica y funcionalidad que respalda la interacción del usuario en el front-end. En conjunto, el front-end y el back-end trabajan de manera integrada para brindar una experiencia completa y funcional del formulario, el cual luego se cargó en la aplicación Survey123 Connect®. Como resultado se obtuvo un total de 99 campos que se detallan en el Anexo 4.(Atributos del formulario digital utilizados para el diseño de la evaluación de infestación). La Figura 12 ilustra parte del front-end obtenido.

Figura 12.

Front-end y resumen de las variables autodiligenciables por el sistema y las requeridas para diligenciamiento por el usuario.



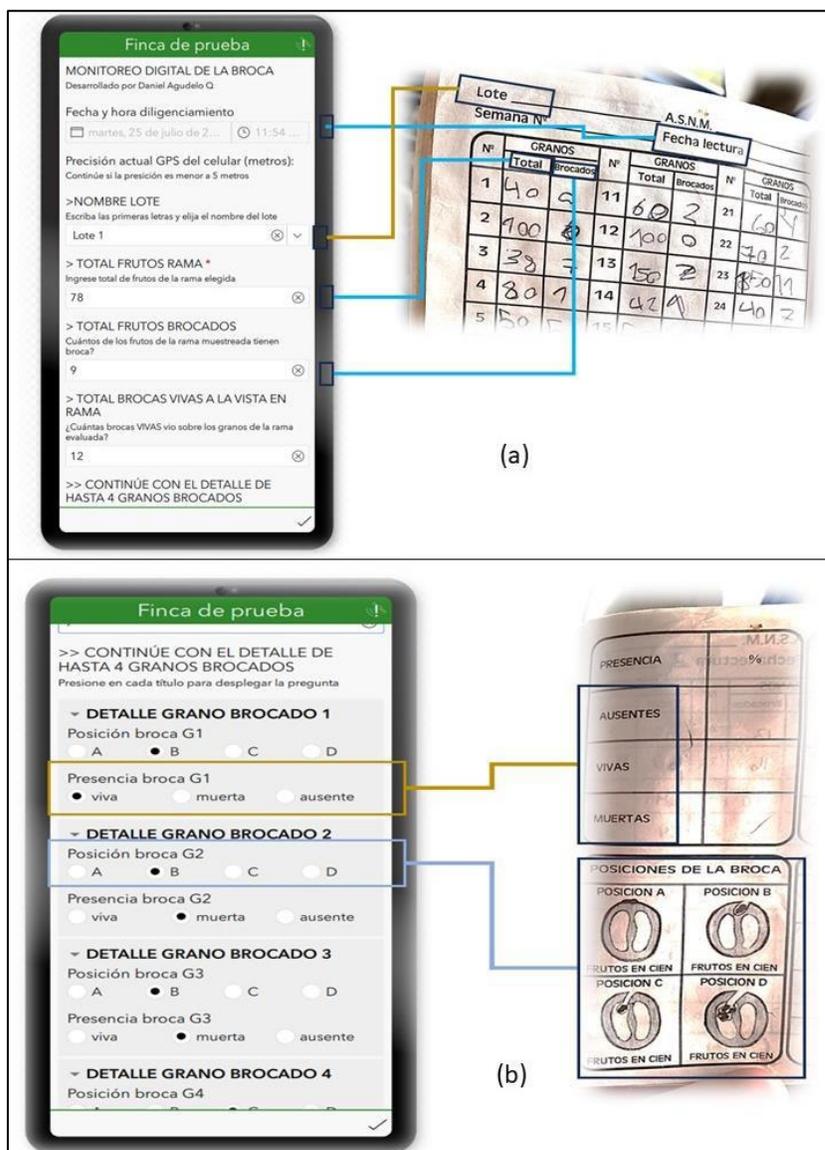
Fuente: elaboración propia

Considerando las diferentes variables, se aprovecharon las capacidades tecnológicas para incorporar el diligenciamiento automático que puede hacer el sistema, por ejemplo, en cuanto a la fecha y hora de diligenciamiento, como se muestra en la Figura 13a. Por otra parte se habilitaron campos con un nombre y descripción simplificada que ayude al operario de campo para un diligenciamiento intuitivo.

Con relación a las variables cualitativas, en un principio se generó un formulario en el que fue necesario escribir un número (1 para validar y 0 cuando se presentaba el alguna posición y estado), sin embargo, la forma más sencilla fue mediante campos con selección única, de tal forma que no fuera necesario ingresar número alguno (Figura 13 b).

Figura 13.

Adaptación del formulario digital con las variables presentes en la evaluación análoga del nivel de infestación (a) y de la posición de la broca (b).



Fuente: elaboración propia

Así, como producto de lo anterior, la Figura 14 presenta la vista típica del front-end cuando se evalúa un árbol de café en campo.

Figura 14.

Vista típica del front-end del formulario digital para el diligenciamiento de datos en campo para la evaluación de los niveles de infestación y posición de penetración de la broca.

The figure displays three sequential screenshots of a mobile application interface titled "Finca de prueba".

- First Screenshot:** Shows the main form titled "MONITOREO DIGITAL DE LA BROCA". It includes a date and time field (martes, 5 de septiembre, 3:38 P.), a GPS precision indicator, and several input fields for data entry: "NOMBRE LOTE" (Lote 1 (48)), "TOTAL FRUTOS RAMA" (78), "TOTAL FRUTOS BROCADOS" (9), and "OTRAS BROCAS VIVAS EXPUESTAS" (12). A navigation button at the bottom says ">> CONTINÚE CON EL DETALLE DE HASTA 4 GRANOS BROCADOS".
- Second Screenshot:** Shows the "DETALLE GRANO BROCADO 1" screen. It prompts the user to "CONTINÚE CON EL DETALLE DE HASTA 4 GRANOS BROCADOS" and "Presione en cada título para desplegar la pregunta". It contains four sections, each for a different grain (G1, G2, G3, G4). Each section asks for the "Posición broca" (A, B, C, D) and "Presencia broca" (viva, muerta, ausente).
- Third Screenshot:** Shows the "CONTROL CALIDAD DILIGENCIAMIENTO granos brocados" screen. It displays the "RESULTADOS" section, showing the "% INFESTACIÓN BROCA (árbol): 11,538".

Fuente: elaboración propia.

Para la categorización de los atributos en sus tipos, que se amplían en el Anexo 4, se presenta en las tablas 4 y 5.

Tabla 4.

Tipo de dato según si es: diligenciable por el usuario, autodiligenciable por el sistema o de procesamiento interno y según la interacción con el usuario (back end o front end).

Tipo / Grupo de dato	Tipo de dato			Tipo de interacción		Total
	Autodiligenciable por el sistema	De procesamiento interno	Diligenciable por el usuario	Back end	Front end	
cálculo	1			1		1
dato cronológico	1				1	1
dato de listado			9		9	9
decimal		2		1	1	2
entero	1	69	3	70	3	73
fin de grupo		4		4		4
geopunto	1			1		1
inicio de grupo		5			5	5
nota	2	1			3	3
Total	6	81	12	77	22	99

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.

Grupo de dato según el Tipo de interacción con el usuario.

Grupo de dato / Tipo de interacción con el usuario	Back-end	Front-end	Total
Dato autodiligenciable por el sistema	3	3	6
Dato de procesamiento interno	74	7	81
Dato diligenciable por el usuario		12	12
Total	77	22	99

Fuente: Elaboración propia

Para asegurar una buena experiencia de usuario y funcionalidades para una consistencia en el ingreso de datos en campo al formulario digital, se implementaron características que se detallan en el Anexo 5 (Diseño de la interfaz y funcionalidades del formulario digital para evaluación de infestación y penetración de la broca del café), las cuales se resumen en: Listas desplegadas, Selección única, Restricción de valores, Despliegue de información de forma natural, Control de diligenciamiento, Visualización de resultados inmediata por árbol, Almacenamiento en bandeja de salida y Contabilizador de muestras tomadas.

Probar la funcionalidad de la evaluación digital de broca

Para evaluar el funcionamiento de la evaluación digital de broca, se llevaron a cabo pruebas de escritorio con un celular de gama media. Estas pruebas revelaron un desempeño notablemente eficiente y natural en comparación con el formato impreso tradicional, el cual resultaba abrumador y poco atractivo a simple vista para su cumplimentación por parte de un técnico de campo.

Durante la realización de estas pruebas en un entorno de escritorio, se observó que el diligenciamiento del formulario digital requería un tiempo que oscilaba entre 30

y 35 segundos desde el inicio del registro de una muestra hasta su almacenamiento en la bandeja de salida. Estos resultados indicaron una velocidad apropiada en la recopilación de datos antes de hacer pruebas completas en campo.

Es importante destacar que, aunque estas pruebas de escritorio ofrecieron una visión inicial prometedora, las pruebas de campo proporcionarían una validación aún más sólida del desempeño real. En ese contexto, los operarios enfrentarán un escenario auténtico, que incluye la realización de conteos de granos y frutos brocados, así como el proceso de identificación de la posición de penetración de la broca en el grano.

Las pruebas realizadas en condiciones reales proporcionarían una evaluación precisa del desempeño de la evaluación digital de broca, asegurando que esta se ajustara de manera efectiva a las exigencias del entorno de campo en la recolección de datos. Es fundamental recordar que la mera incorporación de tecnología por sí sola no siempre es la opción más beneficiosa en un proceso de modernización, por lo cual no solo debe demostrar mejoras en tareas básicas automatizables, sino también debe ser eficiente frente al tiempo requerido con el formato tradicional, siendo crucial para garantizar que la adopción de la evaluación digital sea una opción, incluso cuando el último no ofrezca funcionalidades significativamente adicionales en comparación con el proceso de digitalización. Debe considerarse el referente de tiempo promedio de 42 minutos, señalado por Bustillo (2007, p. 14), para contabilizar el total de frutos en la rama y el total de frutos brocados, en el denominado método análogo.

En línea con las conclusiones que se han extraído sobre la versatilidad y utilidad de la suite de productos de ESRI en el contexto del desarrollo de la aplicación MIPapa, que simplifica la identificación de plagas como gorgojos o polillas, es evidente que la

adaptación de herramientas tecnológicas personalizadas, que permiten la vinculación de datos tabulares con información geoespacial, proporciona un conjunto poderoso de capacidades para la gestión integral de plagas en los cultivos. Este enfoque se refleja en la aplicación web desarrollada por Vargas y Machicao (2023) para el monitoreo de plagas en el cultivo de la papa, y su aplicabilidad también se corrobora mediante esta investigación para el seguimiento de la broca en los cultivos de café.

7.3 Fase 2: Integración de la versión digital del formato a una base de datos en línea

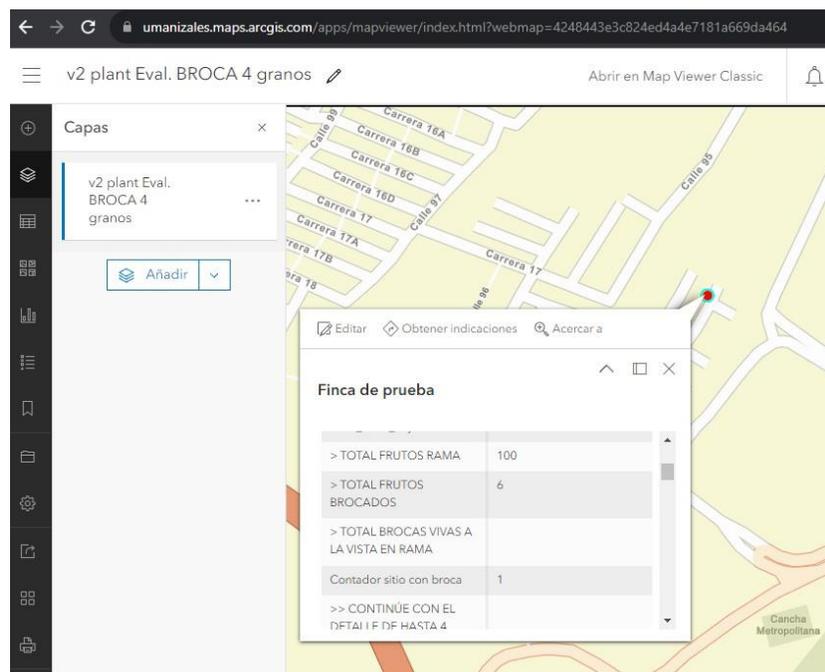
La integración del formulario a una base de datos en línea se estableció a través de la aplicación ArcGIS Online® a través de la cual se configuró una carpeta en la nube que almacena la estructura del formulario web denominado *Form*, una capa en formato vectorial que vincula la tabla con los puntos mediante un par de coordenadas (X,Y) cuyo sistema de coordenadas se basa en el datum WGS84 . Esta capa se convirtió en un servicio en línea, lo que permite consultarla de forma remota, cuando se configura un mapa web “web map” que la incorpore y la presente mediante una simbología apropiada para la interpretación de algún atributo de interés. Gracias a esta integración, los datos del formulario quedaron disponibles en línea y se pueden acceder de manera conveniente para procesos de consulta.

La verificación de la integración de la base de datos se realizó a través del visor de mapa básico Map Viewer, donde se pudo constatar la transferencia y visualización de los datos recolectados en campo, tal como se observa en la Figura 15. Esta verificación confirma el correcto funcionamiento y disponibilidad de los datos en línea para su uso

y análisis.

Figura 15.

Visualización en el map viewer de la conexión de los datos tomados en campo y almacenados en servidor remoto.



Fuente: elaboración propia.

7.4 Fase 3. Desarrollo del geovisor para la visualización de resultados

El diseño del geovisor se planteó considerando diferentes pautas para garantizar una experiencia de usuario óptima y una presentación efectiva de la información tomada en campo, con el respectivo procesamiento para que el resultado facilite la toma de decisiones en materia de medidas de control para mantener los niveles aceptables de la presencia de la plaga. Las pautas tenidas en cuenta se detallan a continuación:

- **Claridad y enfoque:** se definió claramente los objetivos del geovisor y el

público objetivo al que se dirige, lo que permitió diseñar una interfaz intuitiva y enfocada en las necesidades de los caficultores en rol de administradores.

- **Organización y estructura:** La información geoespacial se estructuró en grupos de capas de manera lógica y coherente, la cuales se presentaron con etiquetas y descripciones claras para facilitar la navegación y comprensión de los datos.

- **Simbología y colores:** Se utilizó una simbología y colores apropiados para representar los diferentes tipos de datos, especialmente los niveles de infestación, de tal manera que se pudiera interpretar la magnitud a partir del tamaño del símbolo y a su vez por la gama de colores, la cual inicia en verdes, pasando por amarillos hasta llegar al rojo, lo cual pueda facilitar interpretar el resultado y no genere confusión.

- **Interactividad:** Se incorporaron elementos interactivos como pop-ups, etiquetas emergentes y herramientas de consulta para permitir a los usuarios obtener más información sobre los datos al hacer clic en ellos.

- **Diseño de respuesta y compatibilidad:** considerando la compatibilidad con diferentes dispositivos y tamaños de pantalla se generaron 2 tipos de visores, que pudieran verse correctamente en computadoras de escritorio y teléfonos móviles.

- **Leyendas y escalas:** se incluyeron leyendas claras que expliquen el significado de los símbolos utilizados en el mapa. Asimismo, se agregaron escalas gráficas para que los usuarios puedan tener una idea de las distancias representadas.

- **Etiquetado y etiquetas inteligentes:** se utilizó el etiquetado inteligente para evitar superposición de etiquetas en el mapa y garantizar una lectura clara de la información.

- **Actualización y mantenimiento:** considerando que la vigencia del geovisor se

da por su nivel de actualización, se tuvo especial cuidado de asegurar que la información de campo se cargue correctamente, por lo que se hicieron pruebas periódicas para revisar su buen funcionamiento.

- **Compatibilidad con navegadores:** se hicieron pruebas para que el geovisor funcione adecuadamente en diferentes navegadores web, como Chrome, Firefox, Safari, etc.

- **Seguridad y permisos:** En cuanto a la seguridad y los permisos, debido al rol de usuario del paquete de ESRI® disponible en la Universidad de Manizales, no fue posible habilitar la creación de usuarios con el rol de "visualizadores" para la configuración de los visores. Por lo tanto, durante la fase experimental de este proyecto de grado, se mantuvo el acceso abierto al geovisor desarrollado, permitiendo que el propietario y sus colaboradores lo consultaran libremente. Sin embargo, para un uso más amplio de productos similares, se recomienda gestionar los permisos mediante la asignación de un usuario y contraseña específicos, con el objetivo de mantener la privacidad de los resultados, los cuales son de interés únicamente para el propietario de la finca y de su equipo de colaboradores.

A partir de las pautas anteriores se diseñó un visor que tuviera los siguientes elementos: Mapa en vista principal con resultados de campo, Convenciones y simbología, Filtros para visualización de información por atributos elegibles, Resultados estadísticos de infestación, Total de árboles visitados para la evaluación (muestras). Considerando las p a u t a s y requerimientos de contenido, se eligió Experience Builder® de ESRI© como el asistente para desarrollo del geovisor (Figura 16), el cual tiene las siguientes características principales:

- Crear aplicaciones de una o varias páginas (centradas o no en mapas) para su

visualización en una pantalla fija o desplazable.

- Interactuar con contenido 2D y 3D en una aplicación.
- Agregar herramientas interconectadas con widgets de arrastrar y soltar.
- Identificar aplicaciones con temas.
- Implementar aplicaciones ágiles en cualquier dispositivo.
- Diseñar plantillas de aplicaciones personalizadas.
- Crear, implementar y administrar aplicaciones desde un solo lugar.

Figura 16.

Geovisor implementado en Experience Builder® que permite consultar los datos tomados en campo mediante filtros de nombre de lote y fecha. (visualización para PC).

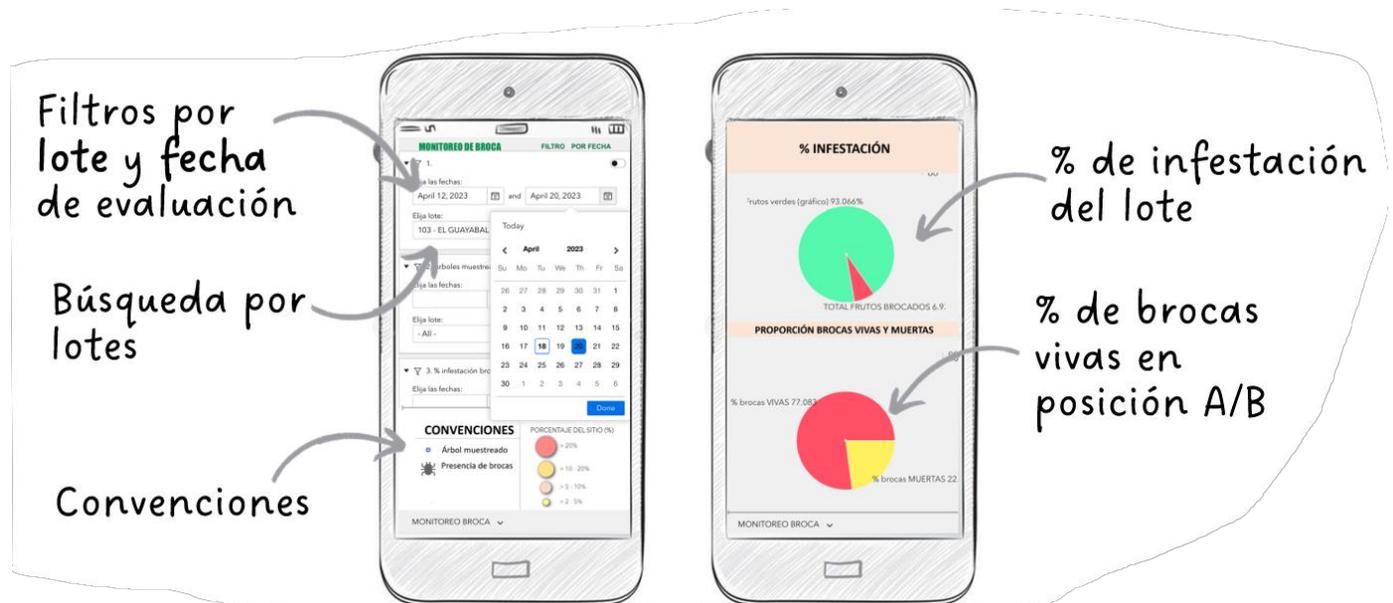




Fuente: elaboración propia.

Figura 17.

Geovisor implementado en Experience Builder® que permite consultar los datos tomados en campo mediante filtros de nombre de lote y fecha. (visualización celular).



Fuente: elaboración propia.

Se realizaron pruebas del geovisor desarrollado para su visualización, tanto en pantallas de celulares como de computadoras. Estas pruebas abarcaron todo el proceso, desde la alimentación del sistema con la información recolectada en campo (simulada desde escritorio) hasta la selección de datos mediante filtros. Este proceso representa la secuencia de pasos que un caficultor debe seguir para acceder a los resultados de la evaluación de infestación de un lote específico. Los resultados obtenidos fueron completamente satisfactorios, ya que la plataforma respondió de manera efectiva y permitió obtener resultados precisos y completos tanto en dispositivos móviles como en computadoras de escritorio.

La capacidad de visualizar los resultados de manera casi instantánea genera una satisfacción inmediata tanto para quienes recopilan datos en el campo como para aquellos que consultan estos resultados para tomar decisiones relacionadas con el cultivo. Siguiendo un enfoque similar al de la aplicación MIPapa (Vargas y Machicao, 2023), quienes incorporaron un geovisor desarrollado utilizando productos de ESRI. No obstante, se llevó a cabo su desarrollo en forma de una aplicación web personalizada utilizando ExperienceBuilder® lanzado en julio de 2019 en vez de WebAppBuilder®, lo que permitió la inclusión de widgets y funciones que se alinearon perfectamente con las necesidades de consulta para evaluar los niveles de infestación de la broca. Esto incluyó la capacidad de filtrar por el nombre del lote y la fecha de la evaluación, facilitando así el proceso de revisión del monitoreo.

7.5 Fase 4. Validación del funcionamiento del aplicativo desarrollado

La validación del aplicativo se realizó en las dos fincas mencionadas teniendo en cuenta el tipo de muestreo según dos arreglos como se presenta de manera detallada en el Anexo 6. (Distribución de muestras en los lotes de estudio).

Con el propósito de confirmar el funcionamiento óptimo del aplicativo desarrollado, se ejecutó un proceso de validación en colaboración con los administradores de las dos áreas productivas mencionadas.

Para realizar pruebas en campo, se configuró la evaluación digital con la información de las unidades productivas de las diferentes fincas que formaban parte de la muestra y el proceso de validación de la aplicación consideró las siguientes etapas (ver el Anexo 7. Etapas del proceso de validación del aplicativo en las fincas): - Capacitación básica de uso de la aplicación y acompañamiento durante el monitoreo, - Ejecución de pruebas - Análisis de resultados, - Corrección de problemas, - Retesting y - Seguimiento continuo al uso de la aplicación Los resultados en la etapa 3 de análisis de resultados fueron fundamentales para establecer una clara base de conocimiento acerca del desempeño del sistema de monitoreo. Al detectar cuestiones y obstáculos, se abrió la oportunidad para introducir mejoras tanto en el procedimiento como en la herramienta en sí. El listado de situaciones y errores reportados por los usuarios en campo se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6.

Errores, mejoras sugeridas y situaciones reportadas por los usuarios del formulario en campo.

No.	Situación, error reportado o mejora sugerida
1	El usuario de campo no tiene muy claro cómo hacer la evaluación de infestación de broca ni de posición de penetración de la broca en el aplicativo
2	Quisiera saber cuántas muestras debo tomar por cada lote
3	Quiero saber cuántas muestras he tomado en la medida que avanzo en la evaluación

No.	Situación, error reportado o mejora sugerida
4	Quisiera NO tener que elegir el mismo lote cada vez que tome una muestra en el interior del cultivo
5	Quisiera conocer el resultado de infestación de inmediato en cada árbol en campo
6	Escribir 0 y 1 en el campo relacionado con la posición y penetración de la broca no me parece tan fácil de entender
7	El celular se calienta mucho durante el proceso y a veces posterior a la evaluación
8	La app pareciera que consume más rápidamente la batería del celular, por lo que a veces no rinde la batería para todo el día
9	Realizar la identificación de posición de penetración de la broca de los granos de brocados es incómoda en campo
10	Tener el celular en la mano a veces me dificulta realizar el conteo de granos en la rama
11	Quisiera que el resultado llegara a mi celular después de sincronizar y no tener que buscar en la app el resultado según fecha y nombre del lote

Fuente: elaboración propia.

En la etapa 4 de corrección de problemas, tras analizar los errores y las áreas que requerían mejoras, se procedió a valorar su impacto en el proceso y se diseñaron las medidas correctivas necesarias para abordar estos hallazgos (Tablas 7 y 8).

Tabla 7.

Situaciones reportadas en campo y propuesta de mejora.

Nº	Situación reportada (Error o mejora sugerida)	Mejora implementada
----	--	---------------------

1	El usuario de campo no tiene muy claro cómo hacer la evaluación de infestación de broca ni de posición de penetración de la broca en el aplicativo	Explicación durante la capacitación y mayor acompañamiento
2	Quiero saber cuántas muestras he tomado en la medida que avanzo en la evaluación	Explicación durante la capacitación
3	Escribir 0 y 1 en el campo relacionado con la posición y penetración de la broca no me parece tan fácil de entender	Incorporación de la funcionalidad en el formulario para selección única
4	Realizar la identificación de posición de penetración de la broca de los granos de brocados es incómoda en campo	Explicación durante la capacitación de la importancia de la disección del grano en campo Diseño y realización de pruebas de una herramienta mecánica de corte de 4 granos
5	Quisiera saber cuántas muestras debo tomar por cada lote	Aclaración durante la capacitación

Nº	Situación reportada (Error o mejora sugerida)	Mejora implementada
6	Quisiera NO tener que elegir el mismo lote cada vez que tome una muestra en el interior del cultivo	La app Survey123 no contempla esta funcionalidad dentro de su desarrollo por lo que NO se pudo subsanar este requerimiento
7	El celular se calienta mucho durante el proceso y a veces posterior a la evaluación	Aclaración durante la capacitación
8	La app pareciera que consume más rápidamente la batería del celular, por lo que a veces no rinde la batería para todo el día	Aclaración durante la capacitación
9	Tener el celular en la mano a veces me dificulta realizar el conteo de granos en la rama	Adaptación de un accesorio existente y un cordel para utilizar en el cuello
10	Quisiera conocer el resultado de infestación de inmediato en cada árbol en campo	Se implementaron las funcionalidades para agregar un campo con el resultado requerido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.

Situaciones reportadas en la fase de recepción de resultados y toma de decisiones y propuesta de mejora.

Nº	Situación reportada (Error o mejora sugerida)	Nivel de impacto de la falla en el proceso	Cómo superar el problema o situación reportada
11	Quisiera que el resultado llegara a mi celular después de sincronizar y no tener que buscar en la app el resultado según fecha y nombre del lote	Medio	Se revisará la opción de configuración y opciones de la herramienta Survey123 para que se genere un reporte que se envíe automáticamente al usuario, después de cada monitoreo una vez se haya sincronizado por internet toda la información

Fuente: Elaboración propia

A partir de lo anterior, se identificaron los errores y áreas de mejora que se manifestaron en las pruebas y se determinó su influencia en la dinámica general del proceso. Se priorizaron aquellos aspectos cuya afectación repercutía de manera notable en la eficacia, eficiencia y fiabilidad y rendimiento general en el diligenciamiento del formulario. Las Tablas 9 y 10 condensan las mejoras implementadas y su relación con las situaciones reportadas en campo.

Tabla 9.

Situaciones reportadas en campo y mejoras implementadas.

Nº	Situación reportada (Error o mejora sugerida)	Mejora implementada
1	El usuario de campo no tiene muy claro cómo hacer la evaluación de infestación de broca ni de posición de penetración de la broca en el aplicativo	Explicación durante la capacitación y mayor acompañamiento

2	Quiero saber cuántas muestras he tomado en la medida que avanzo en la evaluación	Explicación durante la capacitación
3	Escribir 0 y 1 en el campo relacionado con la posición y penetración de la broca no me parece tan fácil de entender	Incorporación de la funcionalidad en el formulario para selección única
4	Realizar la identificación de posición de penetración de la broca de los granos de brocados es incómoda en campo	Explicación durante la capacitación de la importancia de la disección del grano en campo Diseño y realización de pruebas de una herramienta mecánica de corte de 4 granos
5	Quisiera saber cuántas muestras debo tomar por cada lote	Aclaración durante la capacitación
6	Quisiera NO tener que elegir el mismo lote cada vez que tome una muestra en el interior del cultivo	La app Survey123 no contempla esta funcionalidad dentro de su desarrollo por lo que NO se pudo subsanar este requerimiento
7	El celular se calienta mucho durante el proceso y a veces posterior a la evaluación	Aclaración durante la capacitación
8	La app pareciera que consume más rápidamente la batería del celular, por lo que a veces no rinde la batería para todo el día	Aclaración durante la capacitación
9	Tener el celular en la mano a veces me dificulta realizar el conteo de granos en la rama	Adaptación de un accesorio existente y un cordel para utilizar en el cuello
10	Quisiera conocer el resultado de infestación de inmediato en cada árbol en campo	Se implementaron las funcionalidades para agregar un campo con el resultado requerido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.

Situaciones reportadas en la recepción de resultados y toma de decisiones y mejoras implementadas.

N°	Situación reportada (Error o mejora sugerida)	Mejora implementada
11	Quisiera que el resultado llegara a mi celular después de sincronizar y no tener que buscar en la app el resultado según fecha y nombre del lote	La app Survey123 no contempla esta funcionalidad dentro de su desarrollo y ArcGIS Online ® contempla la generación de un reporte pero que no se envía automáticamente al celular del usuario, por lo que NO se pudo subsanar este requerimiento

Fuente: Elaboración propia

Representación espacial de los resultados

La comunicación efectiva de los resultados es un aspecto esencial en cualquier investigación, pero cuando se trata de representación cartográfica de datos, adquiere una importancia aún mayor. En este contexto, se vuelve fundamental no solo garantizar el rigor técnico necesario en la elaboración de mapas, sino también lograr que estos sean accesibles y comprensibles de manera intuitiva para el público objetivo.

En el caso específico de la caficultura, esta investigación abre un nuevo horizonte donde la toma de decisiones puede depender en gran medida de la información presentada en mapas, por lo que para transmitir el mensaje visual de manera efectiva se convirtió en un desafío importante que fue abordado. Los caficultores necesitan comprender de manera rápida y precisa la información proporcionada en los mapas para tomar decisiones informadas sobre la presencia de la plaga en sus cultivos. Para lograrlo, se crearon múltiples representaciones visuales de los resultados para someterlos a

consideración de personal con conocimiento en el tema y así elegir una sola representación con la que se generarían los resultados. En el Anexo 8 (Proceso de selección de la representación cartográfica de resultados de evaluación de la broca) se detalla este procedimiento y se elige una de las cuatro vistas sugeridas para presentar los siguientes resultados.

Resultados del proceso de evaluación de infestación y penetración de la broca en los lotes de estudio

A continuación, se exponen los resultados del proceso de evaluación de la infestación de la broca, basados en un total de cinco evaluaciones efectuadas en cada una de las fincas, mediante representaciones geográficas y tablas detalladas, así: Figura 17 y Tabla 11 para el lote El Plan, donde se realizaron 46 muestreos, mientras para el lote N1 Cementerio se destinan la Figura 18 y la Tabla 12, con 33 muestreos.

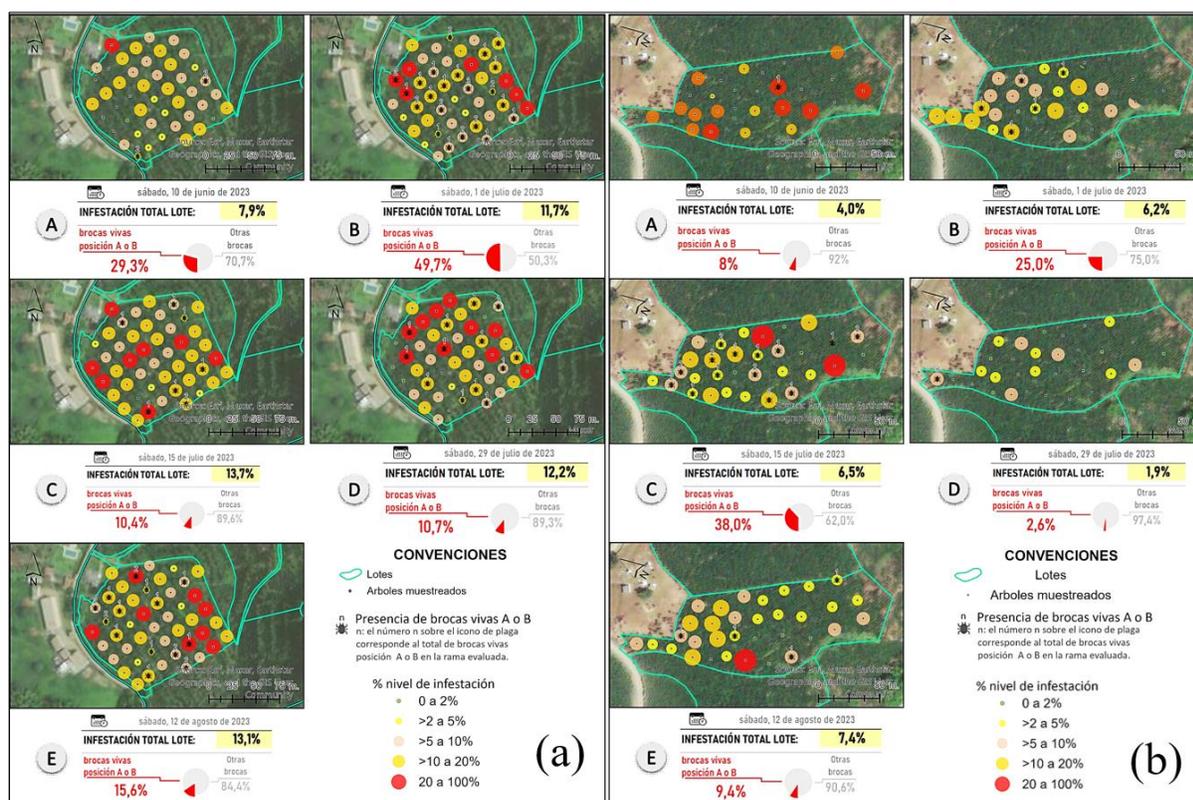
Con relación a los tiempos promedio, se puede concluir que en el lote de la finca La Ofrenda se requieren 3 minutos y 20 segundos por árbol muestreado, mientras que en el lote de la finca Buenos Aires se necesitaron 3 minutos y 7 segundos. Cuando se considera el tiempo promedio general en ambos lotes, se obtiene un valor promedio de 3 minutos y 14 segundos, lo que se traduce en un tiempo estimado de 1 hora y 37 minutos por hectárea.

En la bibliografía consultada, se pudo encontrar que el tiempo promedio para monitorear una hectárea completa (30 árboles de café) es de 42 minutos (1 minuto y 24 segundos por sitio) (Pardey, 2007). Sin embargo, al compararlo con el tiempo obtenido en esta investigación, se llega a la conclusión de que la diferencia en el tiempo se debe al hecho de que en el proceso de evaluación análogo no se lleva a cabo en el campo la

identificación de la posición de perforación de la broca. No obstante, debido a las particularidades de esta investigación y la necesidad de asociar la información de la perforación de la broca a cada sitio específico, fue necesario llevar a cabo este proceso en el campo mientras se visitaba cada árbol. Esto implicó un aumento de 1 minuto y 50 segundos en el tiempo necesario para evaluar cada árbol muestreado.

Figura 18.

Representación geográfica de los resultados de las evaluaciones de infestación y penetración de la broca en el grano para el lote El Plan de la finca La Ofrenda (a) y N1 Cementerio de la finca Buenos Aires (b).



Fuente: elaboración propia.

Tabla 11.

Estadística obtenida de las evaluaciones de infestación y penetración de la broca en el grano para los lotes El Plan de la finca La Ofrenda y N1 Cementerio de la finca Buenos Aires.

		Fecha de la evaluación (2023)						
		10 de junio	1° de julio	15 de julio	29 de julio	12 de agosto		
lote El Plan de la finca La Ofrenda	Tiempo promedio en minutos por muestra	3 mins. 22 segs.	3 mins. 26 segs.	2 mins. 35 segs.	4 mins. 26 segs.	2 mins. 49 segs.		
	Variable de la evaluación	% Infestación broca (lote):	7,9%	11,7%	13,7%	12,2%	13,1%	
		% Brocas vivas posición A o B	29%	50%	10%	11%	16%	
		Total granos	2699	2220	2175	3959	2505	
	Otros cálculos obtenidos durante la evaluación	Total granos brocados	219	260	297	483	327	
		Total árboles con broca	40	46	45	44	46	
		Promedio granos por rama	59	48	47	86	54	
		Tiempo promedio por muestra	3 mins. 22 segs.	3 mins. 26 segs.	2 mins. 35 segs.	4 mins. 26 segs.	2 mins. 49 segs.	
	lote N1 Cementerio de la finca Buenos Aires	Variable de la evaluación	% Infestación broca (lote):	7,9%	11,7%	13,7%	12,2%	13,1%
			% Brocas vivas posición A o B	29%	50%	10%	11%	16%
Total granos			2699	2220	2175	3959	2505	
Otros cálculos obtenidos durante la evaluación		Total granos brocados	219	260	297	483	327	
		Total árboles con broca	40	46	45	44	46	
		Promedio granos por rama	59	48	47	86	54	
		Tiempo promedio por muestra	3 mins. 22 segs.	3 mins. 26 segs.	2 mins. 35 segs.	4 mins. 26 segs.	2 mins. 49 segs.	

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, es crucial destacar que varios factores pueden influir en la variación del tiempo necesario para llevar a cabo una evaluación completa de la infestación, incluyendo: - La pendiente del terreno, - La presencia de lluvias durante el

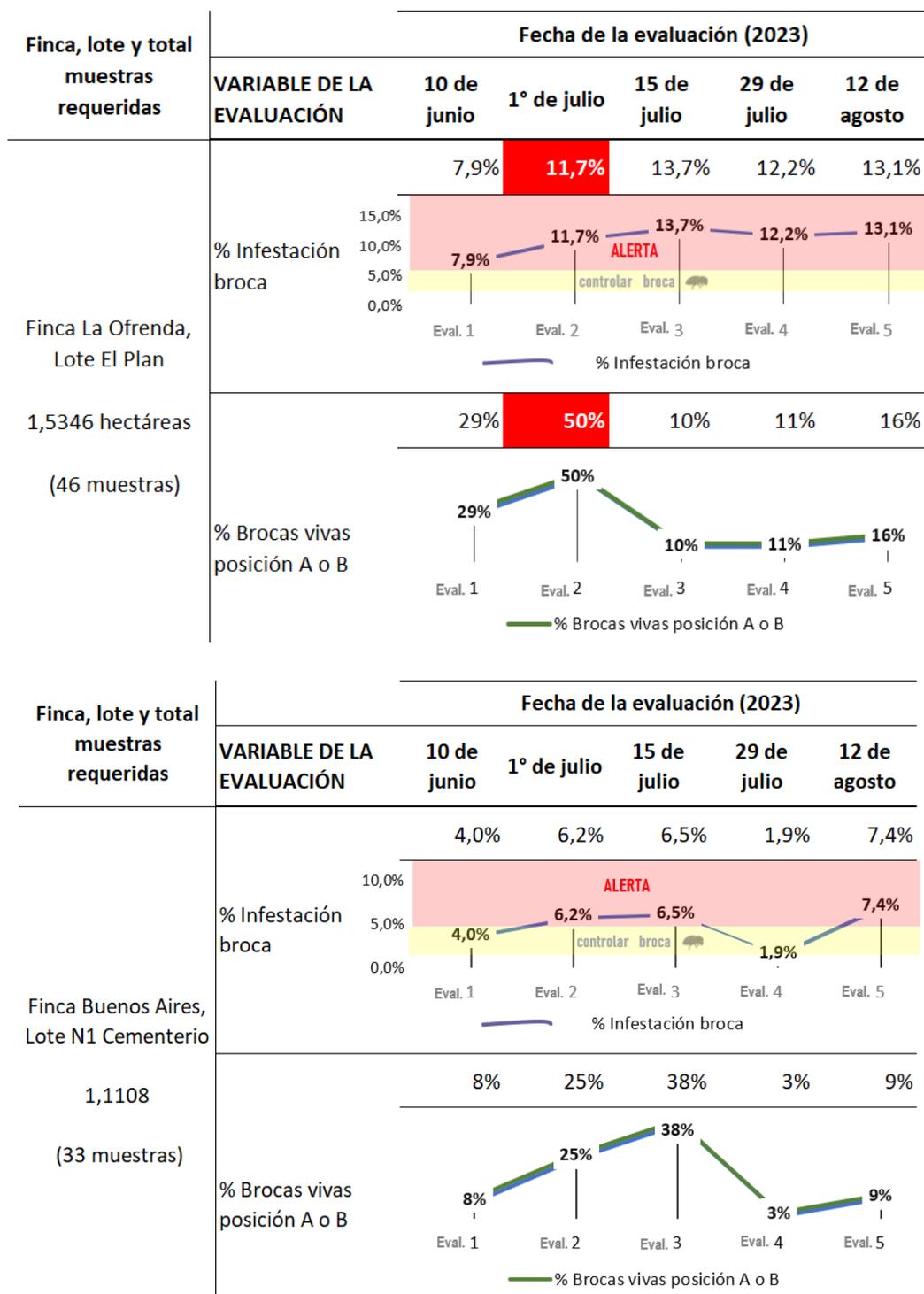
proceso de evaluación, - El enfoque y el estilo de manejo adoptados por el evaluador, y
- La cantidad de granos en la rama.

Decisión de manejo

En el contexto de la gestión de plagas agrícolas, la toma de decisiones efectivas es de suma importancia. En este estudio, se evaluó el método de manejo propuesto por Cenicafé en relación con la infestación de la broca del café en la finca La Ofrenda. Según este método, se recomienda la aplicación de medidas de control químico, como la fumigación con pesticidas de origen químico u orgánico, si el nivel de infestación alcanza o supera el 2% y el porcentaje de brocas vivas en posición A o B es igual o superior al 50%. En la siguientes figuras se observa el comportamiento de los niveles de infestación de los lotes de interés.

Figura 19.

Resultados de las evaluaciones de infestación y penetración de la broca en el grano para el lote “El Plan” de la finca La Ofrenda y para el lote “NI Cementerio de la finca Buenos Aires respectivamente.



Fuente: elaboración propia.

Al examinar detenidamente los resultados obtenidos, se sugiere que las

recomendaciones de manejo podrían enriquecerse aún más. Sería apropiado considerar no solo los umbrales establecidos, sino también el estado de desarrollo de los frutos y la presencia de la plaga cuando los valores se sitúan por debajo del umbral del 50%. Un ejemplo ilustrativo de esta aproximación se encuentra en la publicación "Recomendaciones para el Manejo Integrado de la Plaga de la Broca del Café en Hawái 2016", del College of Tropical Agriculture and Human Resources. En dicho informe, se adapta el método planteado por Cenicafé y se presenta una tabla que facilita la interpretación de los resultados, además de indicar las medidas a tomar en función de los dos parámetros mencionados.

Teniendo los resultados de campo, en la Tabla 12, se realiza un ejercicio que recoge las recomendaciones de manejo, dadas por Cenicafé y el College of Tropical Agriculture and Human Resources, en función de los datos obtenidos.

Figura 20.

Ejemplo del porcentaje de broca viva en la posición A/B para determinar rociar.

		% A/B Viva																				
		0	1%	2%	3%	4%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	
% Infestación	1%	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75		
	2%	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5		
	3%	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.3	0.45	0.6	0.75	0.9	1.05	1.2	1.35	1.5	1.65	1.8	1.95	2.1	2.25		
	4%	0.04	0.08	0.12	0.16	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3		
	5%	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75		
	10%	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5		
	15%	0.15	0.3	0.45	0.6	0.75	1.5	2.25	3	3.75	4.5	5.25	6	6.75	7.5	8.25	9	9.75	10.5	11.25		
	20%	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
	25%	0.25	0.5	0.75	1	1.25	2.5	3.75	5	6.25	7.5	8.75	10	11.25	12.5	13.75	15	16.25	17.5	18.75		
	30%	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	3	4.5	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15	16.5	18	19.5	21	22.5		
	35%	0.35	0.7	1.05	1.4	1.75	3.5	5.25	7	8.75	10.5	12.25	14	15.75	17.5	19.25	21	22.75	24.5	26.25		
	40%	0.4	0.8	1.2	1.6	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30		
	45%	0.45	0.9	1.35	1.8	2.25	4.5	6.75	9	11.25	13.5	15.75	18	20.25	22.5	24.75	27	29.25	31.5	33.75		
	50%	0.5	1	1.5	2	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5		
			=0-0.99 – No se recomienda fumigar; costará más que el valor esperado del café que se salve de la broca.																			
			=1-1.99 – Considere rociar, especialmente a principio de temporada.																			
		=2-4.99 – Especialmente a principio de temporada, este nivel es crítico para empezar a fumigar para evitar una pérdida económica.																				
		=5-9.99 – Está empezando a perder dinero debido al daño causado por la broca. Las pérdidas serán mayores sino fumiga.																				
		=10-19.99 – Está perdiendo dinero debido al daño causado por la broca, pero quizás debería fumigar todavía.																				
		=>20 – Los procesadores pueden rechazar su cosecha. Puede que el valor de su cosecha no cubra el coste de la recogida; considere centrarse en su próximo cultivo (ej., la recogida, la poda del tronco).																				

Fuente: documento electrónico "Recomendaciones para el manejo integrado de la plaga de la broca del café en Hawái 2016" del College of Tropical Agriculture and Human Resources.

Tabla 12.

Recomendaciones de manejo según CENICAFÉ y College of Tropical Agriculture and Human Resources (CTARH, a partir de los resultados de la evaluación de broca obtenidos.

		10 de junio	1° de julio	15 de julio	29 de julio	12 de agosto	
lote El Plan de la finca La Ofrenda	Resultado evaluación	Infestación broca	7,9%	11,7%	13,7%	12,2%	13,1%
		Brocas vivas posición A o B	29%	50%	10%	11%	16%
	Recomendación de manejo	Cenicafé	N.D.	Fumigar	N.D.	N.D.	N.D.
		CTARH	Especialmente a principio de temporada, este nivel es crítico para empezar a fumigar para evitar una pérdida económica	Está empezando a perder dinero debido al daño causado por la broca. Las pérdidas serán	Considerere rociar especialmente a principio de temporada	Considerere rociar especialmente a principio de temporada	Especialmente a principio de temporada, este nivel es crítico para empezar a fumigar para evitar una pérdida económica

		10 de junio	1° de julio	15 de julio	29 de julio	12 de agosto	
lote N1 Cementerio de la finca Buenos Aires	Resultado evaluación	Infestación broca	7,9%	11,7%	13,7%	12,2%	13,1%
		Brocas vivas posición A o B	29%	50%	10%	11%	16%
	Recomendación de manejo	Cenicafé	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		CTARH	No se recomienda fumigar; costará más que el valor esperado del café que se salve de la broca	Considerere rociar especialmente a principio de temporada	Especialmente a principio de temporada, este nivel es crítico para empezar a fumigar para evitar una pérdida económica	No se recomienda fumigar; costará más que el valor esperado del café que se salve de la broca	No se recomienda fumigar; costará más que el valor esperado del café que se salve de la broca

Fuente: elaboración propia.

Discusión de resultados

Usabilidad y eficiencia del formulario digital

La viabilidad de adaptar el formato análogo al digital se determinó a partir de la observación de que, si se logra una personalización óptima, se puede garantizar una experiencia de usuario satisfactoria. Aunque se logró una adaptación funcional completa, algunas limitaciones surgieron debido a las restricciones de personalización de la tecnología utilizada (en este caso, Survey123 personalizado a partir de XLSForms). Específicamente, la necesidad de seleccionar el mismo lote en cada sitio muestreado, una acción que naturalmente se ejecuta al inicio de la evaluación de campo, presentó desafíos en términos de optimización.

Resulta relevante señalar que, si bien la introducción de tecnología respondió a necesidades específicas, los usuarios plantearon requisitos adicionales, motivados por la percepción de que la tecnología debería simplificar y automatizar las tareas. Entre las sugerencias se incluyeron: la automatización de la identificación del lote en el que se encuentran los usuarios, así como la transmisión automática de datos a diferentes destinatarios una vez capturados y sincronizados, sin depender del geovisor.

La recepción de estos planteamientos por parte de los usuarios no solo generó satisfacción, sino que también motiva investigaciones futuras para adaptar y personalizar la tecnología de manera integral. Este enfoque involucraría no solo las tecnologías geoespaciales, sino también otras tecnologías relevantes, como las de comunicaciones, para crear una solución que cumpla con los requisitos de los usuarios.

Con relación a aspectos positivos y negativos, es esencial destacar que, si bien la mayoría de los productores en el marco de la evaluación de infestación tradicional no presentan dificultades para acceder a materiales básicos como papel, lápiz y navaja, si se piensa en la innovación

tecnológica que representaría la evaluación en formato digital, lo que puede representar el acceso a un dispositivo móvil, como un celular, puede convertirse en una barrera para muchos caficultores que carecen de recursos económicos para adquirirlo. Sin embargo, la tendencia hacia la mayor cobertura y adquisición de estos dispositivos para uso personal, especialmente en términos de comunicación, representa una oportunidad. Esta oportunidad no solo se refleja en el control de los niveles de infestación en los cultivos de café, sino también en la reducción de la brecha tecnológica en el sector agrícola colombiano, fomentando el desarrollo y la adopción de tecnología que mejore las capacidades de los productores en diferentes regiones del país.

Integración con la base de datos espacial en la nube

La integración de la información en una base de datos geográfica representó una funcionalidad crucial dentro del conjunto tecnológico empleado en esta investigación. Sin embargo, es vital recalcar que esta funcionalidad requiere conectividad a Internet a través de diversos medios como wifi, datos móviles o internet satelital, entre otros, lo que aún supone un desafío en la geografía colombiana. Considerando la variabilidad del terreno y la disparidad en la densidad de antenas de comunicación, especialmente en las zonas rurales y distintos agroecosistemas del país, el desafío se extiende más allá del desarrollo informático de la presente investigación.

Como retos para futuras investigaciones es lograr una operatividad completa híbrida (offline-online), no solo para sortear las limitaciones propias de conectividad a internet en áreas vulnerables a la broca, sino también para desarrollar una aplicación que permitiera un procesamiento básico offline. Para el caso de esta investigación se logró parcialmente superar este

desafío. Dentro del formulario digital desarrollado, se habilitó un resultado de infestación del árbol como una indicación individual. No obstante, el ideal habría sido procesar los datos de un lote completo para brindar al caficultor la posibilidad de acceder de inmediato a ambos parámetros asociados con la evaluación de la infestación. Este aspecto, junto con otros identificados, motivó la consideración de una próxima fase investigativa.

Desarrollo y funcionalidad del geovisor

El geovisor responsive desarrollado en la esta investigación permitió a los usuarios acceder casi de inmediato a los resultados una vez toda la información recolectada en campo se haya sincronizado a través de internet, sin embargo, debido a la naturaleza humana de hacer el menor esfuerzo y buscar comodidad y simplicidad en la satisfacción de sus necesidades, los usuarios prefirieron recibir automáticamente un resultado completo de la evaluación en lugar de acceder al geovisor y seleccionar fecha y lote. Esto llevó a la conclusión de que el desafío para futuras fases de investigación en esta área implicaba el desarrollo de un módulo para la gestión y envío automático de los resultados procesados.

Pruebas y validación en campo del aplicativo desarrollado

La prueba del aplicativo en campo cumplió con las expectativas posterior a los ajustes y modificaciones que permitieron una mejor experiencia de usuario en el diligenciamiento, lo que a su vez se vio reflejado en comodidad y eficiencia al momento de llenar los campos del formulario digital. En términos funcionales, el aplicativo cumplió con los requerimientos de la evaluación de infestación, sin embargo para poder lograr una experiencia de usuario completa, es necesario considerar aspectos como el contraste de pantalla y los colores ya que el diligenciamiento de datos

se da a libre exposición, generalmente en zonas soleadas, al igual que el tamaño de las fuentes debe ser un poco más grande para permitir una lectura muchas veces con cierto movimiento.

Por otra parte algo muy determinante es el tiempo de respuesta del aplicativo respecto a lo que tarda el almacenamiento interno y la carga de un nuevo formulario por árbol. Para la aplicación utilizada (Survey 123) se pudo notar una pequeña diferencia entre el despliegue del formulario al probar en diferentes celulares. Aunque este aspecto escapa al alcance del investigador y de los alcances del proyecto, es importante tenerlo en cuenta, ya que esta situación puede sumar cierta fricción en el rendimiento del proceso si se considera que en una jornada de trabajo completa se podrían evaluar alrededor de 150 árboles. Este tipo de detalles generalmente se identifican en el acompañamiento y uso en campo y pueden llegar a incidir bastante en la aceptabilidad o rechazo por parte del usuario con relación a la adopción de tecnología.

Comparativa con el método planteado en la investigación respecto a otros enfoques existentes

En cuanto al método análogo es claro que continuar haciéndolo de esta manera aporta un resultado directo y generalizado sobre la situación de infestación en campo de lotes de café, pero sin una sistematización, se desaprovechan las diferentes capacidades en términos de gestión de la información digital, sin contar allí con el importante aporte de la geolocalización, lo cual abre una importante abanico de posibilidades en términos de geoprocésamiento y análisis.

Si bien, existen en el mercado soluciones gratuitas que responden a formularios digitales que pueden capturar cualquier tipo de información que puede consultarse posteriormente como archivos tabulados, sin embargo, lo que se destaca en la presente investigación es el desarrollo de una solución que integró diferentes componentes mucho más allá de coleccionar datos, ya que las

condiciones de campo son muy diferentes a las condiciones en zonas con fácil acceso en términos de conectividad y cobertura de telecomunicaciones. Por otra parte, no todas las soluciones incorporan el componente geoespacial ni la capacidad de representación geográfica necesaria que acompañe los resultados estadísticos y aporte una comprensión integral al usuario.

Impacto en la toma de decisiones y gestión de la plaga

Si bien en este documento se presentan principalmente el proceso de incorporación de tecnología al proceso de evaluación de broca; es importante considerar que dicha evaluación obedece no solo a la comprensión de lo que sucede en el cultivo, sino en la posibilidad de una toma de decisiones oportuna considerando que se identifique que los niveles de infestación y presencia de brocas vivas en las posiciones superan los valores límite recomendados, lo cual justificaría una rápida toma de decisiones orientada a la aplicación de medidas de control (ya sea una aplicación de venenos de origen químico u orgánico) y es allí donde se pudo encontrar que pueden lograrse ventajas en la incorporación de tecnología que implique principalmente mayor eficiencia en el manejo de datos, ya que si se compara el procesamiento digital con el método convencional, no sería necesario hacer sumatoria de datos posteriores a su vez que se puede disminuir el error humano en procesos de lectura y sumas manuales. Sumado a lo anterior, es importante tener en cuenta que la consulta de los resultados lo más pronto posible después de la evaluación de campo es una condición necesaria que el desarrollo debe cumplir y si a esto se le suma la posibilidad de que el acceso al resultado pueda darse para cualquier colaborador de la finca que haga parte del proceso de control de los niveles de broca, se puede incrementar la capacidad de respuesta para un manejo más efectivo de los niveles de broca en los cultivos.

Relevancia y aplicabilidad en el contexto agrícola

Después de comprobarse la viabilidad técnica y operativa de incorporar tecnologías de la información geográfica en la evaluación de broca, es importante considerar que hay un gran potencial en el uso de este tipo de tecnologías que puedan aportar mayor conocimiento y a la vez mejorar la eficiencia en los procesos productivos si se tiene en cuenta que a partir de la geolocalización se abre un vasto panorama de posibilidades que pueden aportar insumos para lograr una sostenibilidad en términos económicos si se piensa en ahorros a partir de implementar principios de la agricultura de precisión y en términos de respeto y cuidado del medio ambiente, a un uso responsable y reducido de sustancias de control como pesticidas afecta no solo el equilibrio ecológico sino también la salud humana.

Las limitaciones y desafíos en la aplicabilidad de los resultados de la investigación tienen que ver principalmente con

- En cuanto a las limitaciones técnicas encontradas, un proceso exitoso no solo depende de un buen desarrollo, sino de la infraestructura necesaria para articular todo el proceso y en este caso las telecomunicaciones jugaron un papel relevante. Con esta investigación se da un primer paso en un proceso integral de evaluación de broca, sin embargo se requiere un aplicativo más robusto con mayores capacidades tanto para la captura intuitiva de datos en campo como para el abordaje de otras plagas y enfermedades del café, como para el procesamiento en nube con funcionalidades desde los SIG que permitan asociar otras variables importantes del entorno, lo que puede dar un poder informativo mayor, que incorpore inteligencia artificial para dar una recomendación más efectiva al caficultor de lo que sucede y lo recomendable por hacer según la ubicación y condiciones de su cultivo. Vale la pena resaltar que esta investigación hace uso de

software licenciado lo que para efectos de un desarrollo a todo nivel puede ser una barrera en términos de viabilidad económica. Es importante considerar el planteamiento metodológico de la presente investigación y hacer pruebas con software libre, lo cual permita superar esta primera barrera.

- Respecto a la adopción por parte de los usuarios, es necesario generar conciencia de la importancia no solo de la evaluación de infestación y de llevarla a cabo con tecnología como se pudo constatar en esta investigación, sino de la importancia de aprovechar las herramientas disponibles adaptadas al contexto propio de nuestro territorio lo cual puede ayudar a superar la brecha tecnológica presente en el agro colombiano.

- En cuanto a la precisión de la información capturada en campo, se pueden generar discrepancias dependiendo del nivel de exactitud si se habla en términos de agricultura de precisión, sin embargo, adelantar la evaluación de infestación con la precisión de un celular (que incorpore GPS autónomo a diferencia del A-GPS) permite obtener información suficiente para lograr obtener una visualización de lo que sucede en el cultivo en términos administrativos, lo cual es notablemente mucho mejor que un resultado generalizado no espacializado. Sin embargo, debido a la versatilidad e interoperabilidad de las aplicaciones, las necesidades de mayor precisión se pueden lograr actualmente adquiriendo equipos de mayores capacidades con relación a un posicionamiento submétrico, lo cual implicaría una inversión mayor en equipos que quizá el caficultor promedio no esté dispuesto a realizar. La mayoría de caficultores que participaron en la investigación estuvieron dispuestos a usar sus celulares para instalar apps, por lo que se considera que es mucho más fácil optar por la opción de celular como primer paso a una transición tecnológica.

- En cuanto a los costos y la sostenibilidad, la presente investigación no contempla

una evaluación económica del desarrollo ni implementación de una solución a todo nivel con capacidad operativa de mínimo quinientos mil usuarios, sin embargo si se considera que pasar de un 2% a un 3% de infestación de broca en el país generaría pérdidas que ascenderían a US\$16 millones (FNC-CENICAFÉ, (2018) Guía Más Agronomía, más productividad, p.74) por lo que un sistema de permita mantener unos niveles bajos de infestación de la plaga, propenderán por unos rendimientos positivos en el ingreso por venta de un producto de buena calidad.

8. Conclusiones

Con relación al objetivo Específico 1 - Adaptación del formato de evaluación

- La tecnología actual ha experimentado una notable evolución en lo que respecta al diseño e implementación de formularios digitales. Gracias a este avance, ha sido posible adaptar de manera efectiva todas las variables definidas en la evaluación de la infestación y posición de penetración de la broca del café, garantizando su correspondencia con el formato tradicional en papel. Además, se ha logrado adecuar la forma natural de recolección de datos en el campo, facilitando así el proceso de diligenciamiento. Este progreso tecnológico ha permitido incorporar características técnicas de gran utilidad, como la posibilidad de diligenciar los formularios de manera offline y posteriormente sincronizarlos de manera remota a través de internet. Estas funcionalidades han agilizado y optimizado significativamente la recolección y gestión de datos, facilitando la toma de decisiones basadas en información actualizada y confiable. La adaptabilidad y flexibilidad que ofrecen los formularios digitales han demostrado ser una herramienta valiosa para el personal de campo que realizó las evaluaciones de infestación de broca del café, brindando una solución eficiente y moderna para mejorar la eficacia de los procesos de evaluación y monitoreo. No obstante, es importante seguir explorando nuevas mejoras tecnológicas y garantizar la accesibilidad para que una solución que incorpore tecnologías de la información geográfica beneficie a un mayor número de productores. Con el apoyo continuo de la tecnología y la colaboración entre instituciones y caficultores, se podrá enfrentar de manera más efectiva los desafíos que plantea la broca del café y avanzar hacia una producción más sostenible.

- Para lograr una experiencia de usuario óptima, intuitiva y agradable, se llevó a cabo un desarrollo fundamental en el back-end. Este proceso implicó la implementación de un conjunto de sentencias que permitieran procesar eficientemente los datos ingresados por el usuario en el front-end. El objetivo primordial era que los datos, originalmente ingresados y almacenados en formato de letras y palabras, pudieran ser interpretados en el back-end como números y de esta manera, ser sujetos a cálculos matemáticos coherentes con el método establecido por CENICAFÉ para la evaluación de la infestación y posición de penetración de la broca del café. Este enfoque tecnológico resultó esencial para garantizar la correcta manipulación y análisis de la información recopilada. Al transformar los datos a una forma numérica adecuada, se posibilitó el procesamiento sistemático y preciso de toda la información relevante, permitiendo así obtener resultados confiables. La implementación de este back-end contribuyó significativamente a mejorar la efectividad y confiabilidad del proceso de evaluación.

Con relación al objetivo Específico 2 - Integración a una base de datos en línea

- En términos de eficiencia, la sincronización y estructuración de la información en una base de datos en línea constituye una funcionalidad esencial. Junto con un formulario digital correctamente desarrollado, esta capacidad permite la recepción remota de información y su acceso para realizar análisis detallados, generando resultados fácilmente accesibles mediante herramientas como geovisores. Estos avances tecnológicos juegan un papel crucial en agilizar la gestión de datos y facilitar un acceso más rápido y efectivo a la información pertinente. En resumen, la integración de estas funcionalidades optimiza significativamente los procesos de obtención y análisis de

datos en el entorno digital actual.

- Se destaca la importancia de la eficiencia en el manejo de la información en una base de datos en línea, particularmente en lo referente a su capacidad tecnológica de sincronización y estructuración. Una vez que un formulario digital ha sido correctamente desarrollado, esta funcionalidad se posiciona como la segunda en importancia, permitiendo recibir datos de manera remota y acceder a ellos desde cualquier ubicación para llevar a cabo análisis, generando resultados que pueden ser fácilmente visualizados a través de herramientas como geovisores.

Con relación al objetivo Específico 3- Desarrollo del geovisor

- La plataforma propuesta ha demostrado ser eficaz en la obtención de resultados equiparables a los del formato análogo de la evaluación y su capacidad tecnológica para sistematizar la información ha sido un factor motivador para los productores que participaron en la investigación. La experiencia ha suscitado nuevas inquietudes y requerimientos que van más allá del alcance del presente estudio, pero que constituyen una fuente de inspiración para futuras investigaciones. La posibilidad de sistematizar la información ha generado entusiasmo entre los productores, quienes han planteado mejoras y nuevos desafíos que demandan un aplicativo con prestaciones más amplias y una respuesta más ágil a sus necesidades de toma de decisiones. Este entusiasmo y participación por parte de los productores enfatiza la relevancia y utilidad práctica de la plataforma desarrollada. Para avanzar en este sentido, es importante plantear investigaciones futuras que se enfoquen en la identificación, desarrollo e implementación de un aplicativo más avanzado y completo. Este nuevo aplicativo

deberá abordar las demandas específicas de información, ofreciendo soluciones más completas y sofisticadas para agilizar y mejorar la toma de decisiones en el control de la broca del café como la identificación de patrones con relación a la infestación de la plaga. La plataforma actual ha sido un primer paso valioso, pero el camino hacia un aplicativo más avanzado y con mayores prestaciones se presenta como una oportunidad importante para mejorar aún más la gestión y la producción cafetera frente a la broca y otros desafíos fitosanitarios.

Con relación al objetivo Específico 4- Validación del aplicativo desarrollado

- La plataforma propuesta para la incorporación de tecnologías de información geográfica al método de evaluación de la infestación y posición de penetración de la broca del café ha demostrado ser satisfactorio, cumpliendo de manera efectiva con los resultados requeridos por los caficultores en términos del porcentaje de infestación y el porcentaje de brocas vivas en posición de penetración A y/o B. Además, la posibilidad de visualizar los resultados en un contexto geográfico ha ampliado considerablemente la comprensión de lo que sucede en el lote evaluado. Al permitir que los administradores observen los resultados en un contexto espacial, la plataforma ha enriquecido el análisis y la interpretación de los datos. Los productores, gracias a su conocimiento y experiencia, pudieron relacionar los resultados obtenidos con elementos identificables en el entorno geográfico, tales como zonas de sombrero, cercanía al beneficiadero o a quebradas, y otros factores relevantes.

Esta dimensión espacial ha fortalecido la toma de decisiones en el manejo de la broca del café, al proporcionar información más completa y contextualizada. Los

caficultores pueden tomar acciones más informadas y estratégicas al considerar cómo las condiciones geográficas pueden influir en los niveles de infestación y la ubicación de las brocas vivas.

La combinación de información geográfica con datos específicos de la evaluación ha resultado en una herramienta prometedora para el control de la broca y por ende la mejora de la productividad cafetera. La visualización espacial de los resultados abre nuevas perspectivas para la investigación y el desarrollo de estrategias más efectivas en el manejo y control de esta plaga.

Conclusiones Generales:

- La investigación ha validado satisfactoriamente la hipótesis planteada sobre la incorporación de tecnología en la evaluación de la broca del café. Sin embargo, se vislumbra un amplio abanico de posibilidades para seguir enriqueciendo esta aproximación. Específicamente, se pueden considerar variables adicionales que vayan más allá de las contenidas en la evaluación actual, aprovechando la localización geográfica como característica intrínseca que permita obtener información más detallada y relevante. La inclusión de variables como la altitud del lote, la temperatura en el momento de la evaluación y las condiciones meteorológicas de los últimos 7 días, entre otras, podría ser de gran utilidad para quienes toman decisiones de manejo en el cultivo del café. Estos datos adicionales podrían aportar una mayor comprensión del comportamiento de la broca y su relación con el entorno, lo que a su vez podría ayudar a modelar y predecir tendencias y patrones de distribución y dispersión del insecto. La digitalización de la evaluación no solo ha demostrado ser más eficiente, sino que también abre un vasto panorama de posibilidades gracias a la tecnología geoespacial, informática y de comunicaciones. La obtención automática de resultados permitiría notificar de manera rápida y precisa a todas las personas vinculadas a la finca que toman decisiones y aplican medidas de

manejo. Asimismo, se podrían involucrar asesores agronómicos, autoridades y personal de apoyo externo que, de forma remota, puedan aportar su conocimiento mediante recomendaciones de manejo. Estas funcionalidades adicionales no solo optimizarían el proceso de control de la broca del café, sino que también podrían contribuir a una gestión más eficaz y colaborativa entre diferentes actores involucrados en la producción cafetera. La incorporación de tecnologías de información geográfica y análisis espacial abriría nuevas oportunidades para avanzar hacia una producción cafetera más eficiente, sostenible y resiliente. Desde esta perspectiva, el avance en el análisis geoestadístico, con el propósito de caracterizar los patrones espaciales de infestación, se puede considerar como el siguiente paso en la trayectoria de esta investigación, siguiendo casos de implementación en otros países (por ejemplo, Alves et al., 2011). Este enfoque posibilitaría una explotación más completa de los datos obtenidos a través de las evaluaciones de campo, aprovechando al máximo la integración de las tecnologías de información presentadas en este estudio.

- Los resultados de la investigación indican que es técnicamente factible implementar digitalmente la evaluación de infestación y posición de penetración de la broca del café mediante el uso de tecnologías de información geográfica. Sin embargo, se reconoce la necesidad de perfeccionar herramientas mecánicas para aumentar la eficiencia en uno de los pasos cruciales de la evaluación, específicamente en la determinación de la posición de penetración de la broca en granos infestados. Actualmente, el método propuesto por Cenicafe sugiere recolectar y almacenar los granos brocados (100 por hectárea evaluada) para su posterior disección y obtención del parámetro de la presencia de brocas vivas en posición A y/o B. Sin embargo, para incorporar la geolocalización en el diligenciamiento de la evaluación, sería necesario conocer la posición de penetración de la broca en 3 o 4 granos al momento de revisar la rama del árbol muestra. La modificación propuesta en el diligenciamiento de la posición

de la broca en el grano no alteraría los requisitos del método de Cenicafé, pero sí aportaría una mejora significativa al asociar una ubicación geográfica específica a dicho resultado. Actualmente, seguir las pautas de la evaluación como actualmente se conocen, generaría un resultado generalizado de la totalidad del lote evaluado, lo que limitaría la precisión de la información obtenida. Además, el almacenamiento de los granos brocados en una bolsa y su posterior disección podría afectar los resultados, ya que el insecto podría moverse o salir del grano, lo que daría lugar a datos erróneos al momento de establecer la posición y presencia de la broca. Por tanto, es esencial perfeccionar herramientas mecánicas utilizadas en esta etapa de la evaluación, con el objetivo de aumentar la precisión, agilizar el proceso y garantizar la fiabilidad de los resultados.

- El uso del geovisor demostró la viabilidad de consultar los resultados; no obstante, se concluyó que la optimización de la transmisión de información directamente a los tomadores de decisiones, con una reducción en la interacción y la cantidad de clics necesarios, podría representar una mejora significativa en la recepción de los resultados de manera inmediata tras la evaluación. Para abordar esta perspectiva, se implementaron pruebas de generación de resultados en formato plano PDF, los cuales se enviaron a los administradores a través de canales tecnológicos alternos, como servicios de mensajería instantánea, ampliamente utilizados por estos profesionales en el contexto de la gestión de fincas. Estas pruebas demostraron una mayor facilidad de consulta y generaron un mayor interés en la revisión de los resultados por parte de los administradores.

9. Recomendaciones

Recomendaciones con relación al objetivo Específico 1 - Adaptación del formato de evaluación

- A la evaluación de la infestación y posición de penetración de la broca del café, impulsada por Cenicafé desde 1993, constituye un método de relevancia para el control de esta plaga. Sin embargo, se identificó que no se encuentra plenamente documentado en una única fuente bibliográfica. Por ende, fue necesario recurrir a diversas publicaciones y también consultar directamente a los caficultores para adquirir un entendimiento completo de los criterios y cálculos matemáticos aplicados en dicho proceso. Esta necesidad de acudir a fuentes múltiples y experiencias prácticas resalta la importancia de continuar con el desarrollo y difusión de información actualizada y accesible sobre esta técnica de evaluación. Asimismo, se enfatiza en la relevancia de brindar orientación y apoyo a los caficultores para una correcta aplicación del método y de esta manera, contribuir eficazmente a la protección y sostenibilidad del cultivo del café frente a la broca.

Recomendaciones con relación al objetivo Específico 3- Desarrollo del geovisor

- El desarrollo del geovisor ha demostrado ser una herramienta valiosa y eficiente para acceder rápidamente a los resultados de la evaluación. No obstante, para futuras investigaciones, se sugiere la creación de una plataforma más robusta, que incorpore un abanico de configuraciones y características adicionales. De esta manera, se podrán optimizar los procesos y brindar funcionalidades avanzadas que enriquezcan la toma de decisiones relacionadas con el control de la broca en las fincas.

Una plataforma más completa y sofisticada permitiría, por ejemplo, enviar notificaciones o mensajes de manera automática directamente al personal de la finca encargado

de la toma de decisiones de manejo. Esta función de notificación agilizaría la comunicación y garantizaría una acción oportuna frente a los hallazgos obtenidos a partir de las observaciones de campo. Asimismo, la inclusión de un mayor número de configuraciones permitiría adaptar la plataforma a diversas necesidades y contextos específicos de cada finca. Esto fomentaría una mayor personalización y adaptabilidad, mejorando la utilidad y practicidad del sistema para los productores cafeteros.

Recomendaciones con relación al objetivo Específico 4- Validación del aplicativo desarrollado

- Este estudio ha introducido con éxito la geolocalización como un atributo intrínseco en los datos adquiridos. Mediante la definición de un conjunto de sitios con coordenadas fijas, se ha logrado un enfoque efectivo en la incorporación de la dimensión espacial. No obstante, es fundamental reconocer la necesidad de considerar la precisión geográfica en futuras propuestas que involucren la inclusión de ubicaciones específicas en los sitios muestreados.

Para garantizar la calidad y utilidad de los resultados en contextos donde se sobrepongan datos geográficos con otras variables, es recomendable la utilización de dispositivos móviles que ofrezcan una exactitud con error mínimo según las condiciones que requieran los análisis. Esta medida asegurará que la superposición de datos en el ámbito geoespacial se realice de manera coherente y confiable.

En consecuencia, el uso cuidadoso y preciso de la geolocalización en investigaciones futuras no solo enriquecerá la comprensión de los fenómenos estudiados, sino que también permitirá una exploración más profunda de las relaciones espaciales y su influencia en las variables analizadas. La tecnología disponible para garantizar la precisión geográfica está en constante evolución, lo que brinda oportunidades para desarrollar investigaciones más avanzadas, con resultados significativos en el campo de las tecnologías de información geográfica.

Recomendaciones generales

- A pesar de la evidencia que respalda la utilidad de la implementación del formulario digital y la visualización de resultados a través de un geovisor para mejorar la evaluación de la infestación y la posición de penetración de la broca en los cultivos de café, es fundamental destacar que, sin importar las posibles mejoras y adaptaciones tecnológicas que se puedan lograr en este método, se requiere un nivel de concienciación por parte de los caficultores para que integren este proceso de evaluación como una práctica rutinaria durante el periodo crítico. Solo mediante esta concienciación y el aprovechamiento efectivo de los resultados obtenidos se pueden maximizar los beneficios, tanto en términos de ingresos por la venta de la cosecha, al garantizar una mayor cantidad de café de mayor calidad, como en la toma de decisiones estratégicas para la gestión de los cultivos de café.

- A La plataforma ha sido una contribución significativa en el campo del control de la broca del café, brindando respuestas satisfactorias a los caficultores y abriendo la puerta a una mayor comprensión y aplicación de la información geográfica en el manejo de la plaga clave del café. Su implementación representa un paso importante hacia una producción cafetera más sostenible. Sin embargo, también se reconoce la necesidad de seguir explorando mejoras y actualizaciones que faciliten el proceso y se conviertan en una innovación tecnológica en este campo. En el Anexo 9 (Reconocimiento a un proyecto orientado a evaluación de broca del café) se da evidencia de un reconocimiento a un emprendimiento orientado a una plataforma tecnológica que se basa en el proceso de evaluación de infestación y penetración de la broca del café, lo cual reafirma la importancia e impacto social que pueda tener esta investigación y lo que se origine a partir de ella, para beneficio de los caficultores y caficultoras de Colombia.

- Aunque el método de muestreo para la evaluación de la infestación de la broca se basa en cálculos estadísticos, al igual que el muestreo destructivo que involucra la extracción de 100 granos brocados para determinar el porcentaje de brocas vivas en las posiciones A y/o B y definir de

manera representativa la proporción de infestación, es recomendable realizar ajustes en este último proceso. Tradicionalmente, el corte de los granos para identificar su posición se realiza al final del recorrido del lote de café, abriendo los granos con una herramienta de hoja afilada, como una navaja o bisturí. Sin embargo, al incorporar la geolocalización al proceso, la capacidad de obtener resultados individualizados sobre la presencia y el estado de la broca en cada grano perforado se convierte en un recurso valioso. Esto permite observar, en un contexto geográfico, la ubicación de posibles focos de infestación, que pueden inferirse a partir de las posiciones de los sitios muestreados. Además, considerando la importancia de identificar la cantidad de brocas vivas en las posiciones A y/o B en cada muestra, si se requiere tomar 100 granos brocados en 30 sitios muestreados para determinar el valor de infestación en general y decidir si es necesario aplicar un control químico u otro tipo de intervención, se enfrenta un desafío práctico. Esto implicaría tomar 100 granos brocados de 20 árboles de café infestados, con tres granos cada uno y de los 10 árboles restantes, con 4 granos cada uno. No obstante, en situaciones en las que haya vuelos de la broca, es posible que un árbol albergue muchas más brocas en las posiciones A y/o B vivas de lo que actualmente permite el formulario, que solo permite reportar hasta cuatro brocas en estas posiciones. Por lo tanto, se sugiere la incorporación de un campo denominado "Otras brocas vivas expuestas", que complementaría la suma total de brocas vivas identificadas en el árbol muestreado cuando se extraen 3 o 4 granos. Esto garantizaría que la información recopilada refleje de manera más precisa lo que ocurre en el campo y brinde una representación más fiel de la infestación de la broca en los cultivos de café, considerando que uno de los objetivos más importantes de esta evaluación es tomar decisiones de manejo efectivas enfocadas en controlar la presencia de la plaga y mantenerla bajo unos niveles aceptables.

- Con el objetivo de mejorar la eficiencia y efectividad en el proceso de monitoreo de la broca, a través de la evaluación de su infestación, es crucial considerar no solo la incorporación de tecnologías de la información geográfica que permitan la digitalización y generación rápida de

resultados estructurados, accesibles para todas las partes involucradas en la toma de decisiones relacionadas con el control de la broca, sino también la adición de accesorios que agilicen la operación del operario de campo. El desplazamiento entre los árboles en terrenos que no siempre son planos requiere que el operario tenga las manos libres y disponibles para sujetarse de algún árbol si es necesario. Por lo tanto, es esencial considerar accesorios que permitan una operación más rápida y práctica en campo como lo puede ser un aditamento que permita tener colgado el celular de tal forma que esté disponible rápidamente al momento de diligenciar información en él.

- En cuanto al proceso de verificación de 3 o 4 granos brocados por árbol en una hectárea monitoreada, actualmente se lleva a cabo con una navaja o bisturí con el cual se abre cada grano de manera individual. No obstante, este procedimiento puede optimizarse mediante la invención de una herramienta mecánica o la adaptación de una herramienta existente que permita cortar simultáneamente los 3 o 4 granos por árbol para evaluar la profundidad de la perforación de la broca. Esta mejora permitiría obtener resultados de manera inmediata y agregarlos al formulario digital, lo que garantizaría una representación más precisa de la infestación en comparación con la disección de los granos al final del monitoreo, que es el método convencional. El almacenamiento temporal de los granos en una bolsa para su disección posterior podría provocar que el insecto se desplace del grano, lo que podría resultar en datos no representativos de lo que ocurre en campo cuando se quiera determinar la posición correcta de perforación.

- Si bien, el método desarrollado por Cenicafe ha sido el resultado de la investigación de varios años y su aplicación ha permitido hacer el seguimiento durante las últimas tres décadas de las condiciones de infestación en las diferentes regiones productoras del país, al consultar con agrónomos sobre la pertinencia de la sugerencia de manejo químico que define el método cuando es igual o supera el 2% de infestación y la presencia de brocas vivas en posición A y/o B es igual o supera el 50%, se ha observado que algunos de ellos emplean parámetros más flexibles, que se adaptan a las condiciones específicas del momento y a los valores obtenidos en las evaluaciones

de infestación realizadas en las áreas que supervisan, teniendo en cuenta la fase de desarrollo del fruto. Por tanto, se recomienda llevar a cabo futuras investigaciones que, tomando en cuenta los resultados obtenidos, permitan ajustar los parámetros de decisión, incorporando variables adicionales para ampliar el abanico de opciones disponibles en la toma de decisiones en función de los valores arrojados por la evaluación. Esto proporcionaría a los productores un conjunto más amplio de criterios para la adopción de las medidas de manejo más apropiadas, en línea con las recomendaciones encontradas en fuentes bibliográficas, como las del College of Tropical Agriculture and Human Resources, que sugieren medidas de manejo variables según el tiempo de desarrollo del grano, tomando en consideración los dos principales resultados de la evaluación de infestación. La incorporación de parámetros de evaluación y sugerencias de manejo condicionados a diversas variables, como el tiempo de crecimiento del grano en relación con el periodo de floración, junto con otras variables, es perfectamente factible en términos de desarrollo informático.

10. Referencias

- Alarcón Chuque, A. P. (2022). *Análisis del efecto de la temperatura sobre el desarrollo biológico de una plaga cuarentenaria (Ceratitis capitata), Cotopaxi, 2021-2022* [Proyecto de investigación para titulación, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional Universidad Técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8774>
- Alvarado, V. (2018). Distribución espacial de *Hypothenemus hampei* Ferrari en agroecosistemas cafetaleros de la selva central del Perú. *Bosques Latitud Cero*, 8(1), 57-69. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/413>
- Alves, M. C. de, da Silva, F. M., Moraes, J. C., Pozza, E. A., Oliveira, M. S. de, Souza, J. C. S., y Alves, L. S. (2011). Geostatistical analysis of the spatial variation of the berry borer and leaf miner in a coffee agroecosystem. *Precision Agriculture* 12(1), 18-31. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-009-9151-z>
- Aristizábal Aristizábal, L. F., Salazar Echeverry, H. M., y Mejía Mejía, C. G. (2002). Parte I. Investigación participativa con agricultores en el manejo integrado de la broca del café en Colombia. En: *Informe Final Proyecto Manejo Integrado de la Broca del Café CFC/ICO/02 1998-2002: Un informe de los actividades del proyecto en Colombia, Guatemala, Honduras, México y Jamaica* (p.11-101). https://kohalacenter.org/archive/cbbworkshop/pdf/PAPER_FinalReportICO_CF_C_CABI_BioscienceCBB2002.pdf
- Bautista, L. G., Cardona, J. A., y Soto, A. (2013). Distribución espacial de *Collaria*

- scenica* (Hemiptera: Miridae) y *Hortensia similis* (Hemiptera: Cicadellidae) en valles andinos. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 17(2), 75-84. <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v17n2/v17n2a07.pdf>
- Bustillo P., A. E., Cárdenas M., R., Villalba G., D. A., Benavides M., P. Orozco H., J., y Posada F., F. J. (1998). *Manejo Integrado de la Broca del Café Hypothenemus hampei (Ferrari) en Colombia*. Cenicafé.
- Bustillo Pardey, A. E. (2007). El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. 2 ed. *Manual Técnico Cenicafé*, (24), 1-40. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/579>
- Bustos Prado, J. F. (2021). *Presión agrícola en áreas afectadas por la plaga del gorgojo en microcuencas declaradas en cuatro departamentos de Honduras* [Proyecto especial de graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. Repositorio Institucional Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/items/b77d99ad-bd1b-40ab-8f36-d0fd8f3535c8>
- Campos Almengor, O. G. y Rodas Rodríguez, R. C. (2018). Broca del fruto del café *Hypothenemus hampei*. *Boletín Técnico Cedicafé*, junio 2018. <https://www.anacafe.org/bcms-media/Files/Download?id=610c3def-a5cf-424b-b66d-a9b9011b564f>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café (2012). *Cartilla 14: Manejo Integrado de la broca*. https://www.cenicafe.org/es/publications/cartilla_14_manejo_integrado_de_la_broca.pdf
- Centro Nacional de Investigaciones de Café (2013). *Manual del cafetero colombiano*. Cenicafé.

-
- Chambilla Chávez, D. C. (2019). *Implementación de Sistemas de Información Geográfica para el manejo integrado de la mosca de la fruta en SENASA* [Tesis para título profesional, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio Institucional Universidad San Ignacio de Loyola. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/b1def0b6-ef82-4767-8cad-46895da86fe8>
- Cure, J. R., Rodríguez, D., Pérez, M. M., Gutiérrez, A. P., Ponti, L., y Riaño, D. (2022). *Variabilidad climática en los agroecosistemas cafeteros colombianos*. Proyecto CIAS 2530, Vigencia 2017-2022, Universidad Militar Nueva Granada. https://www.researchgate.net/publication/366310965_Variabilidad_Climatica_en_los_Agroecosistemas_Cafeteros_Colombianos
- Duarte, F., Calvo, M. V., Borges, A., y Scatoni, I. B. (2015). Geoestadística aplicada al estudio de la distribución espacial de los insectos y su utilización en el manejo integrado de plagas. *Revista agronómica del noroeste argentino*, 35(2), 9-20. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2314-369X2015000200001
- Enríquez, J. P., Retes-Cálix, R. F., y Vásquez-Reyes, E. F. (2020). Importancia, genética y evolución del café en Honduras y el mundo. *Innovare: Revista de Ciencia y Tecnología*, 9(3), 149-155. <https://doi.org/10.5377/innovare.v9i3.10649>, <https://camjol.info/index.php/INNOVARE/article/view/10649/12396>
- Escobar Pulecio, D. y Sepúlveda Gallego, J. H. (2016). *Google Earth y ArcGIS como*

- herramientas de apoyo para determinar los costos en una finca cafetera* [Trabajo de grado de Especialización, Universidad de Manizales]. Repositorio Institucional Universidad de Manizales. <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/2649>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (1994). Manejo Integrado de la Broca. *Boletín de Extensión, No. 74*. 4 ed.
- Gallardo Rodríguez, A. (2013). *Estudio de conectividad de parcelas cafetaleras y propuestas de restauración para limitar la dispersión de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) mediante parches de bosque tropical (Turrialba) Costa Rica* [Memoria de máster, Universidad Politécnica de Madrid]. Cirad-Agritrop. <https://agritrop.cirad.fr/577125/>
- García Díaz, L. G., y Gordillo Rodríguez, S. A. (2022). *Impacto de las prácticas sostenibles en la producción de café colombiano y su participación en el mercado mundial* [Seminario de Investigación de Especialización, Universidad EAN], Repositorio institucional Universidad EAN. <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/12348>
- Giraldo-Jaramillo, M., Montoya, E. C., Sarmiento-Herrera, N., Quiroga Mosquera, A., Espinosa- Osorio, J. C., García-López, J. C., Duque Orrego, H., y Benavides Machado, P. (2019). Vulnerabilidad de la caficultura de Risaralda a la broca del café en diferentes eventos climáticos. *Avances Técnicos Cenicafé*, (510), 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0510>, https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/avances_tecnicos/article/view/131
- Giraldo-Jaramillo, M., Montoya, E. C., Sarmiento-Herrera, N., Quiroga Mosquera, A., Espinosa- Osorio, J. C., García-López, J. C., Duque Orrego, H., & Benavides

-
- Machado, P. (2020). Vulnerabilidad de la caficultura de Huila a la broca del café en diferentes eventos climáticos. *Avances Técnicos Cenicafe*, (512), 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0512>, https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/avances_tecnicos/article/view/129
- Godínez Bazán, G. (2023). Cambio climático, una realidad que amenaza el futuro de la producción de café. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 5(9), 90-113. <https://doi.org/10.38186/difcie.59.07>, <https://difusioncientifica.info/index.php/difusioncientifica/article/view/106/184>
- Guevara Alban, G. P., Verdesoto Arguello, A. E., y Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, 4(3), 163-173. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Instituto Colombiano Agropecuario (2020). Anexo 2. TdR Convocatoria Proyecto Apoyo a Alianzas Productivas 2020: Listado de plaguicidas prohibidos en Colombia. <https://www.minagricultura.gov.co/tramites-servicios/desarrollo-rural/Documents/Anexo2-06-02-2020.pdf>
- International Coffee Organization (2021). *Coffee Development Report: The Future of Coffee - Investing in youth for a resilient and sustainable coffee sector*. ICO. <https://www.ico.org/documents/cy2022-23/coffee-development-report-2021.pdf>
- Kawabata, A. M., Nakamoto, S. T, y Curtiss, R. T. (2017). Recomendaciones para el

- manejo integrado de plaga de la broca del café en Hawái. *Insectos Plagas, CTHR-IP* (41), 1-25. https://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/IP-41_Spanish.pdf
- Leautaud Valenzuela, P., y López-García, J. (2017). Detección de árboles dañados por plaga en bosques de *Abies religiosa* en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, mediante fotografías aéreas infrarroja. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, (92), 116-127.
<https://doi.org/10.14350/ig.52339>,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S018846111730033X>
- Molina, D. (2022). Revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) con énfasis en la resistencia mediante antibiosis y antixenosis. *Revista Colombiana de Entomología* 48(2), e11172, 1-19. <https://doi.org/10.25100/socolen.v48i2.11172>,
<http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v48n2/2665-4385-rcen-48-02-e11172.pdf>
- Montoya-Restrepo, E. C., Arcila-Pulgarín, J., Jaramillo-Robledo, Á., Riaño-Herrera, N. M., y Quiroga-Zea, F. (2009). Modelo para simular la producción potencial del cultivo del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé*, (33), 1-52.
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/588/1/033.pdf>
- Muñoz Burbano, C. A., López Sevillano, A. M., Díaz-Piraquive, F. N., y Mantilla Pastrana, M. I. (2020). Desarrollo de un visor geográfico para el análisis espacial y temporal de los brotes de la enfermedad huanglongbing de los cítricos y su vector *Diaphorina citri* Kuwayama en la zona norte de Colombia.

En E. Serna (ed.). *Investigación formativa en Ingeniería*. 4 ed. (p.209-217).

Editorial Instituto Antioqueño de
Investigación.

<https://www.cervantesvirtual.com/descargaPdf/investigacion-formativa-en-ingenieria-1197364/>

Olaya, V. (2020). *Libro libre sobre Sistemas de Información Geográfica*. Repositorio GitHub.

[.http://volaya.github.io/libro-sig/](http://volaya.github.io/libro-sig/)

Oliva-Hurtado, M. M., Téliz-Ortiz, D., Ortega-Arenas, L. D., y Quezada-Salinas, A.

(2020). Distribución de plantas hospedantes silvestres de *Xylella fastidiosa* subsp. *fastidiosa* en México. *Acta botánica mexicana*, (127), e1676, 1-13.

<https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1676>,

<https://abm.ojs.incol.mx/index.php/abm/article/view/1676/3596>

Paz, R., y Arrieche, N. (2017). Distribución espacial de Thrips tabaci (Lindeman) 1888 (Thysanoptera: Thripidae) en Quíbor, Estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 29(2), 123-128. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612017000200006

Pérez Constantino, A., Ramírez Dávila, J. F., y Figueroa Figueroa, D. K. (2023). Infestación de broca del café, *Hypotenemus hampei*(Coleoptera: Scolitydae) en zonas cafetaleras del Estado de México, México. *Revista Colombiana de Entomología*, 49(1), e12097, 1-5. <https://doi.org/10.25100/socolen.v49i1.12097>

Pérez-De la O, N. B., López-Martínez, V., Jiménez-García, D., y Campos-Figueroa, M. (2016). Predicción de la Disponibilidad Ambiental de *Bulia schausi*

- (Lepidoptera: Noctuidae), una Plaga Potencial de Brócoli en México. *Southwestern Entomologist*, 41(1), 163-170. <https://doi.org/10.3958/059.041.0118>
- Perez-Mena, A., Fernández-Zepeda, J. A., Rivera-Caicedo, J. P., y Avila-George, H. (2019). Una aplicación móvil para el monitoreo de cultivos: caso de estudio campaña contra el pulgón amarillo del sorgo. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información, RISTI*, (31), 118-133. <https://scielo.pt/pdf/rist/n31/n31a10.pdf>
- Quintero Muñoz, D. M, y Cuartas Mora, S. A. (2022). *Aproximación a un estado del arte de las tecnologías utilizadas en el tratamiento de aguas residuales del beneficio del café en Colombia y su impacto ambiental* [Monografía para Especialización, Universidad de Antioquia]. Repositorio institucional Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/32254>
- Quiñones Huatangari, L., Ocaña Zuñiga, C. L., Huaccha Castillo, A. E., Milla Pino, M. E., Ríos Julcapoma, M., Acosta Jacinto, R. E., y Mendoza Villaizan, E. (2023). *Sistema de monitoreo y diagnóstico de alerta temprana para detectar la aparición de la roya en plantaciones de café en el Distrito de Chirinos, Cajamarca* [Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Intitucional Universidad Nacional de Jaén. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/515>
- Ramírez-Cabral, N., González-González, M. Á., Corrales-Suastegui, A., y Mena Covarrubias, J. (02-08 de abril de 2011). *Sistema de alerta de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) con Agro-Pron* [Ponencia]. IX Congreso Internacional de Pastizales, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Inta) y Asociación Argentina de Pastizales, Rosario, Argentina.

<https://www.researchgate.net/publication/371526129>

Resolución 01669 de 1997 [Ministerio de Salud]. Por la cual se autoriza el uso de productos con base en *Endosulfan* únicamente para el control de la broca del cafeto (*Hypotenemus hampei*). 27 de mayo de 1997.

Resolución 3497 de 2014 [Instituto Colombiano Agropecuario]. Por medio de la cual se establece el procedimiento para la revaluación de los plaguicidas químicos de uso agrícola registrados con anterioridad a la entrada en vigencia de la Decisión CAN 436 y se establecen otras disposiciones. 10 de octubre de 2014.

Resolución No. 00321 [Instituto Colombiano Agropecuario]. Por la cual se establecen disposiciones de carácter fitosanitario para la renovación o eliminación de cafetales que presentan infestaciones de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferr.) y se dictan otras medidas. 02 de marzo de 1999.

Resolución No. 075486 de 2020 [Instituto Colombiano Agropecuario]. Por medio de la cual se establece los requisitos y procedimientos para el registro o ampliación de uso de Plaguicidas químicos de uso agrícola y bioinsumos a través del mecanismo de historial de uso. 15 de septiembre de 2020.

Resolución No. 2581 de 1995 [Instituto Colombiano Agropecuario]. Por la cual se establecen medidas de carácter fitosanitario para el Manejo de la Broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) y se dictan otras disposiciones. 01 de septiembre de 1995.

Resolución No.00001580 de 2022 [Instituto Colombiano Agropecuario]. Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el registro de los fabricantes, formuladores, envasadores, distribuidores, importadores y/o exportadores de los

- plaguicidas químicos de uso agrícola, así como los requisitos para el registro de plaguicidas químicos de uso agrícola y otras disposiciones. 09 de septiembre de 2022.
- Sánchez-Alvarado, E., Herrera-Reyes, S., Suárez Arellano, C., Gavilánez Luna, F., Valarezo- Rivera, N., y España Valencia, P. (2023). Monitoreo de insectos plaga mediante SIG aplicados al cultivo de *Oryza sativa* L. en Naranjal, Ecuador. *Manglar*, 20(1), 59-67. <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.007>, http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2414-10462023000100059
- Sentencia 5483 de 23 de marzo de 2001 [Consejo de Estado]. Contenido: sustancia plaguicidas, restricción de insecticida Endosulfán. Se declara la nulidad de los artículos 4, 6 y 8 de la Resolución 1669 de 1997, emitida por el Ministerio de Salud. Ponente: Navarrete Barrero, Olga Inés.
- Suárez-Mota, M., Pacheco-García, M. M., Cristobal-Angulo, O. P., Antúnez, P., Santiago-García, W., y Bautista-Juárez, I. (2021). La plaga defoliadora *Zadiprion falsus* Smith en la Sierra Norte de Oaxaca, México: estado actual y perspectivas. *Agro Productividad*, 11(7), 35-41. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/913>
- Tipantuña Bautista, L. E. (2017). *Propuesta metodológica para el análisis de la respuesta espectral en plantaciones de banano a la presencia de plagas y enfermedades, caso de estudio: cantón San Jacinto de Yaguachi, Sector Tres Postes, Provincia del Guayas* [Disertación de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional Pontificia Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14442>

- Torres León, J. L., y Ruíz Martínez, J. E. (2016). GeoPalma® Plantación, sistema de información geográfica de los palmicultores para los palmicultores con raíces en la investigación de Cenipalma. *El Palmicultor*, (531), 28-30.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmicultor/article/view/11712/1>
- 1703 Trujillo E., H. I., Aristizábal A., L. F., Bustillo P., A. E., y Jiménez Q., M. (2006). Evaluación de métodos para cuantificar poblaciones de broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en fincas de caficultores experimentadores. *Revista Colombiana de Entomología*, 32(1): 39-44, <http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v32n1/v32n1a06.pdf>
- Ugsha Cuyo, F. A. (2023). *Evaluación del daño causado por plagas y enfermedades mediante imágenes multiespectrales en el cultivo de chocho (Lupinus mutabilis) en la parroquia de San Juan de Pastocalle* [Proyecto de investigación de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional Universidad Técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11004>
- Vargas Saravia, I. R., y Machicao Terrazas, L. F. (2023). Aplicación web para la identificación y monitoreo de plagas (complejo gorgojo y complejo polillas) en el cultivo de la papa. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(1), 45-54. <https://doi.org/10.53287/pqyj8962ae54v>
- Vásquez-González, C. Y., Hernández-Baz, F., López-Guillen, G., Lara-Capistrán, L., y Castro- Bobadilla, G. (2021). Notas sobre la distribución geográfica de *Synanthedon cardinalis* Dampf (Lepidoptera: Sesiidae) en el estado de Veracruz,

- México. *Revista Bio Scientia*, 4(E: Memorias VIII Congreso de la Sociedad Boliviana de Entomología), 72-73.
<https://revistas.usfx.bo/index.php/bs/article/view/664/455>
- Vega, O. A. (1993). La broca: conozcámosla y combatámosla. [plegable]. Centro de Educación Agropecuaria Fundación Manuel Mejía.
- Vélez Vallejo, R. (2021). Mensaje del gerente: La calidad es sinónimo de mejor precio y la sostenibilidad cafetera, de futuro. En: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.
- Informe de Gestión 2021* (pp. 8-9). [https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2022/05/IG-Web.pdf](https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2022/05/IG-2021-FNC-Web.pdf), https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2022/05/IG-2021_Digital.pdf
- Yáñez López, R., Vázquez Ortega, A., Arreguín Centeno, J. H., Soria Ruíz, J., y Quijano Carranza, J. Á. (2019). Sistema de alerta contra el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 405-416.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342019000200405

Anexo 1. Formatos para evaluación de infestación y penetración utilizados en campo por administradores de fincas cafeteras

En las siguientes figuras se presentan los formatos encontrados en fincas cafeteras para la realización de evaluación de los niveles de infestación y posición de penetración de la broca.

Figura 1.

Libreta de campo para conocer la cantidad de broca en el cultivo de café (nivel de infestación y posición de la broca). Material divulgativo promovido por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

The image shows two green booklets and a field notebook. The left booklet is titled "CAFETERO" and contains the text: "Conocer la broca cuesta poco, pero vale la pena cuando hoy cosecha y gana más. Por eso controlar la broca paga." The right booklet is titled "LIBRETA DE CAMPO" and contains the text: "Para conocer la cantidad de broca que hay en su cultivo de café. LA BROCA es el enemigo. Todos juntos debemos combatirla." The notebook below shows a table for recording coffee infestation data and diagrams for recording broca positions.

Lote		Semana N°		A.S.N.M.		Fecha sector	
N°	GRANOS	N°	CERCA	N°	CERCA	N°	CERCA
Total	Broca	Total	Broca	Total	Broca	Total	Broca
1	40	2	11	60	2	21	16
2	100	12	100	0	22	70	2
3	33	7	13	150	2	23	180
4	80	7	14	40	9	24	40
5	50	5	15	50	7	24	40
6	40	1	16	80	4	24	80
7	35	1	17	64	2	27	70
8	40	1	18	70	0	27	
9	80	5	19	70	0	27	
10	41	2	20	5	3	30	

The notebook also includes diagrams for recording broca positions, labeled "POSICIONES DE LA BROCA" and "POSICION", with various symbols and numbers indicating the location and type of infestation.

Figura 3.

Adaptación del formato para evaluar el nivel de infestación y posición de la broca en campo utilizado en la Hacienda Venecia, Manizales, Caldas.

HACIENDA VENECIA
FORMATO DE EVALUACIÓN DE BROCA

CITIOS = 60

21-04-2023

Lote 246

Ramas bajas			Ramas Intermedias			Ramas altas		
Sitio	F. totales	F. brocados	Sitio	F. totales	F. brocados	Sitio	F. totales	F. brocados
1	17	3	1	46	0	1	31	0
2	23	5	2	70	0	2	29	0
3	22	2	3	95	8	3	14	3
4	47	1	4	79	0	4	56	2
5	28	0	5	52	5	5	48	1
6	36	0	6	72	7	6	11	0
7	60	2	7	61	0	7	39	0
8	56	4	8	42	0	8	36	3
9	45	0	9	33	0	9	22	3
10	20	0	10	28	11	10	51	3
11	29	8	11	50	2	11	40	2
12	28	0	12	36	0	12	59	0
13	40	0	13	22	0	13	16	0
14	10	0	14	10	2	14	25	5
15	16	9	15	17	5	15	28	7
16	45	1	16	28	5	16	100	2
17	25	0	17	39	2	17	79	0
18	40	0	18	10	0	18	52	0
19	30	7	19	51	0	19	29	9
20	72	2	20	29	0	20	69	1
21	47	3	21	41	2	21	24	5
22	55	4	22	28	5	22	69	0
23	67	8	23	37	0	23	77	11
24			24			24		
25			25			25		
26			26			26		
27			27			27		
28			28			28		
29			29			29		
30			30			30		
31			31			31		
32			32			32		
33			33			33		
34			34			34		
35			35			35		
36			36			36		
37			37			37		
38			38			38		
39			39			39		
40			40			40		
41			41			41		

1.006 80
939 69
1.150 78

FRUTOS 3.095

FRUTOS Broca 227

CITIOS 41

P1 | 38 | 28

P2 | 30 | 19

Fuente: Adaptación del formato, cortesía de la Hacienda Venecia, Manizales, Caldas.

Con base en la revisión bibliográfica y a la lectura y observación detallada de los diferentes formatos, se definieron las variables (- Total de frutos de la rama más productiva observada en el árbol, - Total de frutos infestados contabilizados en la rama más productiva seleccionada y - Detalle de granos infestados, considerando la posición de penetración, equivalente a 100 granos por hectárea para obtener proporciones precisas) y cálculos para obtener una caracterización completa para la evaluación de infestación y penetración de la broca en el grano de café:

% infestación = (Número total de frutos infestados / Número total de frutos) * 100

Ecuación 1. Cálculo del porcentaje de infestación de la broca en el café.

% brocas vivas en posición AB = ((Sumatoria de brocas A vivas + Sumatoria de brocas B vivas) / Sumatoria brocas en cualquier posición de penetración y estado) * 100

Ecuación 2. Cálculo del porcentaje de brocas vivas en posición A o B.

Cabe mencionar que, como se pudo observar en los formatos previos, todo el procedimiento es realizado manualmente, desde el diligenciamiento en campo hasta la obtención de resultados mediante las fórmulas matemáticas mencionadas.

Anexo 2: Publicaciones relevantes que se refieren al método de evaluación y penetración de la broca en los cultivos de café

En la siguiente tabla se identificaron las publicaciones más relevantes que contienen fragmentos relacionados con el método utilizado por CENICAFÉ en la evaluación de broca en los cultivos de café.

Tabla 1. Publicaciones relevantes que se refieren al método de evaluación de broca en los cultivos de café.

Fuente	Ítem	Detalles
1	Nombre referencia	Brocarta n° 5 Cómo determinar la infestación de broca en un cafetal
	Autor(es)	Centro Nacional de Investigación del Café CENICAFÉ
	Tipo de documento y año de publicación	Boletín, mayo 31 de 1993
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	<ul style="list-style-type: none"> - Describe el método de monitoreo en campo paso a paso, indicando también el recorrido sugerido para tomar las muestras en el lote. - Presenta la fórmula matemática para calcular el porcentaje de infestación
2	Nombre referencia	Brocarta n°43 Periodo crítico del ataque de la broca del café
	Autor(es)	Aníbal Arcila Moreno
	Tipo de documento y año de publicación	Boletín
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	<p>Describe el periodo que se define como crítico, en el cual el caficultor debe estar atento a los niveles de infestación en su cultivo, lo cual se recomienda revisar a partir de los 120 a 150 días de la floración principal que es cuando el fruto alcanza el 20% de peso seco</p> <p>Mediante figuras se muestran las 4 posiciones de penetración de la broca en el grano, indicando el tiempo aproximado en horas que el insecto pasa de posición A a B.</p>
3	Nombre referencia	Brocarta n°44 La floración indicador del ataque de la broca
	Autor(es)	Aníbal Arcila Moreno
	Tipo de documento y año de publicación	Boletín
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	<ul style="list-style-type: none"> - Menciona los cinco patrones de floración del café en Colombia, lo que permite estimar las épocas de mayor susceptibilidad de los frutos al ataque de la broca. - Menciona las acciones cuando se está en periodo crítico y entre ellas se enfatiza la evaluación del nivel de infestación y la posición de penetración de la broca en el fruto - Menciona la recomendación de aplicación de insecticidas cuando el nivel de infestación es mayor o igual al 2% y el 50% de los granos identificados con broca tienen presencia del insecto en posición A y B. - Finalización del periodo crítico.

Fuente	Ítem	Detalles
		- Recomendación de aplicación focalizada mediante mapas de la finca en los que su ubiquen los focos.
4	Nombre referencia	Brocarta n°45. Vuelos de la broca del café durante la cosecha principal
	Autor(es)	Pablo Benavides Machado.
	Tipo de documento y año de publicación	Boletín
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	- Zonas del país con requerimiento de monitoreo de broca según la temperatura promedio, la altitud y el impacto de fenómenos climáticos como El Niño
5	Nombre referencia	Brocarta n°49. Insecticidas químicos recomendados para el control de la broca del café.
	Autor(es)	Aníbal Arcila Moreno
	Tipo de documento y año de publicación	Boletín, 2016
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	- Se refiere al momento oportuno en el uso de insecticidas mencionando que los niveles de infestación sean iguales o superen el 2% y que más del 50% de las brocas vivas estén en posición A y B
6	Nombre referencia	Calendario registro de floración y cosecha 2023
	Autor(es)	CENICAFÉ
	Tipo de documento y año de publicación	Afiche, 2023
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	- Contiene las fechas del año en las que se califica la floración y recomienda el periodo para realizar las evaluaciones de broca.
7	Nombre referencia	Método de laboratorio para evaluar el efecto de insecticidas sobre la broca del café
	Autor(es)	Leidy Johana Tapias Isaza; Claudia Patricia Martínez Díaz; Pablo Benavides Machado; Carmenza Esther Góngora Botero
	Tipo de documento y año de publicación	Artículo científico, 2015
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	- Contiene una figura donde presenta claramente las posiciones de penetración de la broca en frutos de café
8	Nombre referencia	Validación del manejo integrado de <i>Hypothenemus Hampei</i> Ferrari (Coleoptera: Curculionidae) en el Huila, Colombia
	Autor(es)	Ferney López Franco, Laura Alexandra Laiton Jiménez, Pablo Benavides Machado
	Tipo de documento y año de publicación	Artículo científico, 2019
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	Describe con detalle el método para la estimación de la infestación de broca en el campo.
9	Nombre referencia	Boletín 7, Estado fitosanitario de la caficultura colombiana
	Autor(es)	Gerencia técnica Federación Nacional de Cafeteros
	Tipo de documento y año de publicación	Boletín, junio 2023
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	- Permite conocer el porcentaje de infestación de broca de los diferentes departamentos a partir de los resultados obtenidos de

Fuente	Ítem	Detalles
		diferentes sitios que cubrirían todo el país, para el segundo trimestre del 2023
10	Nombre referencia	La broca del Café. Claves para su manejo en el campo
	Autor(es)	CENICAFÉ
	Tipo de documento y año de publicación	Volante
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	- Presenta información que orienta al caficultor para manejar la broca siguiendo diferentes pasos los cuales son: determinar el nivel de vulnerabilidad frente a los fenómenos climáticos, Registro de floraciones, Aplicación de insecticidas si se superan los valores (mayor o igual al 2% de infestación y más del 50% de los insectos están en posición A y B)
11	Nombre referencia	La broca del Café. Periodo crítico
	Autor(es)	CENICAFÉ
	Tipo de documento y año de publicación	Volante
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	- Recomienda aplicar un insecticida para el manejo de la broca cuando el nivel de infestación sea mayor o igual al 2% y más del 50% de los insectos están en posición A y B)
12	Nombre referencia	Cartilla 14 Manejo Integrado de la broca
	Autor(es)	CENICAFÉ
	Tipo de documento y año de publicación	Cartilla
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	- Contiene indicaciones del proceso de evaluación, desde la identificación de las muestras hasta la identificación del grado de penetración.
13	Nombre referencia	Guía Más Agronomía, más productividad
	Autor(es)	FNC - CENICAFÉ
	Tipo de documento y año de publicación	Libro, 2018
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	- Aporta recomendaciones para proteger los frutos de la broca mencionando la necesidad de evaluar durante el período crítico, para establecer la necesidad de aplicar insecticidas químicos o biológicos, las cuales deberían realizarse si los frutos están en el período crítico, si la infestación supera el 2% y si el 50% de brocas vivas están en posición A y B.
14	Nombre referencia	Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana
	Autor(es)	Álex Enrique Bustillo Pardey
	Tipo de documento y año de publicación	Libro, 2008
	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	- Refiere la necesidad de realizar evaluaciones de los umbrales de daño económico como parte de un programa de manejo integrado de plagas MIP, enfatizando en la importancia de medir una población en el campo, en un momento dado. - Menciona el detalle de la evaluación de infestación y la recomendación de su realización de manera mensual

Fuente	Ítem	Detalles
		<ul style="list-style-type: none"> - El nivel de infestación de broca en un lote, su localización dentro del lote y la posición de la broca en el fruto es información básica para poder tomar decisiones de control - El ataque de la broca no es uniforme en todo el lote y que existen áreas donde es más concentrado el ataque. Con la ayuda de los mapas de la finca y de señales en los árboles, estos sitios se pueden ubicar fácilmente y las aspersiones con hongo y/o insecticidas se pueden concentrar en estos "focos" o "puntos calientes". -Dentro de las prácticas de manejo se recomienda evaluar mensualmente por lotes: niveles de infestación, detectar focos y vuelos de la broca.
	Nombre referencia	Manejo integrado de la broca del café
	Autor(es)	Alex E. Bustillo P, Reinaldo Cárdenas M, Diógenes A. Villalba G, Pablo Benavides M, Jaime Orozco H, Francisco J. Posada F.
	Tipo de documento y año de publicación	Libro, 1998
15	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	<ul style="list-style-type: none"> - Momento recomendado del monitoreo - Posiciones de la broca dentro del fruto - Niveles máximos permisibles de presencia de broca - El método de muestreo recomendable de 30 árboles por hectárea y el estado de penetración de la plaga en el fruto permite estimar los sitios de concentración de la plaga. - Periodo de desarrollo del fruto en el que la broca puede reproducirse en su interior. - Recomendación de frecuencia mensual de evaluaciones de infestación. - Recomendación de evaluar 100 frutos brocados por hectárea para conocer la posición de penetración. - La importancia del mapa de la finca para señalar las concentraciones (focos) de broca, de tal forma que se pueda fumigar de una manera más precisa ahorrando insumos y aumentando la efectividad del proceso. - El registro de la floración como punto inicial para definir el momento de impacto de la broca en el cultivo.
	Nombre referencia	Manual del cafetero colombiano tomo 2
	Autor(es)	FNC – CENICAFÉ
	Tipo de documento y año de publicación	Libro, 2013
16	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	<ul style="list-style-type: none"> - Sobre el momento de realizar aspersiones cuando los adultos de la broca se encuentren volando en aquellos momentos en los cuales el porcentaje de infestación supere el 2% y la proporción de broca perforando frutos (posiciones A + B) sea mayor al 50% y deben realizarse en los puntos calientes (focos). - Se explica el proceso de evaluación del nivel de infestación en los lotes de café y de la posición de penetración de la broca en el fruto. - Sobre el inicio del periodo crítico en las zonas cafeteras de Colombia
	Nombre referencia	Manual del cafetero colombiano tomo 3
	Autor(es)	FNC – CENICAFÉ
17	Tipo de documento y año de publicación	Libro, 2013

Fuente	Ítem	Detalles
Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método		<ul style="list-style-type: none"> - Se indica de forma detallada la evaluación del nivel de infestación en los lotes de café, con el paso a paso y la fórmula utilizada. En cuanto a la posición de penetración se dan las indicaciones de cuántos frutos son necesarios por hectárea. - Se recomienda una periodicidad mensual de realización de la evaluación durante el periodo crítico
Nombre referencia		El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia
Autor(es)		Alex Enrique Bustillo Pardey
Tipo de documento y año de publicación		Libro, 2007
18	Resumen o contenido relacionado con los fundamentos del método	<ul style="list-style-type: none"> - Sobre la susceptibilidad del ataque de la broca cuando el fruto alcanza su 20% en peso seco, que sucede entre los 120 a 150 días después de la floración. - Se indica el proceso de evaluación de la rama en 30 árboles elegidos de manera representativa dentro del lote, el cual demora 42 minutos en promedio. Por otra parte, se sugiere determinar el porcentaje de penetración de las brocas en 2 o 3 granos por árbol revisado y para facilitar la interpretación, se incluyen figuras - Se mencionan las variables de información para tomar decisiones de control así: El nivel de infestación de broca en un lote, su localización dentro del lote y la posición de la broca en el fruto. - Respecto a los resultados del método, se menciona que los niveles máximos permitidos de infestación (5%) que puede alcanzar un lote de café durante la época de cosecha para ofrecer un café de calidad denominado “café tipo federación”. Por otra parte, cuando no hay cosecha, debido a la dinámica de la broca, estos niveles se deben mantener por debajo del 2%.

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica.

Anexo 3: Premisas de diseño del formulario digital para evaluación de infestación y penetración de la broca del café

A partir de las visitas realizadas en campo para conocer las condiciones de diligenciamiento y el proceso completo, se llegó a la conclusión de una serie de premisas de diseño para el desarrollo de un formulario digital que cumpliera con los siguientes aspectos:

- Funcionamiento Offline: El formulario digital debe ser capaz de operar sin conectividad a internet o datos móviles. Dado que en los lotes de café es común enfrentar problemas de señal, es fundamental que la aplicación pueda tomar la totalidad de muestras requeridas sin depender de la conexión en tiempo real.

- Almacenamiento momentáneo y sincronización remota: La información diligenciada en el celular se acumulará temporalmente hasta que sea posible realizar una sincronización con un servidor remoto. Este servidor estará configurado para recibir y estructurar la información generada durante la evaluación en campo, garantizando la seguridad y confiabilidad de los datos recolectados.

- Procesamiento de datos en el servidor: El servidor debe contar con la capacidad de procesar los datos de campo diligenciados. Se incorporarán ecuaciones matemáticas para obtener resultados precisos y consistentes, lo que permitirá al productor consultar los datos en cualquier momento posterior a la evaluación en campo.

- Acceso a resultados mediante un geovisor en línea: Los resultados obtenidos serán accesibles a través de un geovisor en línea. Esta herramienta facilitará a los productores y su equipo de colaboradores la consulta de los datos calculados mediante las ecuaciones matemáticas, permitiéndoles tomar decisiones de manejo más informadas y oportunas para el bienestar del cultivo.

Considerando dichas variables y los requisitos técnicos para la toma de decisiones, fueron seleccionados dos productos en línea de ESRI: ArcGIS Online y Survey123 Connect®, los cuales son soportados por los dos sistemas operativos predominantes en el mercado de aplicaciones móviles (Android e iOS). Con estas herramientas, fue posible construir de manera efectiva el formulario de captura de datos en campo y publicar los resultados de forma organizada y fácilmente interpretable para los tomadores de decisiones de las fincas.

Anexo 4: Atributos del formulario digital utilizados para el diseño de la evaluación de infestación

A continuación, se presenta una tabla que detalla las variables fundamentales empleadas en el proceso de diseño del formulario digital.

Tabla 1. Tabla con variables del formulario digital implementado.

consecutivo dato	Tipo	etiqueta	Grupo de dato	Tipo de interacción con el usuario	cálculos
1	entero	Contador_form	Dato autodiligenciable por el sistema	Back-end	
2	dato cronológico	Fecha y hora diligenciamiento	Dato autodiligenciable por el sistema	Front-end	
3	geopunto	GPS Location	Dato autodiligenciable por el sistema	Back-end	pulldata("@geopoint", \${location}, "horizontalAccuracy")
4	cálculo	horizontal accuracy	Dato autodiligenciable por el sistema	Back-end	\${accuracy}
5	nota	Precisión actual GPS del celular (metros):	Dato autodiligenciable por el sistema	Front-end	
6	dato de listado	>NOMBRE LOTE	Dato diligenciable por el usuario	Front-end	
7	entero	> TOTAL FRUTOS RAMA	Dato diligenciable por el usuario	Front-end	
8	entero	> TOTAL FRUTOS BROCADOS	Dato diligenciable por el usuario	Front-end	

consecutivo dato	Tipo	etiqueta	Grupo de dato	Tipo de interacción con el usuario	cálculos
9	entero	> OTRAS BROCAS VIVAS EXPUESTAS	Dato diligenciable por el usuario	Front-end	
10	nota	>> CONTINÚE CON EL DETALLE DE HASTA 4 GRANOS BROCADOS		Front-end	
11	inicio de grupo	DETALLE GRANO BROCADO 1		Front-end	
12	dato de listado	Posición broca G1	Dato diligenciable por el usuario	Front-end	
13	dato de listado	Presencia broca G1	Dato diligenciable por el usuario	Front-end	
14	fin de grupo		Dato de procesamiento interno	Back-end	
15	inicio de grupo	DETALLE GRANO BROCADO 2		Front-end	
16	dato de listado	Posición broca G2	Dato diligenciable por el usuario	Front-end	
17	dato de listado	Presencia broca G2	Dato diligenciable por el usuario	Front-end	
18	fin de grupo		Dato de procesamiento interno	Back-end	
19	inicio de grupo	DETALLE GRANO BROCADO 3		Front-end	
20	dato de listado	Posición broca G3	Dato diligenciable por el usuario	Front-end	
21	dato de listado	Presencia broca G3	Dato diligenciable por el usuario	Front-end	
22	fin de grupo		Dato de procesamiento interno	Back-end	
23	inicio de grupo	DETALLE GRANO BROCADO 4		Front-end	

consecutivo dato	Tipo	etiqueta	Grupo de dato	Tipo de interacción con el usuario	cálculos
24	dato de listado	Posición broca G4	Dato diligenciable por el usuario	Front-end	
25	dato de listado	Presencia broca G4	Dato diligenciable por el usuario	Front-end	
26	fin de grupo		Dato de procesamiento interno	Back-end	
27	entero	Cont_A_viva_G1	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g1},'A') and selected({est_broc_g1},'viva'), '1', '0')
28	entero	Cont_A_muerta_G1	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g1},'A') and selected({est_broc_g1},'muerta'), '1', '0')
29	entero	Cont_A_ausente_G1	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g1},'A') and selected({est_broc_g1},'ausente'), '1', '0')
30	entero	Cont_B_viva_G1	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g1},'B') and selected({est_broc_g1},'viva'), '1', '0')
31	entero	Cont_B_muerta_G1	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g1},'B') and selected({est_broc_g1},'muerta'), '1', '0')
32	entero	Cont_B_ausente_G1	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g1},'B') and selected({est_broc_g1},'ausente'), '1', '0')
33	entero	Cont_C_viva_G1	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g1},'C') and selected({est_broc_g1},'viva'), '1', '0')

consecutivo dato	Tipo	etiqueta	Grupo de dato	Tipo de interacción con el usuario	cálculos
34	entero	Cont_C_muerta_G1	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g1},'C') and selected({est_broc_g1},'muerta'), '1', '0')
35	entero	Cont_C_ausente_G1	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g1},'C') and selected({est_broc_g1},'ausente'), '1', '0')
36	entero	Cont_D_viva_G1	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g1},'D') and selected({est_broc_g1},'viva'), '1', '0')
37	entero	Cont_D_muerta_G1	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g1},'D') and selected({est_broc_g1},'muerta'), '1', '0')
38	entero	Cont_D_ausente_G1	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g1},'D') and selected({est_broc_g1},'ausente'), '1', '0')
39	entero	Cont_A_viva_G2	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g2},'A') and selected({est_broc_g2},'viva'), '1', '0')
40	entero	Cont_A_muerta_G2	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g2},'A') and selected({est_broc_g2},'muerta'), '1', '0')
41	entero	Cont_A_ausente_G2	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g2},'A') and selected({est_broc_g2},'ausente'), '1', '0')
42	entero	Cont_B_viva_G2	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g2},'B') and selected({est_broc_g2},'viva'), '1', '0')

consecutivo dato	Tipo	etiqueta	Grupo de dato	Tipo de interacción con el usuario	cálculos
43	entero	Cont_B_muerta_G2	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g2},'B') and selected({est_broc_g2},'muerta'), '1', '0')
44	entero	Cont_B_ausente_G2	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g2},'B') and selected({est_broc_g2},'ausente'), '1', '0')
45	entero	Cont_C_viva_G2	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g2},'C') and selected({est_broc_g2},'viva'), '1', '0')
46	entero	Cont_C_muerta_G2	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g2},'C') and selected({est_broc_g2},'muerta'), '1', '0')
47	entero	Cont_C_ausente_G2	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g2},'C') and selected({est_broc_g2},'ausente'), '1', '0')
48	entero	Cont_D_viva_G2	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g2},'D') and selected({est_broc_g2},'viva'), '1', '0')
49	entero	Cont_D_muerta_G2	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g2},'D') and selected({est_broc_g2},'muerta'), '1', '0')
50	entero	Cont_D_ausente_G2	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g2},'D') and selected({est_broc_g2},'ausente'), '1', '0')
51	entero	Cont_A_viva_G3	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g3},'A') and selected({est_broc_g3},'viva'), '1', '0')

consecutivo dato	Tipo	etiqueta	Grupo de dato	Tipo de interacción con el usuario	cálculos
52	entero	Cont_A_muerta_G3	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected(\${posic_broca_g3},'A') and selected(\${est_broc_g3},'muerta'), '1', '0')
53	entero	Cont_A_ausente_G3	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected(\${posic_broca_g3},'A') and selected(\${est_broc_g3},'ausente'), '1', '0')
54	entero	Cont_B_viva_G3	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected(\${posic_broca_g3},'B') and selected(\${est_broc_g3},'viva'), '1', '0')
55	entero	Cont_B_muerta_G3	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected(\${posic_broca_g3},'B') and selected(\${est_broc_g3},'muerta'), '1', '0')
56	entero	Cont_B_ausente_G3	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected(\${posic_broca_g3},'B') and selected(\${est_broc_g3},'ausente'), '1', '0')
57	entero	Cont_C_viva_G3	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected(\${posic_broca_g3},'C') and selected(\${est_broc_g3},'viva'), '1', '0')
58	entero	Cont_C_muerta_G3	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected(\${posic_broca_g3},'C') and selected(\${est_broc_g3},'muerta'), '1', '0')
59	entero	Cont_C_ausente_G3	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected(\${posic_broca_g3},'C') and selected(\${est_broc_g3},'ausente'), '1', '0')
60	entero	Cont_D_viva_G3	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected(\${posic_broca_g3},'D') and selected(\${est_broc_g3},'viva'), '1', '0')

consecutivo dato	Tipo	etiqueta	Grupo de dato	Tipo de interacción con el usuario	cálculos
61	entero	Cont_D_muerta_G3	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g3},'D') and selected({est_broc_g3},'muerta'), '1', '0')
62	entero	Cont_D_ausente_G3	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g3},'D') and selected({est_broc_g3},'ausente'), '1', '0')
63	entero	Cont_A_viva_G4	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g4},'A') and selected({est_broc_g4},'viva'), '1', '0')
64	entero	Cont_A_muerta_G4	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g4},'A') and selected({est_broc_g4},'muerta'), '1', '0')
65	entero	Cont_A_ausente_G4	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g4},'A') and selected({est_broc_g4},'ausente'), '1', '0')
66	entero	Cont_B_viva_G4	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g4},'B') and selected({est_broc_g4},'viva'), '1', '0')
67	entero	Cont_B_muerta_G4	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g4},'B') and selected({est_broc_g4},'muerta'), '1', '0')
68	entero	Cont_B_ausente_G4	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g4},'B') and selected({est_broc_g4},'ausente'), '1', '0')
69	entero	Cont_C_viva_G4	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g4},'C') and selected({est_broc_g4},'viva'), '1', '0')

consecutivo dato	Tipo	etiqueta	Grupo de dato	Tipo de interacción con el usuario	cálculos
70	entero	Cont_C_muerta_G4	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g4},'C') and selected({est_broc_g4},'muerta'), '1', '0')
71	entero	Cont_C_ausente_G4	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g4},'C') and selected({est_broc_g4},'ausente'), '1', '0')
72	entero	Cont_D_viva_G4	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g4},'D') and selected({est_broc_g4},'viva'), '1', '0')
73	entero	Cont_D_muerta_G4	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g4},'D') and selected({est_broc_g4},'muerta'), '1', '0')
74	entero	Cont_D_ausente_G4	Dato de procesamiento interno	Back-end	if(selected({posic_broca_g4},'D') and selected({est_broc_g4},'ausente'), '1', '0')
75	entero	Tot_A_vivas	Dato de procesamiento interno	Back-end	{Cont_A_viva_G1}+{Cont_A_viva_G2}+{Cont_A_viva_G3}+{Cont_A_viva_G4}
76	entero	Tot_B_vivas	Dato de procesamiento interno	Back-end	{Cont_B_viva_G1}+{Cont_B_viva_G2}+{Cont_B_viva_G3}+{Cont_B_viva_G4}
77	entero	Tot_C_vivas	Dato de procesamiento interno	Back-end	{Cont_C_viva_G1}+{Cont_C_viva_G2}+{Cont_C_viva_G3}+{Cont_C_viva_G4}
78	entero	Tot_D_vivas	Dato de procesamiento interno	Back-end	{Cont_D_viva_G1}+{Cont_D_viva_G2}+{Cont_D_viva_G3}+{Cont_D_viva_G4}
79	entero	Tot_A_muertas	Dato de procesamiento interno	Back-end	{Cont_A_muerta_G1}+{Cont_A_muerta_G2}+{Cont_A_muerta_G3}+{Cont_A_muerta_G4}

consecutivo dato	Tipo	etiqueta	Grupo de dato	Tipo de interacción con el usuario	cálculos
80	entero	Tot_B_muertas	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Cont_B_muerta_G1}+\${Cont_B_muerta_G2}+\${Cont_B_muerta_G3}+\${Cont_B_muerta_G4}$
81	entero	Tot_C_muertas	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Cont_C_muerta_G1}+\${Cont_C_muerta_G2}+\${Cont_C_muerta_G3}+\${Cont_C_muerta_G4}$
82	entero	Tot_D_muertas	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Cont_D_muerta_G1}+\${Cont_D_muerta_G2}+\${Cont_D_muerta_G3}+\${Cont_D_muerta_G4}$
83	entero	Tot_A_ausentes	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Cont_A_ausente_G1}+\${Cont_A_ausente_G2}+\${Cont_A_ausente_G3}+\${Cont_A_ausente_G4}$
84	entero	Tot_B_ausentes	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Cont_B_ausente_G1}+\${Cont_B_ausente_G2}+\${Cont_B_ausente_G3}+\${Cont_B_ausente_G4}$
85	entero	Tot_C_ausentes	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Cont_C_ausente_G1}+\${Cont_C_ausente_G2}+\${Cont_C_ausente_G3}+\${Cont_C_ausente_G4}$
86	entero	Tot_D_ausentes	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Cont_D_ausente_G1}+\${Cont_D_ausente_G2}+\${Cont_D_ausente_G3}+\${Cont_D_ausente_G4}$
87	entero	Tot_Vertical_A	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Tot_A_vivas}+\${Tot_A_muertas}+\${Tot_A_ausentes}$
88	entero	Tot_Vertical_B	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Tot_B_vivas}+\${Tot_B_muertas}+\${Tot_B_ausentes}$
89	entero	Tot_Vertical_C	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Tot_C_vivas}+\${Tot_C_muertas}+\${Tot_C_ausentes}$
90	entero	Tot_Vertical_D	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Tot_D_vivas}+\${Tot_D_muertas}+\${Tot_D_ausentes}$
91	entero	Tot_Horizont_Vivas	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Tot_A_vivas}+\${Tot_B_vivas}+\${Tot_C_vivas}+\${Tot_D_vivas}$

consecutivo dato	Tipo	etiqueta	Grupo de dato	Tipo de interacción con el usuario	cálculos
92	entero	Tot_Horizont_Muertas	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Tot_A_muertas}+\${Tot_B_muertas}+\${Tot_C_muertas}+\${Tot_D_muertas}$
93	entero	Tot_Horizont_Ausentes	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Tot_A_ausentes}+\${Tot_B_ausentes}+\${Tot_C_ausentes}+\${Tot_D_ausentes}$
94	entero	Sum_TotHoriz_y_TotVerti	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Tot_Horizont_Vivas}+\${Tot_Horizont_Muertas}+\${Tot_Horizont_Ausentes}$
95	nota	> CONTROL CALIDAD DILIGENCIAMIENTO O granos brocados	Dato autodiligenciable por el sistema	Front-end	$\${Sum_TotHoriz_y_TotVerti}$ <p>granos diligenciados correctamente</p>
96	inicio de grupo	RESULTADOS		Front-end	
97	decimal	% INFESTACIÓN BROCA (árbol):	Dato de procesamiento interno	Front-end	$((\${total_frutos_brocados} \div \${total_frutos_rama}) * 100)$
98	entero	Tot_brocas_AB_vivas	Dato de procesamiento interno	Back-end	$\${Tot_A_vivas}+\${Tot_B_vivas}$
99	decimal	% BROCAS VIVAS posic AB	Dato de procesamiento interno	Back-end	$(\${Tot_brocas_AB_vivas} \div \${Sum_TotHoriz_y_TotVerti}) * 100$

Anexo 5: Diseño de la interfaz y funcionalidades del formulario digital para evaluación de infestación y penetración de la broca del café

En este anexo, se destacan una serie de figuras que ilustran las funcionalidades y configuraciones implementadas con el objetivo de ofrecer una experiencia de usuario óptima. El objetivo de lo realizado fue garantizar que la transición del formato análogo de evaluación en papel al formato digital sea fluida y positiva, sin representar una barrera en el proceso de digitalización.

Se dedicó especial atención al diseño de la interfaz para asegurar la consistencia y precisión en el ingreso de información. Cada figura muestra de manera detallada cómo se fueron incorporadas las funcionalidades que facilitan y agilizan el proceso de diligenciamiento del formulario digital.

Estas funcionalidades incluyen:

- Listas desplegables: Se implementaron listas desplegables para asociar de manera rápida y sencilla el nombre del lote al árbol muestreado, evitando errores de escritura y garantizando una vinculación precisa.

- Selección única: Para el registro detallado de granos brocados, se diseñó una interfaz de selección única que permite elegir de manera estructurada y ordenada la posición y el estado de la broca en cada grano.

- Restricción de valores: Se aplicaron restricciones en el ingreso de datos para asegurar que los valores proporcionados fueran coherentes y dentro de los rangos esperados, eliminando la posibilidad de información incorrecta.

- Despliegue de información de forma natural: con el propósito de brindar una experiencia de usuario intuitiva y eficiente; mediante la configuración de condiciones (conexos), el formulario se adapta dinámicamente a los hallazgos encontrados en campo.

- Control de diligenciamiento: para abordar la dinámica del trabajo en campo, donde ocasionalmente se pueden omitir datos cruciales que involucran dos variables importantes, se implementaron controles para superar esta situación y facilitar la revisión de los registros, incorporando un dato adicional denominado *pista* (hint).

- Visualización de resultados inmediata por árbol: Fue habilitado un campo que muestra el resultado de infestación del sitio muestreado, proporcionando una visión clara de la situación en cada árbol evaluado.

- Almacenamiento en bandeja de salida: La aplicación permite almacenar información en una bandeja de salida cuando se encuentra sin conexión a internet, lo que posibilita el registro de datos incluso en áreas sin cobertura de internet.

- Contabilizador de muestras tomadas: Aunque no fue factible incluir un contador inverso que mostrara cuántos árboles faltarían por evaluar en un mismo lote debido a ciertas limitaciones técnicas propias de la app, se propuso una solución práctica. Los evaluadores podrán supervisar periódicamente el número de muestras tomadas en la bandeja de salida.

Con estas funcionalidades y configuraciones, se busca asegurar que el formulario digital sea una herramienta eficiente y amigable para los evaluadores de campo. La prioridad es que la experiencia del usuario sea positiva y que la digitalización de la evaluación de la broca en los cultivos de café sea un proceso exitoso con el menor número de inconvenientes que puedan volverse un obstáculo para la adopción de la tecnología en el proceso de evaluación de infestación, el cual ha sido tradicionalmente manual.

Las siguientes figuras presentan en detalle cada funcionalidad descrita anteriormente y permiten visualizar cómo éstas en conjunto optimizan la calidad de la información que se toma en campo.

Listas desplegables

En el proceso de optimización del formulario digital, se incorporó la funcionalidad de listas desplegables. Estas listas desplegables han sido implementadas específicamente para el campo de "Nombre del Lote", permitiendo asociar de manera eficiente el nombre del lote al árbol que está siendo muestreado.

El uso de listas desplegables ofrece una selección estructurada y precisa del nombre del lote, evitando así posibles errores de escritura o duplicación de información. Al presentar una lista de opciones predefinidas, se garantiza que cada árbol seleccionado se encuentre adecuadamente vinculado a su lote correspondiente.

Esta mejora en la interfaz de usuario brinda una experiencia más ágil y amigable durante el diligenciamiento del formulario en campo. Los evaluadores pueden seleccionar rápidamente el

nombre del lote de una lista preestablecida, lo que agiliza el proceso y minimiza la posibilidad de equivocaciones. La siguiente figura muestra la funcionalidad mencionada.

Figura 1.

Diligenciamiento de lotes a partir de listas desplegables de opción única.



Fuente: elaboración propia

Selección única

En el contexto de la evaluación de granos brocados, se diseñó una interfaz de selección única para el registro detallado de cada grano afectado. Cuando se reporta la presencia de granos brocados durante la evaluación, se presentan campos específicos que permiten al evaluador elegir tanto la posición como el estado de la broca en cada grano, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Esta funcionalidad de selección única ofrece una forma clara y sencilla de ingresar la información, garantizando que se obtengan datos precisos y consistentes sobre la infestación de la broca en los granos de café. Al proporcionar opciones

específicas para la posición y el estado de la broca, se facilita el registro de datos de manera ordenada y estructurada.

La selección única contribuye a minimizar errores y ambigüedades en el diligenciamiento del formulario digital, ya que el evaluador puede elegir de manera rápida y precisa las opciones que mejor describan el estado de cada grano brocado.

Esta funcionalidad, sumada a las demás características implementadas en el formulario, optimiza la recopilación de datos.

Figura 2.

Adaptación de la selección única al detalle del grano brocado en la posición y el estado.

The image displays two mobile application screens. The left screen, titled 'Finca de prueba', shows a list of four 'DETALLE GRANO BROcado' sections (G1 to G4). Each section contains radio buttons for 'Posición broca' (A, B, C, D) and 'Presencia broca' (viva, muerta, ausente). The right screen is a zoomed-in view of the 'DETALLE GRANO BROcado 1' section, showing the 'Posición broca G1' and 'Presencia broca G1' options. In both, option B is selected for position and 'viva' is selected for presence.

Fuente: elaboración propia

Restricción de valores por unidad o con relación a otro campo

En el presente formulario digital, se implementaron restricciones para asegurar la coherencia y precisión de los datos ingresados. Estas restricciones se aplican tanto en unidades específicas con relación a otros campos, garantizando la validez de la información recopilada.

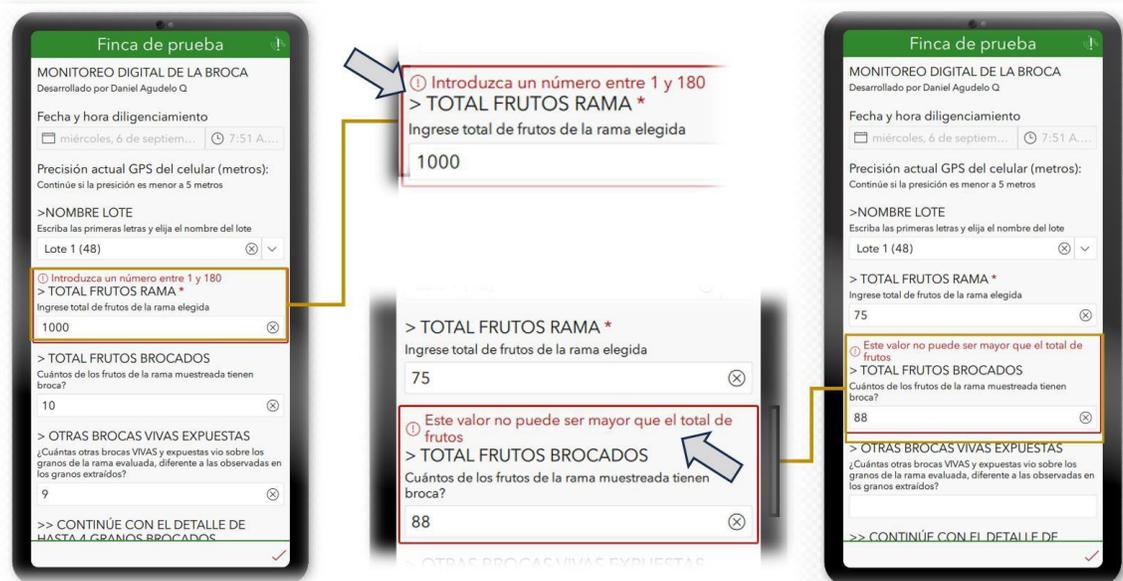
Una de las restricciones implementadas se relaciona con el total de frutos brocados contabilizados en una rama. Dado que este número no puede ser mayor que el total de frutos presentes en la rama, se agregó una condición que invalide el ingreso de un valor superior. De esta manera, se evita cualquier inconsistencia en los registros y se asegura que los datos sean confiables y precisos.

Además, se estableció una restricción relacionada con los granos contabilizados en cada árbol muestreado. Para garantizar que se cuente con información completa y detallada, se configuró como obligatorio el diligenciamiento del campo "TOTAL FRUTOS RAMA", el cual debe corresponder a un número mayor que cero y menor o igual que 180, tal como se observa en la figura adjunta.

Estas restricciones son fundamentales para mantener la integridad de los datos y para obtener resultados coherentes y confiables durante la evaluación de la broca en los cultivos de café. Al validar los valores ingresados y asegurar que se cumplan ciertas relaciones entre campos, se garantiza la calidad de la información.

Figura 3.

Configuración de restricciones en el diligenciamiento por ejemplo del total de frutos rama para disminuir las posibilidad de error humano al ingresar información en el teclado.



Fuente: elaboración propia

Despliegue de información de forma natural

Con el objetivo de facilitar la visualización del formulario y permitir que el usuario encuentre de manera intuitiva los espacios correspondientes a la evaluación, se implementó un despliegue de información de forma natural mediante la configuración de condiciones (conexos). Un ejemplo claro de esta funcionalidad se evidencia cuando se encuentran frutos brocados durante la evaluación. En dicho caso, se habilitan automáticamente campos relacionados para completar el detalle de los granos afectados, como se puede apreciar en la figura siguiente.

Esta estrategia de despliegue dinámico de información garantiza que el

formulario se ajuste de manera fluida a los hallazgos realizados en campo, evitando preguntas innecesarias y presentando únicamente los campos pertinentes en función de la situación específica de cada árbol evaluado.

Gracias a este enfoque, se optimiza la experiencia del usuario en el diligenciamiento del formulario y se agiliza el proceso de recolección de datos. Además, se asegura que se obtenga información detallada y precisa acerca de la infestación de la broca en cada grano de café.

Figura 4.

Configuración del despliegue dinámico para el detalle de posición y estado de la broca a partir de ingresar un número mayor igual que 1 en el campo: TOTAL FRUTOS BROCADOS.



Fuente: elaboración propia

Control de diligenciamiento

Dada la dinámica del trabajo en campo, es posible que en ciertas ocasiones se omita el registro de algún dato en el que consten dos variables importantes. Para abordar esta situación y facilitar la revisión de los registros, se implementó un dato adicional denominado "pista" (hint). Este dato tipo "pista" se ha diseñado específicamente para asegurar que se diligencien tanto la

posición como el estado de la broca en el detalle de un grano afectado, como se puede observar en la figura siguiente.

La inclusión de esta funcionalidad "pista" en el formulario digital brinda una guía visual a los evaluadores para completar correctamente los datos relevantes relacionados con la infestación de la broca en cada grano de café. Al proporcionar esta pista, se asegura que no se omitan datos cruciales, lo que mejora la calidad y precisión de la información recopilada en campo.

Figura 5.

Funcionalidad “pista” (hint) que fue adaptada al formulario para verificación del correcto diligenciamiento.



Fuente: elaboración propia

Visualización de resultados por árbol

Con el propósito de brindar una visión clara y concisa de la situación en cada árbol muestreado, se implementó un campo especial que genera el resultado de infestación del sitio, como se muestra en la figura adjunta.

Este campo específico ofrece una síntesis del nivel de infestación de la broca en el árbol evaluado, proporcionando información relevante de manera rápida y sencilla. Al utilizar este campo en el formulario digital, los evaluadores podrán visualizar de forma inmediata el estado de infestación y considerar los potenciales focos dentro del cultivo. Este dato se consideró relevante a partir de lo encontrado en la bibliografía, en la cual se agrega una marca visible en terreno que destaque en qué puntos se identificó algún foco (Bustillo, y otros, 1998, pág. 33)

Figura 6.

Visualización inmediata de resultados de infestación en el árbol mediante procesamiento interno durante el diligenciamiento de datos.



Fuente: elaboración propia.

Almacenamiento en bandeja de salida mientras esté sin conexión a internet (offline)

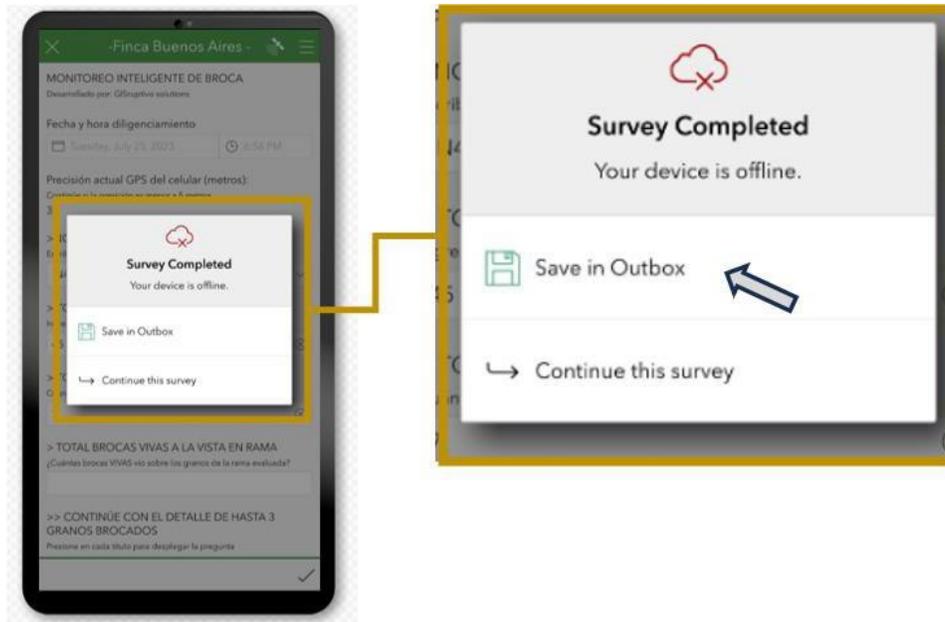
Una de las funcionalidades destacadas de la aplicación Survey123® es su capacidad de permitir el diligenciamiento de formularios en modo offline, como se

puede observar en la figura adjunta. Esta característica resulta invaluable, ya que habilita a los operarios para completar formularios incluso cuando no tienen acceso a internet o datos móviles.

Cuando el operario se encuentra en un área sin conexión, los datos ingresados en el formulario se almacenan temporalmente en una bandeja de salida. Este proceso garantiza que la información recopilada no se pierda y permanezca segura hasta que el dispositivo vuelva a tener acceso a la red.

Figura 7.

Ventana emergente que indica la posibilidad de almacenar la información en el celular para luego transferirla a la nube inmediatamente se tenga acceso a internet.



Fuente: elaboración propia.

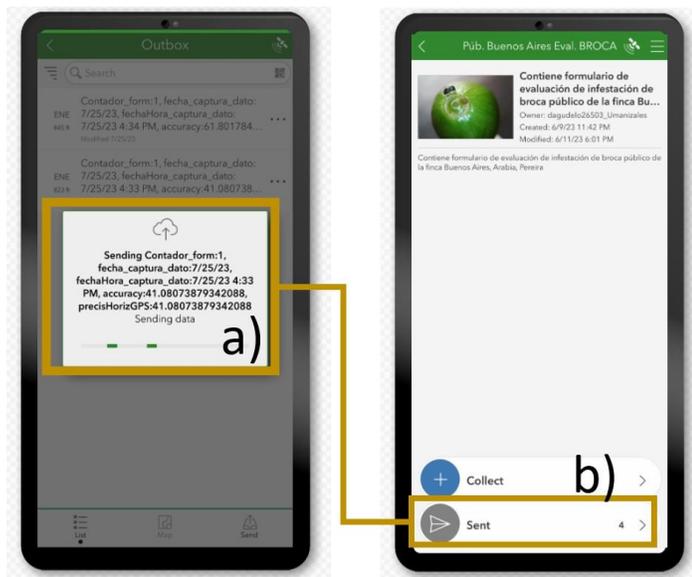
Posteriormente, cuando el dispositivo recupera la conexión a internet, la aplicación activa la transferencia de datos, permitiendo el envío de la información almacenada en la bandeja de

salida. En la figura siguiente, se puede apreciar cómo se muestra el total de datos transferidos correctamente, lo que proporciona una confirmación visual del éxito en la sincronización.

Esta función resulta de suma importancia, ya que asegura que los datos recopilados en campo lleguen a su destino de manera fiable y oportuna, para una posterior gestión y análisis.

Figura 8.

(a) Ventana emergente que indica que se está realizando la transferencia de información capturada en campo. (b) Confirmación de que se enviaron los datos mediante un número que totaliza lo transferido.



Fuente: elaboración propia.

Contabilizador de muestras tomadas

En el proceso de diseñar el formulario digital, se ha tenido en cuenta que el

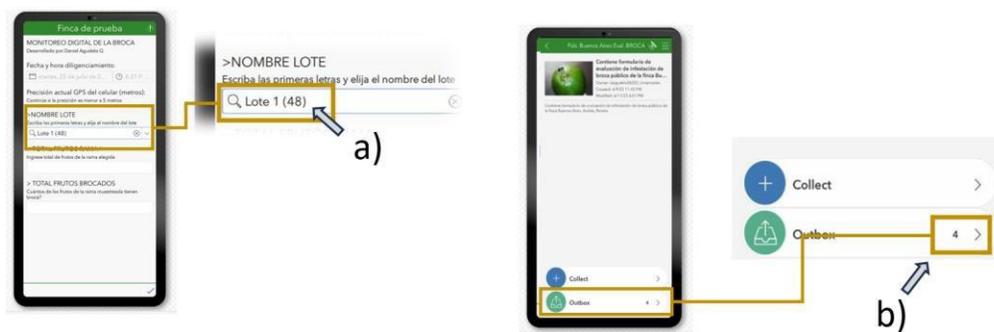
número total de árboles a evaluar depende del área del lote, estableciéndose un estándar de 30 muestras por hectárea. Por lo tanto, se ha agregado al nombre del lote un número entre paréntesis que indica la cantidad total de árboles que deben evaluarse en cada lote.

Es relevante destacar que, debido a ciertas limitaciones técnicas, no fue posible incorporar un contador inverso que indicara cuántos árboles faltan por evaluar en un mismo lote. Sin embargo, para solventar esta situación, se ha recomendado que los evaluadores revisen periódicamente el número que acompaña la bandeja de salida, como se muestra en la figura siguiente.

La figura ilustrativa en el formulario digital presentará el número de muestras evaluadas hasta el momento en el lote, proporcionando a los evaluadores una visión general del avance en la toma de muestras. De esta manera, podrán llevar un control efectivo del progreso y monitorear la cantidad de árboles aún pendientes de evaluar en cada lote.

Figura 9.

(a) valor entre paréntesis al lado del nombre del lote que indica el número total de muestras que deben tomarse para que el total de muestras cumpla con la representatividad. (b) Contador de muestras tomadas.



Fuente: elaboración propia.

Anexo 6. Distribución de muestras en los lotes de estudio

A partir del método establecido por CENICAFÉ, se establecieron dos arreglos, el primero de los cuales consideró una distribución regular basada en un grid trazado previamente en oficina teniendo presente una distribución uniforme de los sitios considerando los requerimientos del método de evaluación que para una hectárea se deben visitar 30 árboles, por lo que para asegurar una distribución uniforme de 30 muestras por hectárea, se calculó la separación entre los puntos en el grid utilizando la fórmula:

$$\text{Separación entre puntos} = \sqrt{(10,000 \text{ m}^2 / 30)} \approx \sqrt{333.33} \approx 18.26 \text{ metros}$$

Ecuación 1.

Separación entre puntos para una malla de muestreo en campo.

La utilización de la anterior ecuación se basa en razones importantes relacionadas con áreas y conceptos clave como:

1. Muestreo Espacial: Esta ecuación se basa en técnicas de muestreo espacial, que son ampliamente aceptadas en campos como la geografía, la agricultura, la ecología y la ciencia del suelo y con la cual, al involucrar la geolocalización en esta investigación, se pretendió obtener datos representativos de áreas geográficas (en este caso el lote de café), lo que permite visualizar los resultados en un espacio geográfico específico.

2. Distribución Uniforme: El cálculo de la separación tuvo como objetivo lograr

una distribución uniforme de las muestras en el área de estudio, con lo que se pretende minimizar sesgos en los análisis y garantizar que los resultados obtenidos sean representativos de todo el lote estudiado.

3. Geoespacial: la investigación se relaciona con tecnologías geoespaciales como Sistemas de Información Geográfica (SIG) y es por esto por lo que esta ecuación adquiere relevancia en términos de diseñar una malla de muestreo, con la cual se pueda obtener una ubicación precisa de los puntos de muestreo en el terreno.

4. Estadísticas Espaciales: considerando el potencial que representa la incorporación de tecnologías geoespaciales y la posibilidad de aplicar técnicas de estadísticas espaciales en investigación, la distribución de muestras a partir de la ecuación es esencial para garantizar que con la información obtenida en campo se puedan realizar análisis espaciales precisos en el futuro. La distribución uniforme de puntos de muestreo es una base fundamental para obtener resultados significativos y confiables en el contexto de estadísticas espaciales.

Con el anterior resultado se generó un grid en oficina mediante la aplicación ArcGIS Pro® teniendo en cuenta la distancia obtenida de la ecuación y la orientación de los surcos como fueron sembrados los árboles de café según lo que se observó en escenas satelitales disponibles de manera gratuita, lo cual se corroboró en campo antes de realizar el proceso de replanteo mediante equipo GPS.

El arreglo de puntos regular se utilizó para el lote El Plan de la finca La Ofrenda como se muestra en la siguiente figura.

Figura 10.

Ubicación de las muestras según arreglo obtenido mediante el trazado de un grid para el lote El Plan, finca La Ofrenda (vista en planta).



Fuente: elaboración propia.

A continuación, se observa una vista en 3D del lote *El Plan*, la distribución de muestras y su numeración.

Figura 11.

Ubicación de las muestras según arreglo obtenido mediante el trazado de un grid para el lote El Plan, finca La Ofrenda (vista en 3D)



Fuente: elaboración propia.

La numeración establecida fue definida en campo considerando la facilidad para realizar el recorrido a través de los espacios entre surcos.

El segundo arreglo correspondió a la ubicación de sitios dentro del lote según el conocimiento de la distribución de los surcos según el operario de campo quien correspondió a una persona que hiciera parte del equipo de personal de la finca o su administrador(a), de tal forma que se sigan las recomendaciones del método propuesto por CENICAFÉ; “En una extensión de una hectárea, al azar se localizan 30 sitios y se recorre el lote siguiendo un patrón en zig-zag, en cruz o W tratando de cubrir toda el área”. (CENICAFÉ - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1993).

Figura 12.

Ubicación de las muestras según la elección de sitios por parte del administrador de la finca

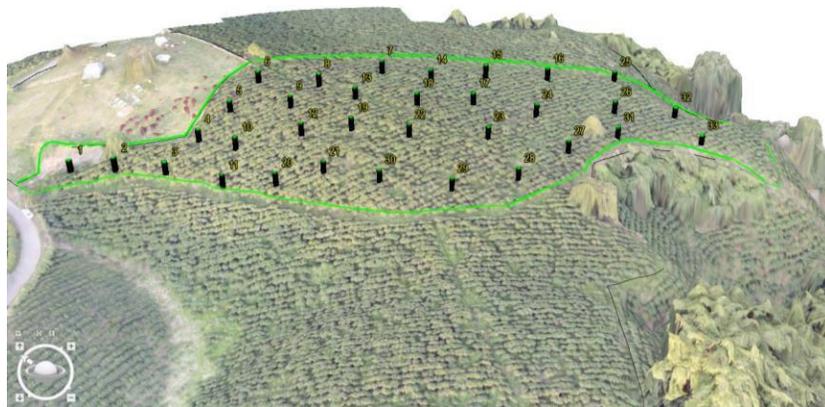


Fuente: elaboración propia.

A continuación, se observa una vista en 3D del lote *NI Cementerio*, la distribución de muestras y su numeración.

Figura 13.

Vista 3D de la ubicación de las muestras según la elección de sitios por parte del administrador de la finca Buenos Aires, en el lote NI Cementerio.



Fuente: elaboración propia.

Anexo 7. Etapas del proceso de validación del aplicativo en las fincas

El proceso de validación de la aplicación consideró las siguientes etapas:

1. Capacitación básica de uso de la aplicación y acompañamiento durante el monitoreo: se llevó a cabo una capacitación fundamental para el uso efectivo de la aplicación, junto con un acompañamiento durante el proceso de monitoreo. Durante esta etapa, se enfocó en proporcionar al usuario las habilidades necesarias para aprovechar al máximo la aplicación y garantizar una transición fluida de los registros en papel a la versión digital.

Figura 1.

Actividades implementadas en la capacitación. a) Indicaciones en el front-end, b) diligenciamiento por parte del técnico en campo, c) identificación de la posición de penetración de la broca en el grano, d) diligenciamiento del resto del formulario y visualización de resultados de infestación por árbol en pantalla



Fuente: elaboración propia.

La capacitación se centró en demostrar la equivalencia de datos entre los registros en papel y el formulario digital de la aplicación. Se mostró cómo los datos previamente recopilados en formato físico podían ser ingresados en la app de manera precisa, asegurando la integridad y fidelidad de la información.

Además, se brindaron instrucciones detalladas sobre las funciones específicas de la aplicación Survey 123®. El objetivo era que el usuario adquiriera un conocimiento sólido sobre cómo utilizar la app, permitiéndole llevar un seguimiento efectivo de las muestras tomadas y garantizar que todos los datos fueran sincronizados adecuadamente con la base de datos en la nube. De esta manera, se aseguró que el proceso de recolección de datos y su posterior transferencia se llevaran a cabo de manera eficiente y confiable.

2. Ejecución de pruebas: se llevó a cabo la ejecución de pruebas con el objetivo de poner en práctica los conocimientos adquiridos durante la capacitación básica. Se acompañó un primer monitoreo, durante el cual se procedió a la captura de datos reales en el campo. El propósito de esta fase era obtener resultados concretos que permitieran tomar decisiones informadas y estratégicas en cuanto al manejo de la broca.

Durante el proceso de captura de datos, se alentó a los usuarios a reportar cualquier problema o error que surgiera, considerando las preguntas de un formato de desempeño del formulario digital. La intención fue identificar posibles obstáculos o dificultades que pudieran afectar la efectividad y precisión de la recolección de datos. Las apreciaciones de los usuarios en relación con su experiencia al utilizar la aplicación y su desempeño en el campo proporcionaron una valiosa retroalimentación sobre la usabilidad de la herramienta permitiendo realizar ajustes o mejoras según las necesidades y sugerencias recibidas.

Figura 2.

Proceso de monitoreo de niveles de infestación de broca usando el formulario



Fuente: elaboración propia.

La etapa de ejecución de pruebas resultó fundamental, ya que brindó la

oportunidad de validar la eficacia de la capacitación proporcionada y de evaluar la adecuación de la aplicación Survey 123® para el propósito específico del monitoreo en campo. Los resultados obtenidos y los comentarios recopilados en esta fase fueron de gran utilidad para optimizar y perfeccionar el proceso de recolección de datos y garantizar que se obtuvieran registros precisos y confiables.

Figura 3.

Proceso de monitoreo de niveles de infestación de broca en la finca Buenos.



Fuente: elaboración propia.

La combinación de la capacitación previa con la ejecución de pruebas en condiciones reales permitió asegurar que los usuarios estuvieran preparados y confiados para llevar a cabo el monitoreo de manera efectiva y que la aplicación utilizada respondiera adecuadamente a las necesidades del proyecto. Estos esfuerzos contribuyen significativamente al éxito general de la investigación y al logro de los objetivos planteados en este estudio de maestría.

3. Análisis de resultados: se llevó a cabo un minucioso análisis de los resultados obtenidos durante las evaluaciones. Los datos recopilados durante el proceso de monitoreo fueron sometidos a una cuidadosa evaluación para comprender el desempeño y la efectividad del sistema implementado.

Durante el análisis, se procedió a identificar y categorizar los diversos problemas encontrados. Estos problemas abarcaban desde errores de funcionamiento en la aplicación hasta dificultades de uso experimentadas por los usuarios. Asimismo, se detectaron posibles inconsistencias en los datos recopilados.

Figura 4.

Revisión de resultados de infestación del lote NI Cementerio la finca Buenos



Fuente: elaboración propia.

La evaluación de resultados y su análisis permitieron obtener una

visión clara y detallada

de la eficiencia del proceso de recolección de datos y el rendimiento de la aplicación utilizada. Los hallazgos fueron fundamentales para identificar áreas de mejora y realizar las correcciones necesarias, asegurando la calidad y fiabilidad de los datos obtenidos.

El proceso de análisis fue esencial para proporcionar una base sólida de información sobre el funcionamiento del sistema de monitoreo. La identificación de problemas y dificultades brindó una valiosa oportunidad para implementar mejoras en el proceso y la herramienta, garantizando así una mayor precisión y eficacia en la obtención de datos.

4. Corrección de problemas: se abordó de manera proactiva la corrección de problemas detectados durante la validación del sistema. El objetivo era mejorar la experiencia del usuario y facilitar el uso de la herramienta tecnológica implementada.

5. Retesting: se llevó a cabo una fase de retesting para validar la efectividad de las correcciones y modificaciones realizadas. Después de implementar las mejoras en la herramienta tecnológica, se prosiguió con las evaluaciones en campo con el objetivo de verificar la solución de los problemas previamente identificados.

Durante el retesting, se realizaron pruebas rigurosas para asegurar que las correcciones se hayan aplicado de manera correcta y que los errores previamente encontrados se hayan subsanado por completo. Se puso especial énfasis en confirmar que la herramienta funcionara adecuadamente y que los usuarios tuvieran una experiencia más fluida y satisfactoria durante el proceso de recolección de datos en campo.

Figura 5.

Diligenciamiento de la evaluación de infestación en campo utilizando algunos accesorios complementarios que facilitaron el proceso y mejoraron la eficiencia en la operación.



Fuente: Elaboración propia

La fase de retesting fue crucial para asegurar la calidad y confiabilidad de la herramienta tecnológica utilizada en el estudio. Los resultados obtenidos en esta etapa proporcionaron evidencia tangible de que las modificaciones realizadas fueron efectivas y contribuyeron a optimizar el rendimiento general del sistema de monitoreo.

6. Seguimiento continuo al uso de la aplicación: se implementó un seguimiento continuo al uso de la aplicación en el campo. Se llevó a cabo un monitoreo constante de la herramienta tecnológica y de los datos recopilados durante las evaluaciones, con el propósito de garantizar un funcionamiento óptimo y abordar de manera efectiva cualquier problema o requerimiento que surgiera por parte del personal de campo y los administradores de las fincas.

El seguimiento activo permitió mantener una supervisión cercana de la aplicación y su desempeño en situaciones reales de trabajo. Se prestó especial atención a la retroalimentación proporcionada por los usuarios, lo que permitió identificar oportunidades de mejora y realizar ajustes rápidos y precisos según las necesidades detectadas.

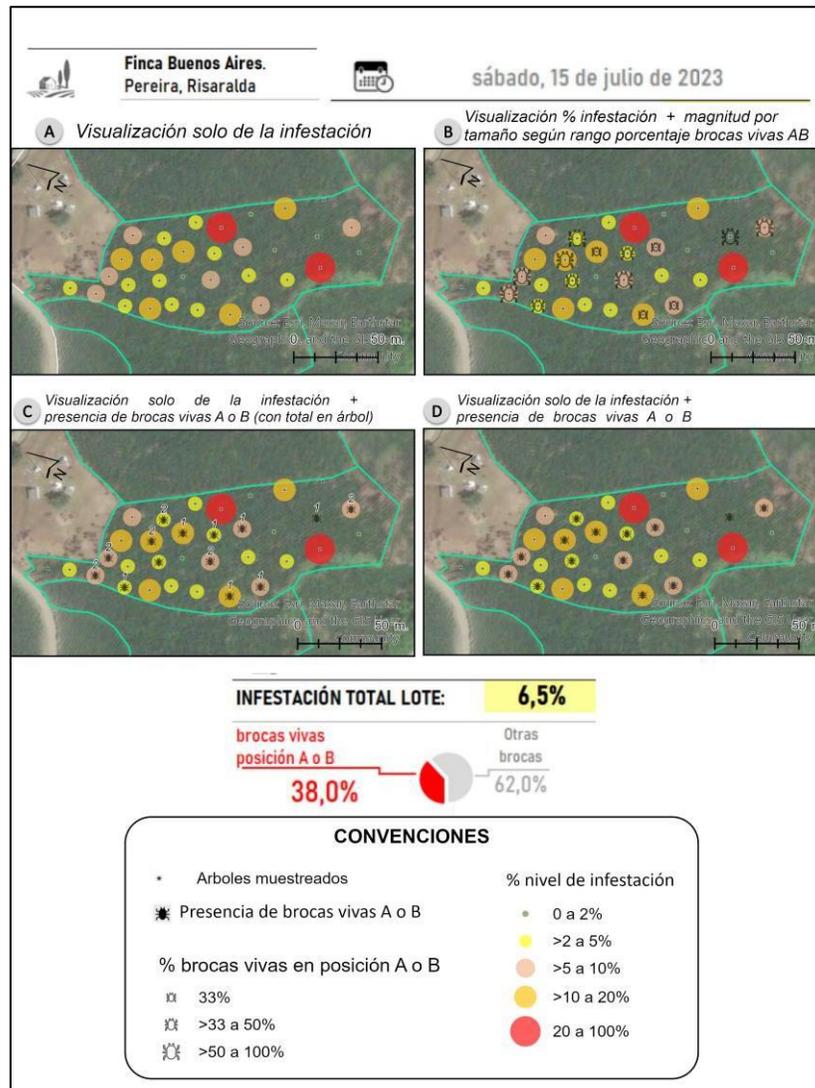
Además, se estableció una comunicación fluida y directa con el personal de campo y los administradores de las fincas, con el fin de abordar de manera proactiva cualquier desafío o inquietud que surgiera durante el uso de la aplicación.

Anexo 8. Proceso de selección de la representación cartográfica de resultados de evaluación de la broca

Para llevar a cabo la representación cartográfica de la evaluación, se crearon múltiples representaciones visuales de los resultados y se sometieron a la consideración tanto de administradores de fincas, agrónomos, técnicos agropecuarios y productores con amplia experiencia en la evaluación de los niveles de infestación de la broca. La figura siguiente presenta las vistas sugeridas, de entre las cuales se seleccionó una para presentar a totalidad de resultados por cada finca.

Figura 1.

Propuesta de vistas con representación geográfica para visualización de resultados de infestación y posición de penetración de la broca para la finca Buenos Aires, lote NI Cementerio.



Fuente: elaboración propia.

A partir de sondeos, se concluyó que la vista C es la que presenta la información de una forma más simple e intuitiva para el caficultor, por lo que para este documento se generó una vista de resultados tipo mosaico de lo obtenido en cada una de las fincas.

Anexo 9. Reconocimiento a un proyecto orientado a evaluación de broca del café

Figura 1.

Nota de prensa: Galardonados en "500 empresas que hacen grande a Risaralda". El Diario.

EL DIARIO | MIÉRCOLES 16 DE AGOSTO DE 2023

2 | ES NOTICIA

Estos fueron los reconocimientos entregados a entidades destacadas por su excelente gestión en educación, compromiso ambiental, ámbito social y emprendimiento.

Galardonados en '500 empresas que hacen grande a Risaralda'



Como parte del encuentro de '500 empresas que hacen grande a Risaralda' se hizo entrega de cuatro galardones a aquellos personajes sobresalientes que han demostrado que la labor propia y de su equipo de trabajo es productiva, aumenta la eficiencia, el resultado prometido y los lleva a un mayor reconocimiento y oportunidades de crecimiento.

'Nuevas ideas que cambian el mundo': Juan Martín Maya, Daniel Agudelo Quintana y Andrés Duque Giraldo son los integrantes del emprendimiento Brocapp, una innovación tecnológica que facilita al caficultor evaluar los niveles de infestación de la broca en su finca, generando una mayor eficiencia en el proceso de toma de datos en campo, para obtener resultados inmediatos que le ayuden a tomar medidas más eficaces al identificar los niveles de infestación y conocer la localización de focos de broca en su cultivo, expresaron: "Nos sentimos muy orgullosos, muy emocionados con mucha expectativa y con mucho compromiso de darle mucho a la región y al país con este galardón, es una satisfacción enorme porque emprender no es fácil y empezar con este galardón motiva e incentiva los procesos de emprendimiento, para seguir avanzando con el proceso. Es un primer fruto de los esfuerzos que estamos haciendo por crear algo novedoso y que aporte al sector agrícola del país que tanto lo necesita".

Fuente: Periódico El Diario. 16 de agosto de 2023. p2

Figura 2.

Publicación en revista “IA redefiniendo y rediseñando el mundo” en la que hace reconocimiento a un emprendimiento relacionado con la evaluación de los niveles de la broca del café.



Fuente: El Diario. (Julio de 2023). Revista “IA Redefiniendo y rediseñando el mundo”. El Diario, 16. p.60