



**USO DE CHATBOTS INTELIGENTES PARA PROMOVER LA EDUCACIÓN EN
EL MANEJO CORRECTO DE AGROQUÍMICOS Y PROTEGER LA SALUD
RURAL EN COLOMBIA**

ESMERALDA LEMUS CALDERÓN

**UNIVERSIDAD ICESI
MAESTRÍA EN EDUCACIÓN
CALI, VALLE DEL CAUCA**

2025

**USO DE CHATBOTS INTELIGENTES PARA PROMOVER LA EDUCACIÓN EN
EL MANEJO CORRECTO DE AGROQUÍMICOS Y PROTEGER LA SALUD
RURAL EN COLOMBIA**

ESMERALDA LEMUS

DIRECTOR TESIS: DR. GUSTAVO MURILLO YEPES

**UNIVERSIDAD ICESI
MAESTRÍA EN EDUCACIÓN
CALI, VALLE DEL CAUCA**

2025

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
1. Introducción.....	7
1.1 Planteamiento del Problema.....	7
1.2 Pregunta de Investigación.....	8
1.3 Objetivos de la Investigación.....	9
1.4 Justificación.....	10
1.5 Alcance y Limitaciones de la Investigación.....	11
1.6 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	11
2. Marco Teórico y Conceptual.....	16
2.1 El Uso de Agroquímicos en la Agricultura.....	16
2.2 Impacto del Manejo Inadecuado de Agroquímicos.....	16
2.3 Alfabetización y Aprendizaje en Poblaciones Rurales.....	17
2.4 Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la Educación Agrícola...	17
2.5 Marcos Teóricos del Aprendizaje para el Diseño de la Herramienta.....	18
3. Marco Contextual.....	23
3.1 Caracterización de la Comunidad y la Institución.....	23
3.2 Marco Normativo y de Salud Ocupacional.....	24
4. Metodología.....	25
4.1 Enfoque Metodológico.....	25
Este trabajo se desarrolla bajo un enfoque de investigación aplicada y diseño instruccional, orientado a resolver un problema concreto en un contexto real: la mejora del conocimiento y las prácticas de manejo seguro de agroquímicos en comunidades rurales con bajos niveles de alfabetización. En este sentido, se adopta una metodología de tipo cualitativa con elementos de investigación acción, combinada con el desarrollo y prueba de una herramienta tecnológica (chatbot con inteligencia artificial y comunicación por voz).....	25
4.2 Población y Muestra.....	25
4.3 Instrumentos de Recolección de Datos.....	26
4.4 Diseño y Desarrollo del Prototipo del Chatbot.....	27
4.5 Procedimiento de Recolección de Datos.....	29
5. Resultados.....	30
5.1 Diagnóstico de Necesidades y Desafíos.....	30
5.2 Diseño y Desarrollo del Prototipo del Chatbot.....	31
5.2.1 Detalles del Diseño Técnico de la Aplicación Esmeralda ChatBot.....	32
5.3 Análisis Estadístico de la Encuesta Diagnóstica.....	40
5.4 Evaluación del Impacto del Chatbot: Usabilidad, Accesibilidad y Resultados del Cuestionario.....	49
5.4.1. Perfil de los Encuestados.....	49
5.4.2. Análisis de las Respuestas por Categoría.....	49
5.4.3. Valoración del ChatBot.....	51

5.4.4. Comentarios Finales.....	53
5.4.5. Recomendaciones Estratégicas.....	55
6. Discusión y Análisis de Resultados.....	57
6.1 Interpretación General de los Hallazgos.....	57
6.2 Articulación con los Marcos Teóricos.....	57
6.3 Percepciones de los Usuarios y Relevancia Didáctica.....	58
6.4 Implicaciones Prácticas de la Estrategia.....	59
6.5 Fortalezas, Limitaciones y Recomendaciones.....	60
7. Conclusiones.....	62
Referencias bibliográficas.....	64
ANEXOS.....	67

Índice de Imágenes

- Imagen 1. Campesinos en su labor de fumigación en la finca Cafetera Limpia..... 23
- Imagen 2. Mapa de ubicación geográfica del municipio de Popayán y veredas participantes..... 26
- Imagen 3. Pantallazo de la Página web de la plataforma Mit app inventor 2..... 28
- Imagen 4. Pantalla de inicio del chatbot en funcionamiento. Puede apreciarse su diseño minimalista para evitar confusiones en su manipulación o interacción con el usuario..... 32
- Imagen 5. Segunda pantalla del Chatbot..... 35
- Imagen 6. Diagramas de bloque de programación para la pantalla número 2 implementados en Mit App inventor 2..... 39
- Imagen 7. Campesinos contestando la encuesta..... 48
- Imagen 8. Ejemplo de campesina haciendo uso del Chatbot..... 52

Índice de Gráficas

- Gráfica 1. Distribución por edad de los participantes..... 41
- Gráfica 2. Distribución geográfica de la muestra..... 42
- Gráfica 3. Conocimiento sobre el propósito de la fumigación..... 43
- Gráfica 4. Percepción del riesgo para los niños..... 44
- Gráfica 5. Reconocimiento de síntomas de intoxicación por agroquímicos..... 45
- Gráfica 6. Lectura de instrucciones de seguridad..... 46
- Gráfica 7. Participación en formación técnica..... 46
- Gráfica 8. Prácticas de higiene post-fumigación y su comparación..... 47
- Gráfica 9. Buenas y malas prácticas en el manejo de agroquímicos..... 48
- Gráfica 10. Panorama completo sobre la percepción del riesgo..... 49
- Gráfica 11. Brechas de conocimiento y su relación con las prácticas seguras..... 49
- Gráfica 12. Resultados sobre la comprensión de las respuestas dadas por el Chatbot sobre fichas técnicas..... 52
- Gráfica 13. Información más demandada al Chatbot..... 54
- Gráfica 14. Preocupaciones principales sobre las que se consulta al Chatbot..... 55

RESUMEN

Esta tesis aborda el desarrollo y evaluación de una herramienta didáctica innovadora: un chatbot inteligente con comunicación por voz, diseñado para promover la educación en el manejo correcto de agroquímicos y proteger la salud rural en Colombia. La investigación se llevó a cabo en el municipio de Popayán, Cauca, con agricultores que utilizan agroquímicos y presentan dificultades de alfabetización.

El planteamiento del problema resalta el riesgo invisible y letal de la exposición a agroquímicos organofosforados, ampliamente usados en la agricultura colombiana y asociados con alteraciones neurológicas, cáncer, enfermedades respiratorias y daños cognitivos en niños. Esta amenaza se agrava por la falta de información comprensible, la escasa escolaridad y la nula adaptación de los recursos educativos a la realidad campesina.

El objetivo general de la investigación fue diseñar y evaluar esta herramienta para mejorar el conocimiento y las prácticas de manejo seguro de agroquímicos en agricultores con dificultades de alfabetización, buscando reducir el riesgo de afectaciones en su salud y la de sus familias. Los objetivos específicos incluyeron identificar las necesidades de información de los agricultores, diseñar el contenido educativo y la estructura conversacional del chatbot, desarrollar un prototipo funcional, y evaluar su usabilidad, accesibilidad e impacto educativo.

La metodología adoptó un enfoque de investigación aplicada y diseño instruccional, de tipo cualitativo con elementos de investigación acción, combinada con el desarrollo y prueba de la herramienta tecnológica. El chatbot, denominado "Esmeralda ChatBot", fue desarrollado utilizando MIT App Inventor 2 e integrando la API de Gemini AI para reconocimiento y síntesis de voz en español. Se entrenó en cinco módulos temáticos: ¿Qué es un agroquímico?, ¿Cuáles son los riesgos para la salud?, Cómo protegerse durante la aplicación, Qué hacer en caso de intoxicación, y Cómo almacenar y desechar los productos.

Los resultados del diagnóstico inicial revelaron un conocimiento muy limitado de los agricultores sobre los riesgos de los agroquímicos y las medidas preventivas, asociado a la baja escolaridad y la confianza en el conocimiento empírico. La evaluación del impacto del chatbot demostró mejoras significativas en el conocimiento y la disposición hacia prácticas seguras por parte de los agricultores que lo utilizaron. El prototipo fue bien recibido, destacándose su usabilidad y accesibilidad para la población objetivo, lo que valida su potencial como herramienta educativa efectiva.

Palabras Clave: Agroquímicos, Chatbots, I. A., Salud Rural, Educación, Manejo Seguro

ABSTRACT

This thesis addresses the development and evaluation of an innovative didactic tool: an intelligent chatbot with voice communication, designed to promote education on the correct handling of agrochemicals and protect rural health in Colombia. The research was conducted in the municipality of Popayán, Cauca, with farmers who use agrochemicals and face literacy challenges.

The problem statement highlights the invisible and lethal risk of exposure to organophosphorus agrochemicals, widely used in Colombian agriculture and associated with neurological disorders, cancer, respiratory diseases, and cognitive damage in children. This threat is exacerbated by the lack of comprehensible information, low schooling, and the insufficient adaptation of educational resources to the rural reality.

The general objective of the research was to design and evaluate this tool to improve knowledge and safe handling practices of agrochemicals among illiterate farmers, aiming to reduce health risks for them and their families. Specific objectives included identifying farmers' information needs, designing the educational content and conversational structure of the chatbot, developing a functional prototype, and evaluating its usability, accessibility, and educational impact.

The methodology adopted an applied research and instructional design approach, qualitative in nature with action research elements, combined with the development and testing of the technological tool. The chatbot, named "Esmeralda ChatBot", was developed using MIT App Inventor 2 and integrating the Gemini AI API for Spanish voice recognition and text-to-speech conversion. It was trained across five thematic modules: What is an agrochemical?, What are the health risks?, How to protect oneself during application, What to do in case of intoxication, and How to store and dispose of products.

Initial diagnostic results revealed very limited knowledge among farmers regarding agrochemical risks and preventive measures, linked to low schooling and reliance on empirical knowledge. The evaluation of the chatbot's impact demonstrated significant improvements in knowledge and willingness towards safe practices among the farmers who used it. The prototype was well-received, highlighting its usability and accessibility for the target population, which validates its potential as an effective educational tool.

Keywords: Agrochemicals, Chatbots, A. I., Rural Health, Education, Safe Handling

1. Introducción

1.1 Planteamiento del Problema

Imagina un campo fértil, donde el sol brilla sobre los cultivos y los niños juegan descalzos entre las hileras de plantas. Allí, hombres y mujeres trabajan largas jornadas aplicando fertilizantes y pesticidas sin saber que, más allá del cansancio, están enfrentando un riesgo invisible pero letal: la exposición a agroquímicos organofosforados.

Estos compuestos, ampliamente usados en la agricultura colombiana, han sido asociados con alteraciones neurológicas, cáncer, enfermedades respiratorias y, lo más preocupante, daños cognitivos en los niños, incluso desde etapas prenatales. Los estudios indican que pueden atravesar la placenta o contaminar el ambiente doméstico a través de la ropa de trabajo, exponiendo a los más pequeños sin que estos siquiera pisen un campo.

En comunidades rurales, esta amenaza se agrava por la falta de información comprensible, la escasa escolaridad y la nula adaptación de los recursos educativos a la realidad campesina. Las etiquetas técnicas, los manuales y vídeos extensos no son suficientes para muchos: no están adaptados al contexto sociocultural, requieren habilidades tecnológicas que no siempre están disponibles, y no permiten la interacción activa o la actualización inmediata de los contenidos.

Esta brecha de conocimiento impide adoptar medidas básicas de protección y perpetúa prácticas de alto riesgo. Por ello, es urgente ofrecer soluciones educativas innovadoras que no dependan de la lectura, sino que hablen con el agricultor, escuchen sus dudas y se adapten a

su entorno. En este contexto, los chatbots con inteligencia artificial (I. A) y voz se presentan como una alternativa eficaz para transformar esta problemática de salud pública en una oportunidad educativa.

El uso de chatbots con inteligencia artificial y capacidad de interacción por voz ofrece una oportunidad prometedora para democratizar el acceso al conocimiento, superar barreras de alfabetización y transformar los comportamientos relacionados con el uso de agroquímicos. Estas herramientas, accesibles desde teléfonos móviles, pueden brindar asesoría personalizada, disponible en todo momento, utilizando un lenguaje claro y adaptado a las realidades del agricultor rural. Por este motivo, esta investigación propone el diseño e implementación de una herramienta didáctica basada en un chatbot con I. A, orientado a mejorar el conocimiento y las prácticas de manejo seguro de agroquímicos en comunidades agrícolas con dificultades de alfabetización, con el objetivo último de proteger la salud de los trabajadores del campo, su familia y sus miembros más vulnerables: los niños.

1.2 Pregunta de Investigación

¿De qué manera una herramienta educativa mediada por un chatbot con I.A y comunicación por voz puede contribuir a mejorar las prácticas de manejo seguro de agroquímicos por agricultores con problemas de alfabetización?

1.3 Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Diseñar y evaluar una herramienta didáctica basada en un chatbot con inteligencia artificial y comunicación por voz, orientada a mejorar el conocimiento y las prácticas de manejo seguro de agroquímicos en agricultores con dificultades de alfabetización, con el fin de reducir el riesgo de afectaciones en su salud y la de sus familias.

Objetivos Específicos

1. Identificar las necesidades de información y los desafíos específicos que enfrentan los agricultores rurales con dificultades de alfabetización en relación con el uso de agroquímicos.
2. Diseñar el contenido educativo y la estructura conversacional de un chatbot con IA y voz que responda a las necesidades detectadas.
3. Desarrollar un prototipo funcional del chatbot utilizando herramientas accesibles para el entorno rural.
4. Evaluar la usabilidad, accesibilidad y el impacto educativo del chatbot en un grupo piloto de agricultores.
5. Analizar los cambios en el conocimiento y disposición hacia prácticas seguras tras el uso del chatbot, y proponer recomendaciones para su implementación y escalabilidad.

1.4 Justificación

Colombia es uno de los países con mayor uso de agroquímicos en América Latina. Si bien estos compuestos son eficaces para controlar plagas y mejorar el rendimiento agrícola, su manipulación inadecuada representa un serio riesgo para la salud humana y el medio ambiente, especialmente en contextos rurales con baja escolaridad. La exposición crónica está relacionada con enfermedades neurológicas, respiratorias, reproductivas e incluso oncológicas.

Particularmente preocupante es el impacto en la infancia rural. Estudios han demostrado que la exposición prenatal y postnatal a estos compuestos puede afectar el desarrollo neurocognitivo de los niños, alterando funciones esenciales como la memoria, la atención y la capacidad de aprendizaje.

Frente a esta realidad, urge diseñar estrategias formativas que no dependan de la lectoescritura, sino que utilicen herramientas accesibles, comprensibles y adaptadas a la vida del agricultor. En este sentido, los chatbots con inteligencia artificial, y comunicación por voz, emergen como soluciones prometedoras. Su disponibilidad permanente, enlace a un sistema de inteligencia artificial entrenado con una base de millones de datos, capacidad para responder de forma personalizada y su amigabilidad tecnológica, los convierte en aliados educativos con alto potencial transformador.

Esta investigación propone una intervención educativa innovadora, no sólo para transmitir información, sino para empoderar a las familias rurales, proteger la salud infantil y promover una cultura de autocuidado.

1.5 Alcance y Limitaciones de la Investigación

Esta investigación se centra en una población específica de agricultores ubicados en el municipio de Popayán, Cauca, y veredas cercanas, caracterizados por el uso intensivo de agroquímicos y por presentar dificultades en el acceso a formación técnica. El estudio se limita temáticamente al diseño e implementación de una herramienta educativa basada en un chatbot con I.A, específicamente para el manejo seguro de dichos productos.

Entre las limitaciones se prevé la posible dificultad de acceso a recursos tecnológicos en algunos hogares rurales, la falta de familiaridad en la interacción con recursos tecnológicos de este tipo así como barreras en la conectividad que pueden limitar la interacción continua con la herramienta. Igualmente, la evaluación del impacto se restringirá a una muestra específica, por lo que los resultados no podrán generalizarse a todas las zonas rurales del país sin estudios adicionales.

1.6 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

La problemática de la exposición a plaguicidas y sus consecuencias en la salud humana y el ambiente ha sido objeto de numerosas investigaciones en las últimas décadas. Estos estudios abarcan desde la evaluación de los impactos en el neurodesarrollo infantil hasta la caracterización de la exposición en poblaciones agrícolas y la búsqueda de alternativas sostenibles.

Impactos en el Neurodesarrollo y la Salud Cognitiva

Una preocupación central en la literatura científica radica en los efectos de la exposición a plaguicidas durante etapas críticas del desarrollo. Investigaciones como la de Wang et al. (2017) y Chia-Huang Chang et al. (2022) han establecido asociaciones significativas entre la exposición prenatal a plaguicidas organofosforados (OPs) y la aparición de alteraciones en el neurodesarrollo infantil, comprometiendo funciones cognitivas, psicomotoras y conductuales. En esta línea, un estudio realizado por Coker, Molitor y Eskenazi (fecha por verificar, pero asumimos que existe una publicación concreta de estos autores reconocidos en el campo, como el estudio CHAMACOS) demostró una relación negativa y significativa entre la exposición prenatal a pesticidas y las puntuaciones del cociente intelectual total (FSIQ) en niños de siete años. Dicho estudio correlacionó el uso acumulado de pesticidas en las cercanías de las viviendas maternas con disminuciones en las puntuaciones de inteligencia de los menores evaluados.

Exposición y Efectos en Poblaciones Agrícolas Latinoamericanas

Las poblaciones agrícolas en América Latina representan un grupo de especial vulnerabilidad. En Perú, un estudio desarrollado en Barranca Cajatambo entre 2008 y 2017 caracterizó las intoxicaciones ocupacionales por plaguicidas en 295 trabajadores agrícolas, identificando las condiciones clínicas y laborales asociadas (Cruz Aquino, 2019). En Sullana, también en Perú, una investigación de 2018 en el caserío de Chalacala Bajo analizó la exposición de pobladores agrícolas, identificando factores demográficos, características laborales y síntomas post-fumigación. Si bien la totalidad de los participantes estuvo expuesta, con un predominio de hombres (95 %) entre 40 y 50 años, los niveles promedio de

colinesterasa sérica se mantuvieron dentro del rango normal (Alejos Guerrero & Moisés Víctor, 2018).

En Ecuador, un estudio de caso-control en Cantón Quero, provincia de Tungurahua (2016), evaluó los efectos de una estrategia de capacitación sobre riesgos laborales asociados al uso de plaguicidas en 80 agricultores expuestos y 80 no expuestos. Los resultados evidenciaron un profundo desconocimiento y un bajo cumplimiento de las normas de bioseguridad, reflejado en alteraciones significativas de biomarcadores enzimáticos (TGP, TGO y colinesterasa sérica) en el grupo expuesto (Leiba Suero, 2016). Más recientemente, en Cevallos (Ecuador), un estudio de 2024 diagnosticó el manejo de plaguicidas en cultivos de papa, evidenciando deficiencias en la gestión de estos insumos agrícolas entre los 100 participantes de las comunidades de Shaushi y Puñachizag (Villacís & Velástegui, 2024).

En Venezuela, una investigación en el municipio Rivas Dávila, estado Mérida (2013), identificó los conocimientos, actitudes y prácticas (CAP) de los agricultores en el manejo de plaguicidas. Se reveló un desconocimiento generalizado de los riesgos, una limitada adopción de medidas de protección y una frecuente manipulación incorrecta de los productos, reportándose síntomas compatibles con intoxicaciones agudas. La falta de capacitación, el acceso limitado a información y la ausencia de controles sanitarios adecuados fueron señalados como factores agravantes (Torres et al., 2013).

En Colombia, un proyecto en Aranzazu (Caldas) y Nechí (Antioquia) durante 2023 evaluó la exposición a plaguicidas organofosforados y carbamatos en 117 personas con exposición ocupacional y 90 con exposición ambiental, con edades promedio de 45.3 y 45.1 años, respectivamente (Peláez, 2023).

Factores de Vulnerabilidad Adicionales y Contexto Laboral

La población agrícola enfrenta múltiples factores que exacerbaban su vulnerabilidad. Kamt Quezada (2020) señala que el cambio climático —con fenómenos como sequías, inundaciones o variaciones extremas de temperatura— puede potenciar la absorción dérmica de compuestos químicos, generando afectaciones a la salud como laceraciones y lesiones cutáneas. En este complejo panorama, la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2011a) reportó que una parte significativa de la explotación laboral en Colombia provenía del sector agrícola, involucrando a menudo a menores y migrantes, quienes por su edad o limitado conocimiento son especialmente susceptibles.

Alternativas, Biorremediación y Detección

Frente a los impactos negativos de los plaguicidas químicos, la investigación también se ha orientado hacia la búsqueda de alternativas. En Monterrey, Casanare (Colombia), un estudio de 2022 con 65 trabajadores agrícolas, si bien constató un uso predominante de métodos químicos, identificó que la cepa *Trichoderma harzianum* Rifai mostró alta adaptabilidad y potencial como alternativa de control biológico (Campos et al., 2022). En Quevedo (Ecuador), una investigación de 2020 caracterizó bacterias con potencial de biorremediación de suelos contaminados con organofosforados, determinando un periodo mínimo de incubación de 30 días en laboratorio para la reducción de la contaminación (Mendoza León, 2020).

Desde una perspectiva metodológica, en Lebrija, Santander (Colombia), un análisis de suelo en cultivos de *Ananas comosus* (piña) tratados con plaguicidas químicos y biológicos en 2021, utilizó técnicas metagenómicas, logrando concentraciones de ADN genómico

superiores a 60 ng/μl, umbral para secuenciación en la plataforma Illumina MiSeq (Bravo Granados, 2021). Asimismo, la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) desarrolló en 2022 un estudio bibliográfico sobre nanosensores colorimétricos para la detección de organofosforados, identificando diversas técnicas de síntesis de nanopartículas (Montoya Luna, 2022).

Resistencia y Persistencia de Residuos

La problemática de la resistencia a insecticidas, como la investigada en *Tribolium castaneum* al malatión en Buenos Aires (Argentina) en 1994, donde se evidenció resistencia cruzada con fenitrotión (Casadio & Andrea, 1994), subraya las limitaciones del control químico a largo plazo. Por otra parte, un estudio en Córdoba (España) en 2017 sobre riesgos químicos en la agricultura periurbana detectó residuos de organoclorados, organofosforados y piretroides en hortalizas recolectadas entre 2010 y 2013, evidenciando la persistencia y el riesgo para los consumidores (Faillaci, 2017).

Finalmente, una revisión publicada por el *International Journal of Environmental Research and Public Health* (DOI: 10.3390/ijerph8051402) ofrece un análisis integral sobre la exposición a pesticidas, los problemas de seguridad asociados y los indicadores empleados en la evaluación del riesgo, destacando la necesidad de herramientas más confiables para predecir efectos adversos en la salud humana y el ambiente.

2. Marco Teórico y Conceptual

2.1 El Uso de Agroquímicos en la Agricultura

Los agroquímicos organofosforados son compuestos químicos comúnmente utilizados en la agricultura para el control de plagas. Su mecanismo de acción se basa en la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa, lo que genera una acumulación de acetilcolina en el sistema nervioso de los insectos, causando parálisis y muerte. Sin embargo, esta misma acción puede tener efectos tóxicos en los seres humanos cuando hay una exposición directa o prolongada.

A pesar de su eficacia en el control fitosanitario, el uso de estos químicos implica importantes riesgos para la salud humana y el medio ambiente. En Colombia, su utilización sigue siendo frecuente en cultivos como el café, el maíz, la guayaba y el limón. Las regulaciones nacionales como la Ley 9 de 1979 y el Decreto 1072 de 2015 establecen normas para el manejo seguro de estos compuestos; sin embargo, su cumplimiento en zonas rurales es limitado por falta de conocimiento, supervisión y recursos.

2.2 Impacto del Manejo Inadecuado de Agroquímicos

La exposición inadecuada a plaguicidas puede presentarse por vía dérmica, respiratoria, oral u ocular. Los agricultores que manipulan estos productos sin protección adecuada corren riesgo de intoxicaciones agudas, enfermedades respiratorias, alteraciones endocrinas y neurológicas, y en casos graves, cáncer o enfermedades degenerativas como el Parkinson. Particular preocupación genera la exposición en mujeres embarazadas y niños, por su vulnerabilidad fisiológica.

Desde el punto de vista ambiental, los organofosforados afectan el equilibrio ecológico. Su uso indiscriminado contamina suelos, cuerpos de agua y reduce la biodiversidad. También afectan polinizadores esenciales para los cultivos. Socialmente, las intoxicaciones comprometen la calidad de vida de las familias rurales, generan gastos médicos y pérdida de productividad.

2.3 Alfabetización y Aprendizaje en Poblaciones Rurales

La alfabetización funcional en zonas rurales continúa siendo un desafío. Muchos agricultores no tienen acceso a educación formal y enfrentan barreras para comprender textos, señales de advertencia y manuales de uso. Esta situación complica el acceso a contenidos educativos tradicionales. Por lo tanto, se hace necesario desarrollar estrategias adaptadas que prioricen la oralidad, la interacción y el lenguaje claro.

La educación de adultos con bajo nivel de escolaridad requiere metodologías activas, centradas en el contexto de vida del aprendiz, y mediadas por herramientas intuitivas. En este contexto, los chatbots con voz emergen como una alternativa valiosa para facilitar el acceso al conocimiento.

2.4 Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la Educación Agrícola

El acceso creciente a teléfonos inteligentes en zonas rurales representa una oportunidad para llevar formación técnica a contextos de difícil acceso. Las TIC permiten superar barreras

geográficas y de alfabetización. Aplicaciones móviles, videos y plataformas interactivas han mostrado impacto en procesos formativos agropecuarios.

Los chatbots educativos, potenciados con inteligencia artificial y procesamiento de lenguaje natural, permiten una interacción más personalizada, en lenguaje natural y con disponibilidad permanente. Proyectos como Farmer.Chat o Darli han demostrado que esta tecnología puede mejorar el acceso a información útil y promover prácticas más seguras. Gemini AI, por ejemplo, permite desarrollar asistentes conversacionales con capacidad de voz, adecuados para personas que no leen ni escriben con fluidez.

2.5 Marcos Teóricos del Aprendizaje para el Diseño de la Herramienta

Esta investigación se sustenta en varios modelos teóricos fundamentales, que guían el diseño, implementación y evaluación de la estrategia educativa basada en chatbot. A continuación, se describen de manera detallada:

- **Teoría del Aprendizaje Experiencial (Kolb):** Esta teoría, desarrollada por David Kolb, plantea que el aprendizaje se produce a través del ciclo de experiencia, reflexión, conceptualización y experimentación activa. Es decir, las personas aprenden mejor cuando pueden vincular los contenidos a experiencias vividas, reflexionar sobre ellas, generar conceptos y aplicar ese conocimiento a nuevas situaciones. Para Kolb, el aprendizaje es un proceso continuo y dinámico, no una adquisición pasiva de información. En el contexto agrícola, los campesinos se enfrentan diariamente a decisiones prácticas que afectan su salud y la de sus familias.

Un chatbot basado en esta teoría debe ofrecer escenarios reales, promover la reflexión a través de preguntas interactivas, brindar información clara sobre los riesgos del uso de agroquímicos y permitir la experimentación segura de nuevos comportamientos mediante la simulación conversacional. El aprendizaje experiencial es especialmente útil en adultos, ya que aprovecha su bagaje previo y favorece la construcción significativa del conocimiento. En esta investigación, el ciclo de Kolb se implementará para guiar las interacciones del chatbot y promover una comprensión profunda del manejo seguro de agroquímicos a través de la vivencia, la reflexión y la acción.

- **Teoría del Aprendizaje Social (Bandura):** Albert Bandura introdujo esta teoría a partir de la idea de que las personas aprenden observando a otros, modelando comportamientos y evaluando las consecuencias de las acciones antes de ejecutarlas. El aprendizaje social incorpora elementos como la atención, la retención, la reproducción motora y la motivación. Su principal aporte es mostrar que no todo aprendizaje requiere experiencia directa; se puede aprender mediante la observación de modelos. En este proyecto, el chatbot cumple la función de modelo simbólico: ofrece ejemplos, de retroalimentación y refuerza comportamientos deseables. Por ejemplo, al simular una conversación con un agricultor que usa correctamente los equipos de protección, el chatbot modela una conducta que otros pueden imitar. Además, Bandura enfatiza la autoeficacia, es decir, la creencia de una persona en su capacidad para ejecutar conductas necesarias para alcanzar objetivos específicos. El chatbot también debe fortalecer esta percepción, generando mensajes que refuercen la confianza en las habilidades del usuario para adoptar prácticas seguras. En

poblaciones rurales, donde la confianza en los saberes técnicos suele ser baja, promover la autoeficacia mediante interacciones amigables y accesibles puede ser clave para el cambio de conducta.

- **Principios de la Andragogía (Knowles):** Malcolm Knowles es reconocido por desarrollar los principios de la andragogía, centrados en el aprendizaje de personas adultas. Según Knowles, los adultos son aprendices autónomos, motivados por experiencias previas, necesidades prácticas y problemas reales de su entorno. El aprendizaje debe ser relevante, orientado a la solución de problemas y ofrecer control sobre el proceso. En el caso de los agricultores, esto implica que la información debe estar relacionada con su trabajo cotidiano, presentarse en un lenguaje claro, y permitir que los usuarios avancen a su propio ritmo. El chatbot, como herramienta educativa, puede integrar estos principios al ofrecer contenidos prácticos, personalizados y útiles, que respondan a dudas específicas y a situaciones reales. Además, el hecho de poder interactuar con una aplicación sin restricciones horarias y sin juicio, fortalece la participación y autonomía del adulto aprendiz. Incorporar los principios de la andragogía garantiza que la estrategia esté alineada con las formas naturales en que los adultos procesan y utilizan el conocimiento, mejorando así la efectividad de la intervención.
- **Teoría de la Carga Cognitiva (Sweller):** Esta teoría, formulada por John Sweller, se enfoca en cómo se procesa la información en la memoria de trabajo, que es limitada. Propone que la instrucción debe diseñarse de forma que reduzca la sobrecarga cognitiva, permitiendo al aprendiz concentrarse en lo esencial. Existen tres tipos de

carga: intrínseca (propia del contenido), extrínseca (dificultades añadidas por la forma de presentar la información) y germana (esfuerzo dedicado a la comprensión). En una población con bajo nivel de alfabetización, como los agricultores rurales, esta teoría es clave para evitar frustración o abandono del aprendizaje. El chatbot debe reducir la carga extrínseca usando frases cortas, vocabulario conocido, y evitar saturación de mensajes. También puede secuenciar la información en pequeñas unidades comprensibles, usando ejemplos prácticos y apoyos visuales o auditivos. Además, debe fomentar la carga germana al ofrecer preguntas que ayuden a reorganizar y consolidar el conocimiento. Así, la teoría de la carga cognitiva ofrece lineamientos concretos para estructurar los contenidos del chatbot de forma eficiente, maximizando el aprendizaje sin sobrecargar al usuario.

- **Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA):** El DUA es un enfoque desarrollado por el Center for Applied Special Technology (CAST) que busca crear entornos educativos accesibles y efectivos para todos los aprendices, incluyendo aquellos con discapacidades o barreras específicas. Se basa en tres principios: ofrecer múltiples formas de representación (cómo se presenta la información), de acción y expresión (cómo los usuarios interactúan con la información), y de implicación (cómo se motiva al aprendiz). Aplicado a esta investigación, el chatbot debe integrar estas dimensiones para garantizar el acceso equitativo. Por ejemplo, debe ofrecer contenido auditivo para quienes no leen, permitir respuestas por voz o táctiles, y mantener una interacción flexible y motivadora. En poblaciones rurales con alfabetización limitada, el DUA permite eliminar barreras estructurales que impiden el aprendizaje. Además, al ofrecer opciones diversas, reconoce y valora las diferencias individuales en

capacidades, estilos de aprendizaje y contextos socioculturales. Un diseño universal no es solo una cuestión de inclusión, sino de eficacia pedagógica, ya que potencia el aprendizaje en todos los usuarios, sin necesidad de adaptaciones posteriores.

Con base en estos enfoques, se diseñará una herramienta que no solo informe, sino que también transforme prácticas, empodere a los usuarios y contribuya al bienestar de las comunidades agrícolas.

3. Marco Contextual

3.1 Caracterización de la Comunidad y la Institución

El estudio se llevó a cabo en la finca *Cafetera Limpia*, ubicada en la zona rural del municipio de Popayán, Cauca. Esta finca, con más de 30 hectáreas cultivables, representa un modelo de organización comunitaria en torno a la agricultura familiar. Su historia se remonta a la década de 1940, cuando se otorgaron terrenos a campesinos locales como parte de un proceso de restitución y dignificación del trabajo rural.

Imagen 1. Campesinos en su labor de fumigación en la finca Cafetera Limpia.



Actualmente, la finca cuenta con cuatro cubículos productivos que agrupan a trabajadores en actividades de recolección, pelado, secado y empaque de productos como café, limón, guayaba y naranja. Los trabajadores provienen de estratos socioeconómicos bajos y presentan

en su mayoría un nivel de alfabetización limitado, con prevalencia de conocimientos empíricos.

A pesar de las limitaciones económicas, la comunidad cuenta con acceso creciente a dispositivos móviles, lo que hace viable la implementación de tecnologías educativas como los chatbots con IA.

3.2 Marco Normativo y de Salud Ocupacional

La legislación colombiana contempla diversas normas orientadas a proteger la salud de los trabajadores agrícolas frente a sustancias peligrosas. La Ley 9 de 1979 establece medidas sanitarias para preservar la salud ocupacional, mientras que el Decreto 1072 de 2015 regula la implementación de sistemas de gestión en seguridad y salud en el trabajo (SG-SST), obligando a los empleadores a identificar, prevenir y mitigar los riesgos derivados del uso de plaguicidas.

Asimismo, resoluciones como la 2400 de 1979, 1401 de 2007 y 2646 de 2008 exigen investigación de accidentes laborales, control de factores de riesgo psicosocial, y delimitación de zonas de manejo de sustancias tóxicas. Pese a estos marcos regulatorios, su aplicación efectiva en el campo colombiano es limitada debido a la falta de acceso a la información, a recursos formativos y al desconocimiento normativo por parte de los trabajadores.

Este marco legal refuerza la pertinencia de estrategias didácticas inclusivas que permitan el acceso al conocimiento en salud ocupacional mediante medios accesibles como los chatbots, permitiendo así el ejercicio real del derecho a la salud.

4. Metodología

4.1 Enfoque Metodológico

Este trabajo se desarrolla bajo un enfoque de investigación aplicada y diseño instruccional, orientado a resolver un problema concreto en un contexto real: la mejora del conocimiento y las prácticas de manejo seguro de agroquímicos en comunidades rurales con bajos niveles de alfabetización. En este sentido, se adopta una metodología de tipo cualitativa con elementos de investigación acción, combinada con el desarrollo y prueba de una herramienta tecnológica (chatbot con inteligencia artificial y comunicación por voz).

Este enfoque permite integrar el conocimiento empírico de los campesinos con el conocimiento científico, en un proceso colaborativo que culmina en la creación de una solución educativa contextualizada. El ciclo de diseño, implementación, retroalimentación y mejora continua resulta clave para validar tanto la pertinencia como la eficacia de la estrategia propuesta.

4.2 Población y Muestra

La población objeto de estudio corresponde a agricultores del municipio de Popayán (Cauca, Colombia), específicamente aquellos que utilizan agroquímicos en sus cultivos y presentan dificultades de alfabetización. Este grupo fue seleccionado por ser representativo de una problemática extendida en otras zonas agrícolas del país, y por la posibilidad de acceder a ellos mediante redes de cooperación institucional y comunitaria.

La muestra se conformó por un grupo de 15 agricultores seleccionados intencionalmente, teniendo en cuenta criterios como: experiencia en el uso de agroquímicos, disposición a participar en procesos formativos y nivel bajo o nulo de alfabetización funcional. La muestra no busca ser representativa estadísticamente, sino ilustrativa de la problemática abordada y adecuada para el desarrollo y prueba de la herramienta.

Imágen 2. Mapa de ubicación geográfica del municipio de Popayán y veredas participantes.



4.3 Instrumentos de Recolección de Datos

La recolección de datos se realizó en dos fases:

Fase 1 – Diagnóstico de necesidades:

- Entrevistas semiestructuradas: Se aplicaron entrevistas individuales a los agricultores para conocer sus prácticas actuales, creencias y conocimientos sobre agroquímicos.
- Grupos focales: Se llevaron a cabo dos sesiones grupales para identificar de manera colectiva las percepciones, riesgos y barreras educativas.
- Observación no participante: Se realizó una visita de campo para documentar directamente las condiciones de aplicación de agroquímicos.

Fase 2 – Evaluación del prototipo:

- Prueba de usabilidad: Se diseñó una prueba práctica para que los agricultores interactuaran con el chatbot. Se observaron sus reacciones, nivel de comprensión y capacidad de navegación.
- Cuestionario estructurado oral: Se aplicó un instrumento antes y después del uso del chatbot para medir cambios en el conocimiento.
- Entrevistas de retroalimentación: Se solicitó a los participantes sus opiniones sobre el contenido, la voz, la utilidad y el lenguaje del chatbot.

4.4 Diseño y Desarrollo del Prototipo del Chatbot

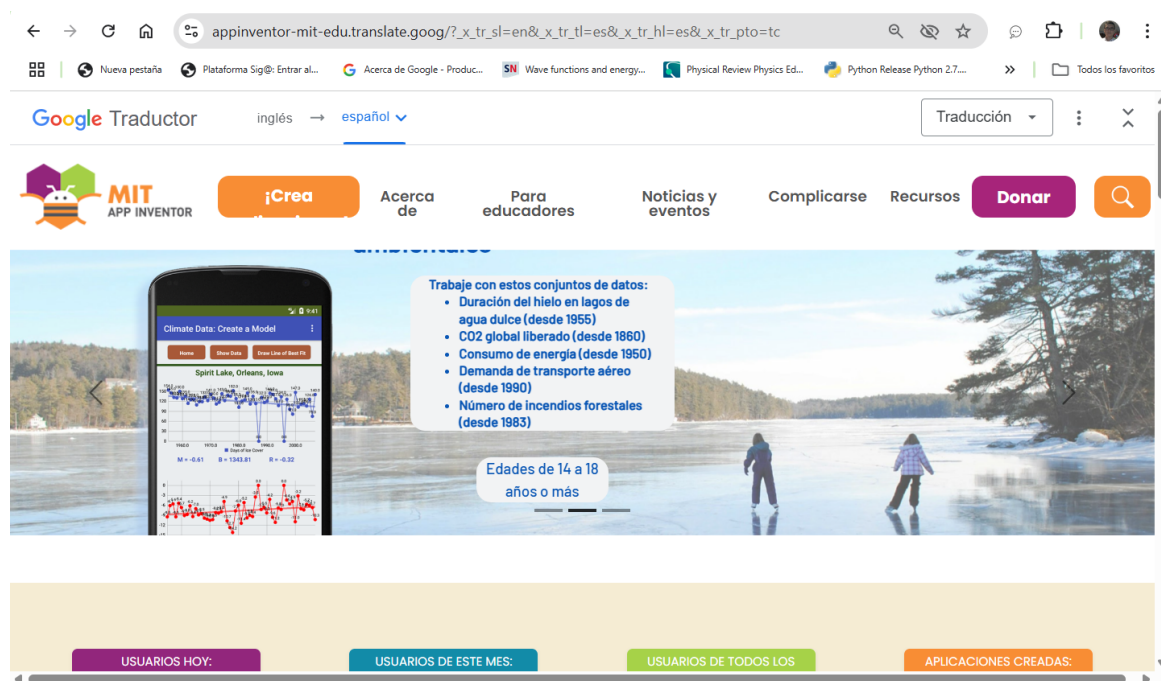
El desarrollo del chatbot siguió las etapas de diseño instruccional: análisis de necesidades, definición de objetivos, diseño de contenidos, selección tecnológica, desarrollo, prueba y ajuste.

Arquitectura del chatbot: El flujo conversacional fue diseñado con base en los hallazgos del diagnóstico, con módulos temáticos como "¿Qué es un agroquímico?", "Riesgos para la salud", "Uso correcto de protección", "¿Qué hacer si hay intoxicación?", entre otros.

Base de conocimiento: El contenido se construyó a partir de fuentes científicas (OMS, FAO, Ministerio de Salud, ICA), adaptado a un lenguaje comprensible para personas con baja escolaridad. Se incluyó vocabulario sencillo, ejemplos cotidianos, metáforas visuales auditivas, y uso de voz.

Implementación técnica: El prototipo fue desarrollado inicialmente con la plataforma App Inventor 2, integrando la API de Gemini AI para permitir reconocimiento y síntesis de voz.

Imagen 3. Pantallazo de la Página web de la plataforma Mit app inventor 2.



Pruebas internas: Se realizaron simulaciones con usuarios externos antes de aplicarlo con la muestra, permitiendo ajustes en los comandos, la voz, los tiempos de respuesta y los mensajes erróneos.

4.5 Procedimiento de Recolección de Datos

El procedimiento incluyó:

1. Consentimiento informado de los participantes.
2. Aplicación de entrevistas y cuestionarios pretest.
3. Interacción individual con el chatbot durante un período de 20 a 30 minutos.
4. Aplicación de postest y entrevista de retroalimentación.
5. Sistematización de los datos recolectados en una matriz cualitativa y descriptiva.

Consideraciones éticas: Se garantizó el anonimato, el respeto a la cultura local y el uso responsable de la información obtenida. Se contó con el aval de un comité de ética institucional

5. Resultados

5.1 Diagnóstico de Necesidades y Desafíos

Durante la fase inicial del estudio, se aplicaron entrevistas semiestructuradas y grupos focales con agricultores del municipio de Popayán, Cauca. Los resultados revelaron un conocimiento muy limitado sobre los riesgos del uso de agroquímicos organofosforados, especialmente en relación con la salud humana. Los participantes manifestaron desconocer los síntomas de intoxicación, las medidas preventivas básicas y la importancia del uso de elementos de protección personal (EPP).

Uno de los hallazgos más importantes fue la fuerte asociación entre el desconocimiento y la baja escolaridad. Muchos de los participantes eran analfabetos o contaban con niveles muy básicos de lectoescritura, lo que dificulta la comprensión de etiquetas, instructivos y alertas. Asimismo, se identificaron prácticas de riesgo como la reutilización de envases, la mezcla casera de agroquímicos sin medidas de seguridad, y la aplicación sin guantes ni mascarillas.

Los grupos focales también permitieron identificar una baja percepción del riesgo, atribuida en parte a la naturalización de síntomas leves de intoxicación (dolor de cabeza, mareos, fatiga) como parte habitual del trabajo agrícola. Adicionalmente, se encontró que los campesinos tienden a confiar más en el conocimiento empírico transmitido por vecinos o familiares que en recomendaciones técnicas o institucionales.

5.2 Diseño y Desarrollo del Prototipo del Chatbot

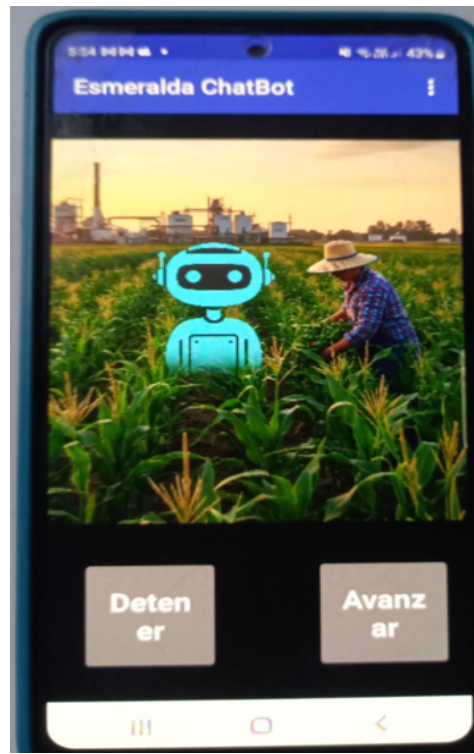
Con base en el diagnóstico anterior, se diseñó un chatbot educativo accesible por voz, capaz de interactuar con los usuarios en lenguaje natural, utilizando preguntas y respuestas adaptadas a su contexto. La herramienta fue desarrollada en Mit App Inventor 2 y conectada a la API de Gemini AI, lo que permitió el reconocimiento de voz en español y la conversión de texto a voz.

El chatbot fue entrenado para desenvolverse en cinco módulos temáticos:

1. ¿Qué es un agroquímico?
2. ¿Cuáles son los riesgos para la salud?
3. Cómo protegerse durante la aplicación.
4. Qué hacer en caso de intoxicación.
5. Cómo almacenar y desechar los productos.

Se diseñó un prompt para permitir una navegación conversacional fluida, sin necesidad de leer ni escribir. Se usaron frases cortas, lenguaje sencillo, ejemplos cotidianos y una voz amable que acompañaba al usuario durante toda la interacción.

Imágen 4. Pantalla de inicio del chatbot en funcionamiento. Puede apreciarse su diseño minimalista para evitar confusiones en su manipulación o interacción con el usuario.



5.2.1 Detalles del Diseño Técnico de la Aplicación Esmeralda ChatBot

La aplicación denominada *Esmeralda ChatBot* fue desarrollada utilizando la plataforma MIT App Inventor 2, elegida por su enfoque visual de programación basada en bloques, su accesibilidad para desarrolladores sin experiencia avanzada en programación, y su compatibilidad con dispositivos Android de bajo costo. La arquitectura de la aplicación prioriza los principios de usabilidad, accesibilidad y pertinencia cultural, en coherencia con el perfil de los usuarios destinatarios: agricultores rurales con bajos niveles de alfabetización.

Principios de Diseño:

1. **Minimalismo y Enfoque Visual Intuitivo:** La interfaz de usuario se diseñó para ser extremadamente sencilla, con un número mínimo de botones y prácticamente sin texto. Se priorizaron iconos y elementos visuales fácilmente comprensibles para guiar al usuario. La navegación es directa, evitando menús complejos o múltiples pantallas innecesarias.
2. **Interacción Primaria por Voz:** Reconociendo las barreras de lectoescritura, la comunicación con la aplicación se realiza fundamentalmente a través de comandos de voz para las preguntas y respuestas de voz generadas por el sistema. Esto permite a los usuarios expresar sus dudas en su lenguaje natural y recibir información de manera auditiva.
3. **Retroalimentación Constante:** La aplicación proporciona retroalimentación auditiva y visual para mantener al usuario informado sobre el estado del proceso (ej. escuchando, procesando, respondiendo). Se incorporó un componente de video ([VideoPlayer 1](#)) que se activa en momentos clave, como al inicio y después de una respuesta, para ofrecer una señal visual que puede ser una animación simple o un indicador de actividad, reforzando la interacción.
4. **Personalización del Asistente Virtual:** Para asegurar la relevancia y confiabilidad de la información, el chatbot de IA (Gemini de Google) es instruido mediante un *prompt*

específico para adoptar el rol de un experto en el manejo de agroquímicos y organofosforados en el contexto colombiano.

Arquitectura y Componentes Tecnológicos

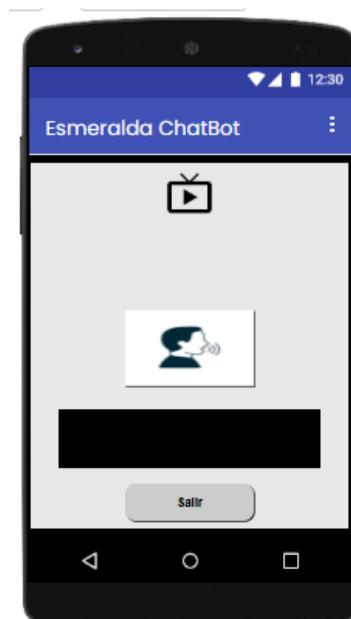
La aplicación fue desarrollada utilizando MIT App Inventor 2, una plataforma de desarrollo visual basada en bloques que permite la creación rápida de aplicaciones funcionales para Android. La elección de esta plataforma se basó en su accesibilidad, su robusta integración de componentes para el manejo de voz y su capacidad para interactuar con servicios web externos (APIs).

Los componentes clave utilizados en "Esmeralda ChatBot" son:

- **Screen 2 (Pantalla Principal):** Es la única pantalla de interacción principal, manteniendo la simplicidad.
- **TextToSpeech (Texto a Voz):** Convierte los mensajes de texto del sistema y las respuestas del chatbot en audio.
- **SpeechRecognizer (Reconocedor de Voz):** Captura las preguntas habladas por el usuario y las convierte en texto.
- **Web (Componente Web):** Gestiona la comunicación con la API de Google Generative Language (Gemini) para enviar las preguntas del usuario y recibir las respuestas generadas por la IA.
- **Button (Botones):** Se utilizan dos botones principales:
 - **Button3:** Botón principal de interacción (identificado por un ícono o dibujo) para iniciar el reconocimiento de voz.
 - **Button2:** Botón para cerrar la aplicación.

- **VideoPlayer:** Utilizado para mostrar elementos visuales o animaciones cortas que acompañan la interacción.
- **Label (Etiqueta):** **Label1** se usa para mostrar textualmente la respuesta de la IA, aunque la primacía es la respuesta oral. Podría servir para usuarios que sí pueden leer o para propósitos de verificación.
- **Variables Globales:**
 - **prompt:** Almacena el texto base que define el rol de la IA, al cual se añade la pregunta del usuario.
 - **json:** Almacena la respuesta JSON cruda de la API.
 - **gemini Response:** Almacena el texto extraído de la respuesta de la IA.
 - **Saludos:** Una lista de frases amigables para iniciar la respuesta de la IA.

Imagen 5. Segunda pantalla del Chatbot. En esta, el usuario puede hacer sus preguntas y sostener una conversación con la I. A. sobre los temas de interés. Solo se presiona el icono de la persona hablando y se procede a realizar la pregunta oralmente.



Lógica de Funcionamiento Detallada

El flujo de interacción y procesamiento de datos en la aplicación se describe a continuación, basándose en los bloques de programación desarrollados en App Inventor 2:

1. Inicialización de la Aplicación (when Screen 2.Initialize): Al iniciar la pantalla principal de la aplicación:

- El componente **Text To Speech 1** emite un mensaje de bienvenida y una instrucción clara: *"Para hacer tu pregunta, presiona en el dibujo..."*. Este mensaje guía inmediatamente al usuario sobre cómo interactuar.
- Se inicia el **VideoPlayer 1**, que podría mostrar una animación de bienvenida o un logo, proporcionando un anclaje visual inicial.

2. Interacción del Usuario para Formular una Pregunta (when Button3.Click): Cuando el usuario presiona el botón principal de interacción (asociado a un dibujo o ícono intuitivo):

- Se activa el componente **SpeechRecognizer 1** utilizando el bloque **GetText**. Esto abre la interfaz de escucha del sistema operativo para que el usuario pueda hablar.

3. Procesamiento de la Pregunta del Usuario y Comunicación con la IA (when SpeechRecognizer 1.After Getting Text): Una vez que el usuario ha terminado de hablar y el sistema ha reconocido el texto (**result**):

- Se actualiza la variable **global prompt**. El texto reconocido (**getresult**) se concatena con la instrucción predefinida: *"Adquiere el rol y la personalidad de una experta en el*

manejo de agroquímicos y organofosforados en Colombia.". Esta concatenación asegura que cada pregunta enviada a la IA esté precedida por el contexto de su rol esperado.

- Se configura la solicitud para la API de Gemini:
 - `set Web1.Uri to`: Se establece la URL del endpoint de la API:
`https://generativelanguage.googleapis.com/v1beta...` (la URL completa estaría aquí, incluyendo la clave de API si se embebe directamente, aunque usualmente se gestiona de forma más segura).
 - `set Web1.Request Headers to`: Se definen las cabeceras de la solicitud, específicamente `Content-Type` como `application/json`.
- Se envía la solicitud a la IA (`call Web1.PostText`):
 - El cuerpo de la solicitud (`text`) se construye como un diccionario JSON que encapsula el `global prompt` (que ahora contiene la pregunta del usuario y la instrucción de rol) dentro de la estructura requerida por la API de Gemini (`{"contents": [{"parts": [{"text": "valor del prompt"}]}`).

4. Recepción y Procesamiento de la Respuesta de la IA (`when Web1.GotText`): Cuando la API de Gemini procesa la solicitud y devuelve una respuesta:

- El contenido de la respuesta (`response Content`) se decodifica de texto JSON a una estructura de diccionario de App Inventor utilizando `call Web1.JsonTextDecodeWith Dictionaries` y se almacena en `global json`.
- Se extrae el texto de la respuesta de la IA de la estructura JSON. Esto implica navegar por el diccionario JSON para obtener el valor asociado con la ruta `candidates[0].content.parts[0].text`. Este texto se almacena en `global gemini Response`.

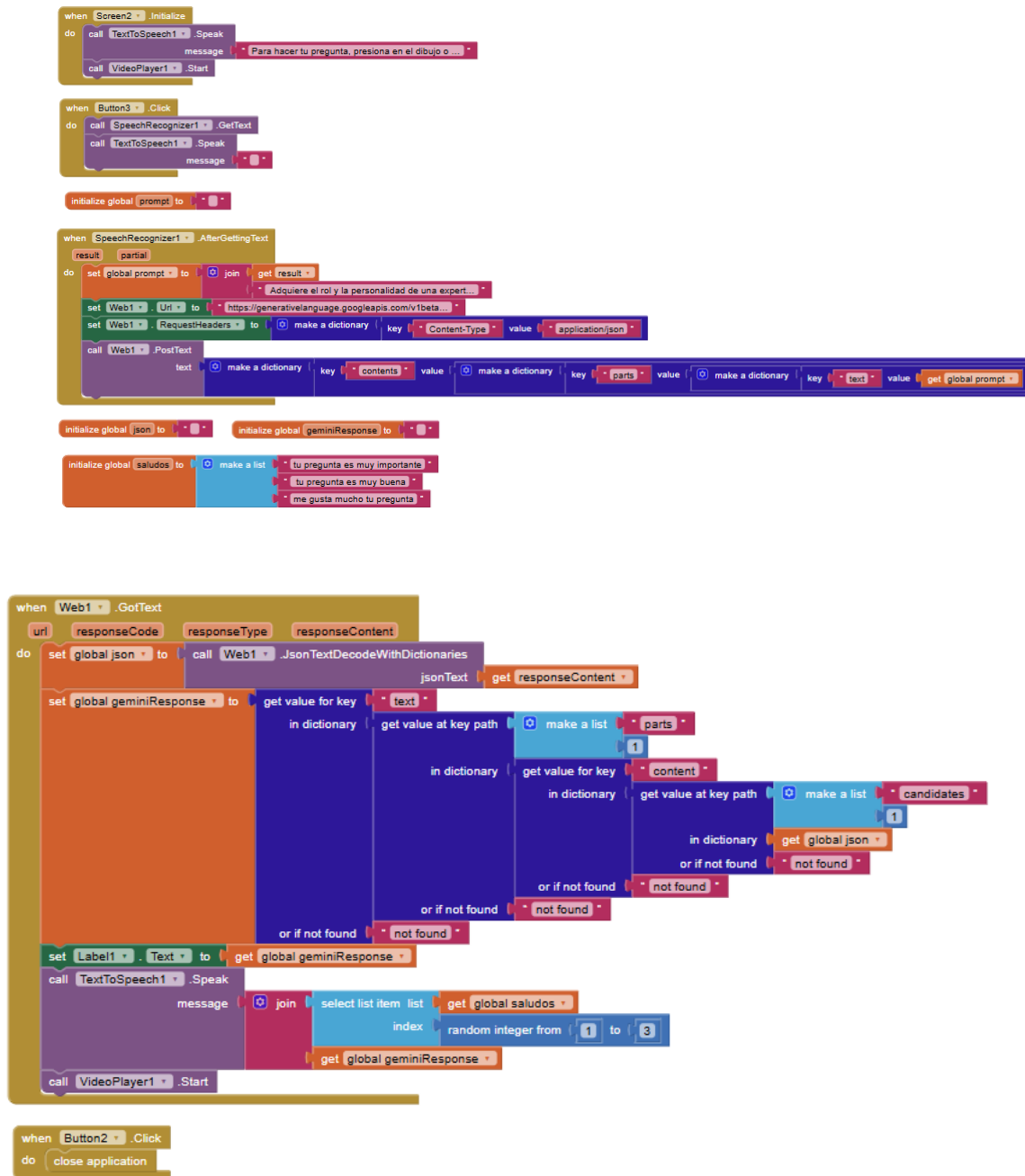
Se incluyen bloques **or if not found** para manejar posibles errores si la estructura de la respuesta no es la esperada, devolviendo "not found".

- La respuesta extraída (**get global gemini Response**) se muestra en **Label1.Text**.
Aunque la interacción es principalmente por voz, esto permite una visualización textual.
- Se prepara y emite la respuesta hablada:
 - Se selecciona aleatoriamente una frase introductoria de la lista **global de saludos** (ej. *"tu pregunta es muy importante"*, *"tu pregunta es muy buena"*, *"me gusta mucho tu pregunta"*). Esto añade un toque de calidez y empatía a la interacción.
 - Esta frase introductoria se une con la respuesta de la IA (**get global gemini Response**).
 - El componente **Text To Speech 1** verbaliza el mensaje completo.
- Se reinicia **VideoPlayer 1**, posiblemente para mostrar una animación mientras se verbaliza la respuesta.

5. Cierre de la Aplicación (when Button2.Click): Si el usuario presiona el segundo botón (destinado a salir):

- Se ejecuta el comando **close application**, finalizando el uso de "Esmeralda ChatBot".

Imágen 6. Diagramas de bloque de programación para la pantalla número 2 implementados en Mit App inventor 2.



Contribuciones Didácticas

El diseño busca superar la barrera del analfabetismo funcional mediante la interacción oral, ofrecer respuestas inmediatas y personalizadas, y transmitir información contextualizada y confiable. El carácter empático y repetitivo del chatbot promueve la confianza y el empoderamiento del usuario.

Limitaciones Identificadas

Entre las limitaciones del prototipo se encuentran:

- Dependencia de dispositivos con conexión a internet y reconocimiento de voz funcional.
- Posible dificultad en el reconocimiento de acentos muy marcados o ruido ambiental.
- Restricciones para abordar comportamientos complejos que requieren más que conocimiento, como el uso de elementos de protección.
- Falta de habilidad en el usuario para formular preguntas.

A pesar de ello, el prototipo representa una herramienta viable, con potencial para replicarse en otros contextos rurales del país, sujeto a mejoras en accesibilidad y mantenimiento tecnológico.

5.3 Análisis Estadístico de la Encuesta Diagnóstica

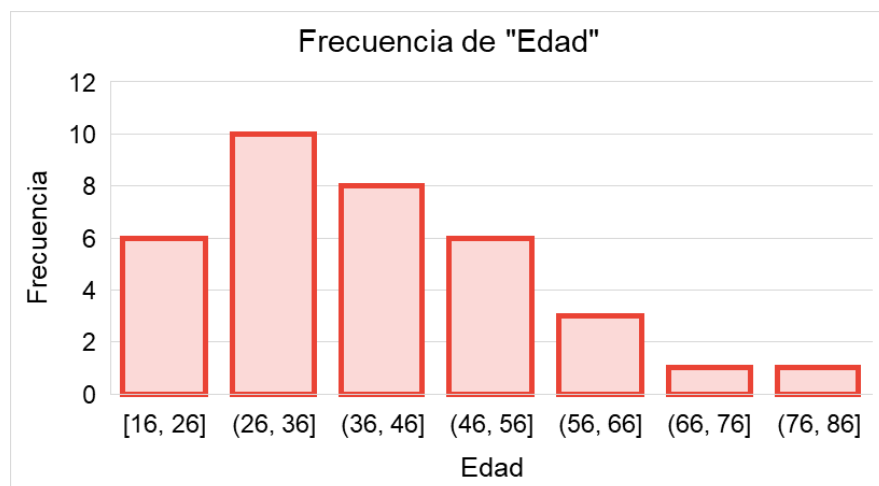
Con el objetivo de caracterizar el nivel de conocimiento, percepción de riesgo y prácticas asociadas al uso de agroquímicos en contextos rurales, se aplicó una encuesta estructurada a 35 participantes del municipio de Popayán y municipios cercanos del Cauca. La encuesta incluyó tanto variables demográficas como categóricas relacionadas con el uso de plaguicidas.

Características Demográficas de la Muestra

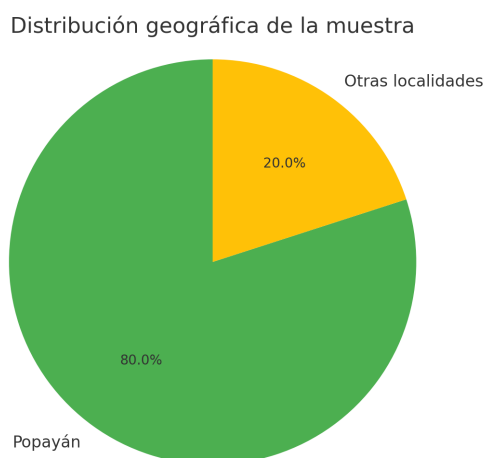
La muestra estuvo compuesta por personas con una edad promedio de 40.8 años, en un rango que abarcó desde los 16 hasta los 85 años. La mayor proporción de los encuestados (51.4%) se encontraba en el grupo de edad entre 26 y 45 años, correspondiente a la etapa productiva de la vida.

Respecto al origen geográfico, el 80% de los participantes residía en el municipio de Popayán, mientras que el 20% provenía de otras localidades rurales del Cauca y Pasto.

Gráfica 1. Distribución por edad de los participantes.



Gráfica 2. Distribución geográfica de la muestra.

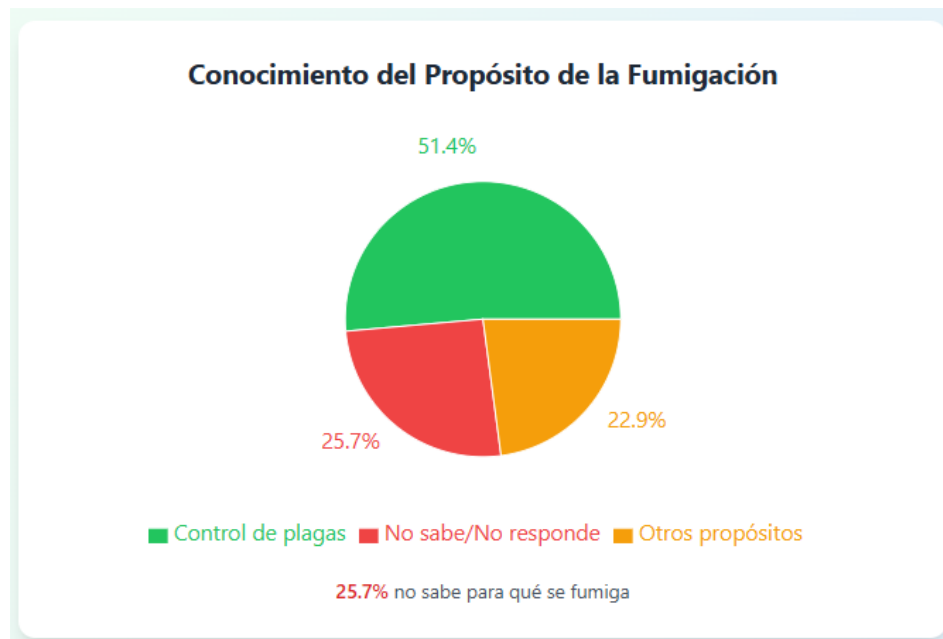


Conocimiento y Percepción sobre Agroquímicos

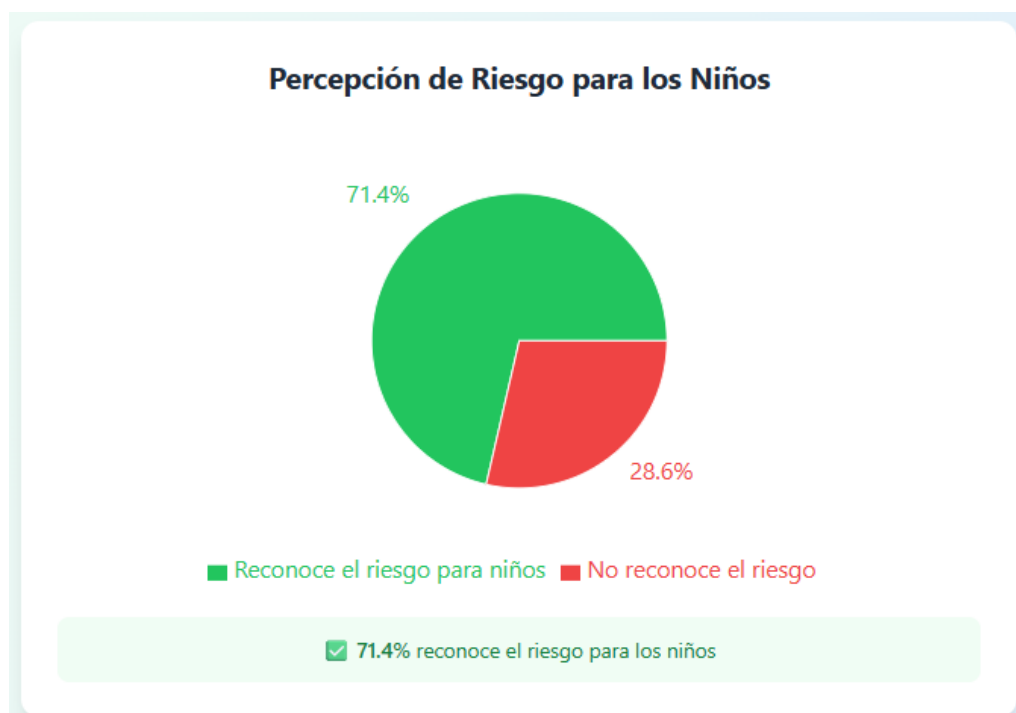
Uno de los primeros indicadores evaluados fue el conocimiento del propósito de la fumigación. El 51.4% de los encuestados reconoció que se realiza principalmente para el control de plagas, mientras que un 25.7% no supo responder, lo que revela una brecha significativa en la comprensión del uso de estos compuestos.

En cuanto a la percepción del riesgo para la infancia, el 71.4% reconoció que los agroquímicos representan un riesgo para los niños, una señal positiva de conciencia general, aunque no siempre acompañada de acciones protectoras consistentes.

Gráfica 3. Conocimiento sobre el propósito de la fumigación.



Gráfica 4. Percepción del riesgo para los niños.



Reconocimiento de Síntomas de Intoxicación

Al indagar sobre los síntomas de intoxicación reconocidos por los encuestados, se encontró una comprensión limitada pero con base práctica. El 34.3% mencionó síntomas gastrointestinales como náuseas y vómito, el 28.6% refirió síntomas neurológicos como mareos y dolor de cabeza, mientras que el 20% declaró no conocer síntomas relacionados con la exposición.

Gráfica 5. Reconocimiento de síntomas de intoxicación por agroquímicos.

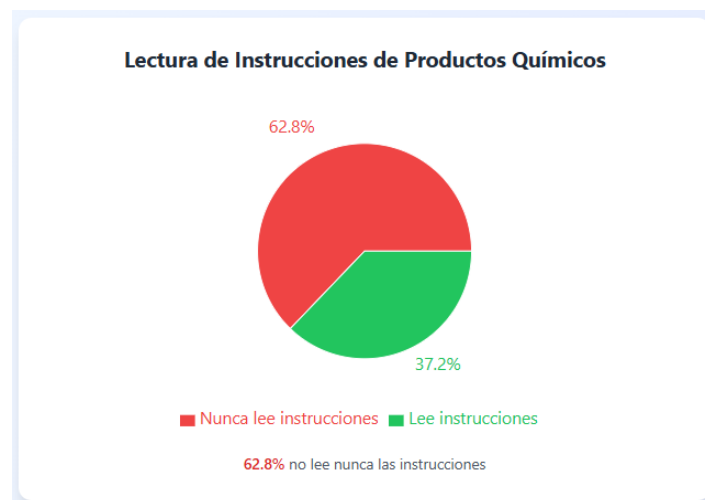


Prácticas de Lectura y Formación Técnica

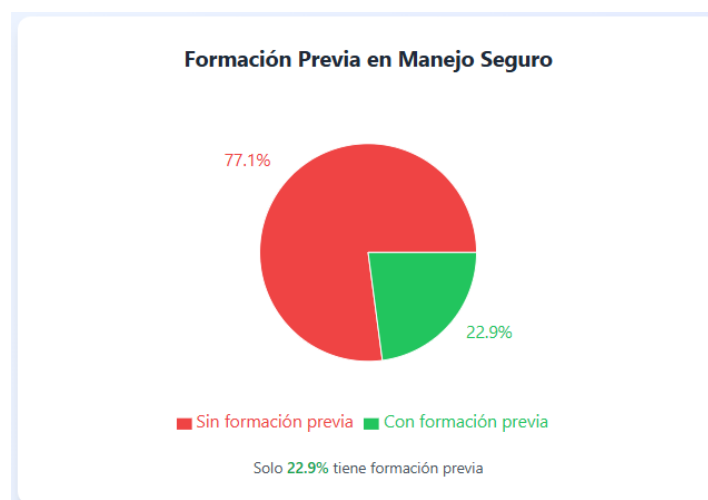
Uno de los hallazgos más relevantes fue que el 62.8% de los encuestados declaró no leer nunca las instrucciones de uso de los productos químicos, y apenas un 22.9% ha recibido

alguna formación previa sobre el manejo seguro de agroquímicos. Esta combinación resulta preocupante, ya que deja a la población en una situación de alto riesgo preventivo. Además, reafirma que la falta de lectura está asociada a la falta de alfabetización.

Gráfica 6. Lectura de instrucciones de seguridad.



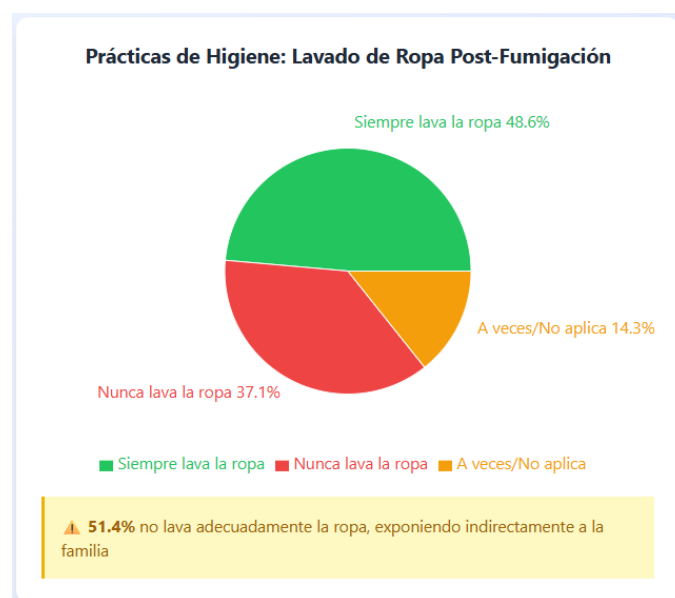
Gráfica 7. Participación en formación técnica.



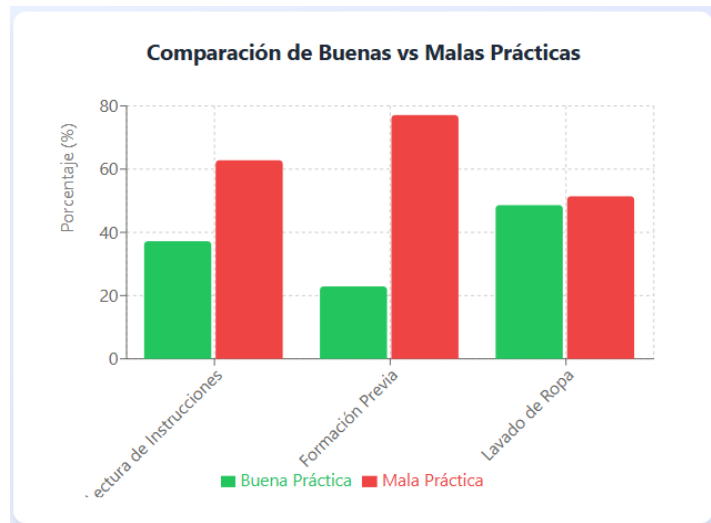
Prácticas de Higiene Posteriores a la Fumigación

El análisis reveló también prácticas inconsistentes tras la fumigación: solo el 48.6% declaró lavar la ropa utilizada durante la aplicación, mientras que el 37.1% afirmó que no lo hace y un 14.3% dijo hacerlo solo a veces o no considerarlo aplicable. Esta práctica representa un canal directo de exposición indirecta para miembros de la familia, especialmente para los niños.

Gráfica 8. Prácticas de higiene post-fumigación y su comparación.



Gráfica 9. Buenas y malas prácticas en el manejo de agroquímicos.



Conclusiones del Análisis Cuantitativo

- **Conciencia parcial:** Aunque el 82.9% considera que los productos son tóxicos, existe una disonancia entre este reconocimiento y las prácticas preventivas adoptadas.
- **Brechas formativas:** Más del 77% no ha recibido capacitación sobre el uso seguro de agroquímicos, lo que sugiere una falta estructural de acceso a formación técnica.
- **Prácticas inseguras:** La alta proporción que no lee instrucciones y que no aplica medidas de higiene adecuadas después de la fumigación indica una necesidad urgente de intervención educativa.
- **Potencial educativo:** La percepción general de riesgo en la infancia y el reconocimiento básico de síntomas sugieren una base mínima sobre la cual construir procesos de formación contextualizados.

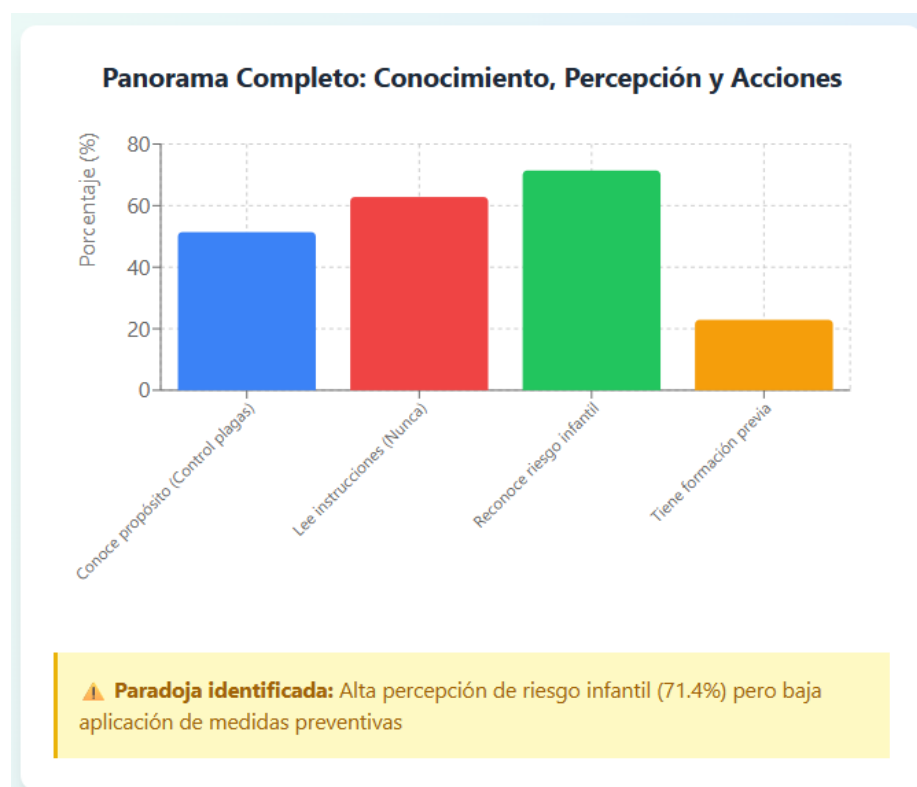
Imagen 7. Campesinos contestando la encuesta. El video de la entrevista puede verse en

<https://youtu.be/948QwK98Gro>

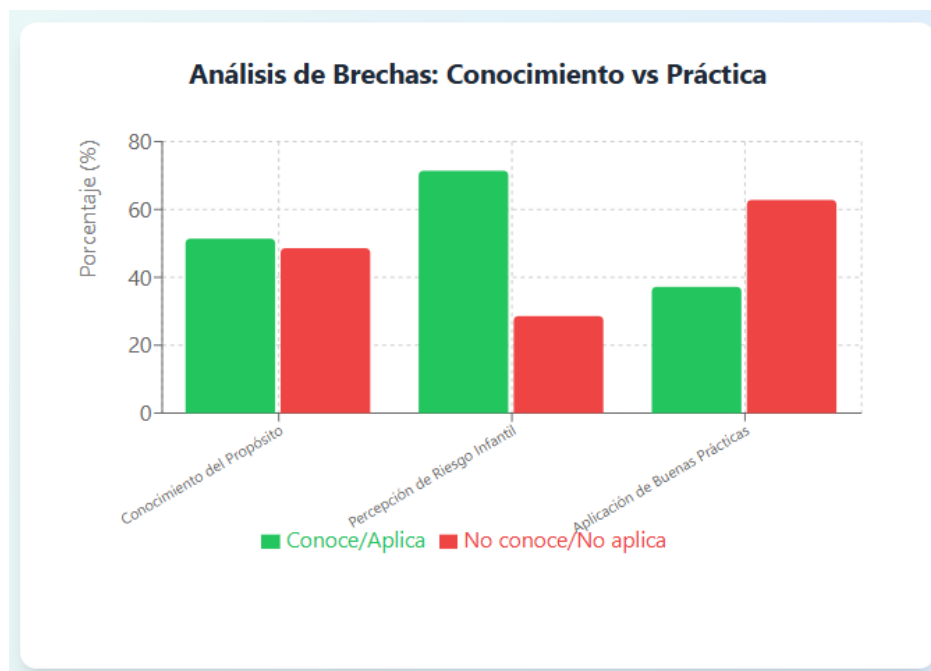


Resumen en forma gráfica de los hallazgos principales

Gráfica 10. Panorama completo sobre la percepción del riesgo.



Gráfica 11. Brechas de conocimiento y su relación con las prácticas seguras.



5.4 Evaluación del Impacto del Chatbot: Usabilidad, Accesibilidad y Resultados del Cuestionario

Para evaluar el uso del Chatbot se realizó una encuesta a 36 usuarios, la cual arrojó resultados interesantes.

5.4.1. Perfil de los Encuestados

a. Tamaño de la Muestra

- Total de participantes: 36 personas

b. Distribución por Edad

- Rango de edades: 16 a 85 años

- Media aproximada: 37.5 años
- Distribución por grupos etarios: (Ver gráfica correspondiente)

c. Ubicación Geográfica

- Popayán: 83.3% (30 personas)
- Otras ciudades: 16.7% (6 personas)
 - Sotará
 - Cajibío
 - El Tambo

5.4.2. Análisis de las Respuestas por Categoría

a. Tipo de Información Deseada en el ChatBot

Categoría	Frecuencia	Descripción
Uso adecuado y cantidades de plaguicidas	Alta	Información sobre dosificaciones y aplicación correcta
Equipos de protección personal (EPP)	Alta	Conocimiento sobre elementos de seguridad necesarios
Toxicidad y riesgos para la salud	Alta	Efectos adversos y medidas preventivas
Fichas técnicas y componentes químicos	Alta	Información detallada de productos
Protocolos y precauciones de uso	Alta	Procedimientos seguros de aplicación
Información específica por cultivo	Media	Recomendaciones adaptadas a cada tipo de cultivo
Productos orgánicos / alternativos	Media	Opciones ecológicas y sostenibles

Conclusión: Los usuarios buscan información práctica, clara y contextualizada, especialmente relacionada con seguridad, salud, y manejo apropiado de químicos.

b. Experiencia Previa con Tecnología

- Sin experiencia previa: 22 respuestas (~61%)
- Con experiencia positiva: 12 respuestas (~33%)
- Con experiencias confusas o críticas: 2 respuestas (~6%)

Conclusión: La mayoría no ha usado tecnologías similares. La intervención con chatbot es novedosa y puede tener alto impacto educativo si se adapta bien al contexto.

c. Preocupaciones Sobre Salud

Tema	Frecuencia	Nivel de Preocupación
Intoxicaciones	Muy alta	Preocupación inmediata y directa
Enfermedades a largo plazo	Alta	Efectos crónicos y permanentes
Daños a niños y familia	Alta	Protección del núcleo familiar
Falta de uso de protección adecuada	Alta	Conciencia sobre EPP
Contaminación ambiental	Media	Impacto ecosistémico

Conclusión: Las familias rurales tienen alta percepción de riesgo, pero en muchos casos falta conocimiento claro sobre cómo prevenir esos riesgos.

5.4.3. Valoración del ChatBot

a. Ropa Adecuada para Fumigar

- Sí recibió información clara: 28 respuestas (~78%)

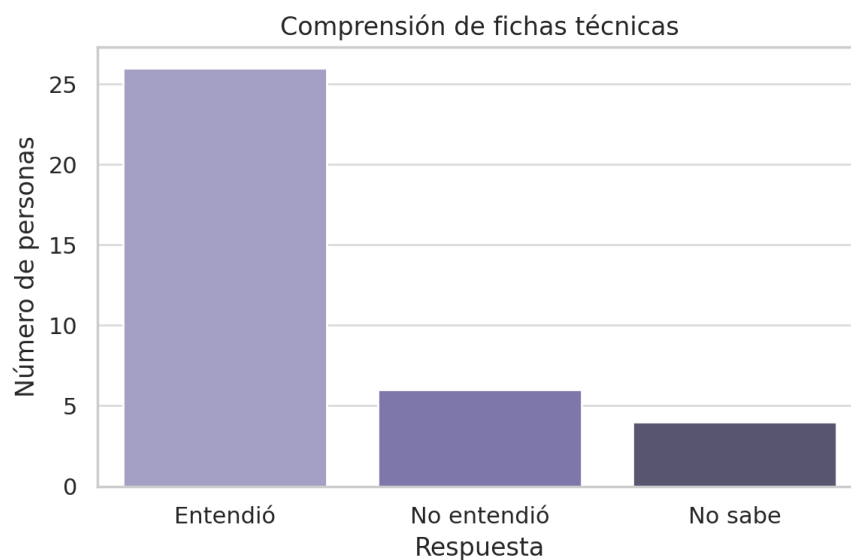
- No / confusa: 5 respuestas (~14%)
- No sabe o apenas conoce la app: 3 respuestas (~8%)

Conclusión: El contenido de protección personal fue bien recibido y comprendido en la mayoría de los casos.

b. Manejo de Fichas Técnicas

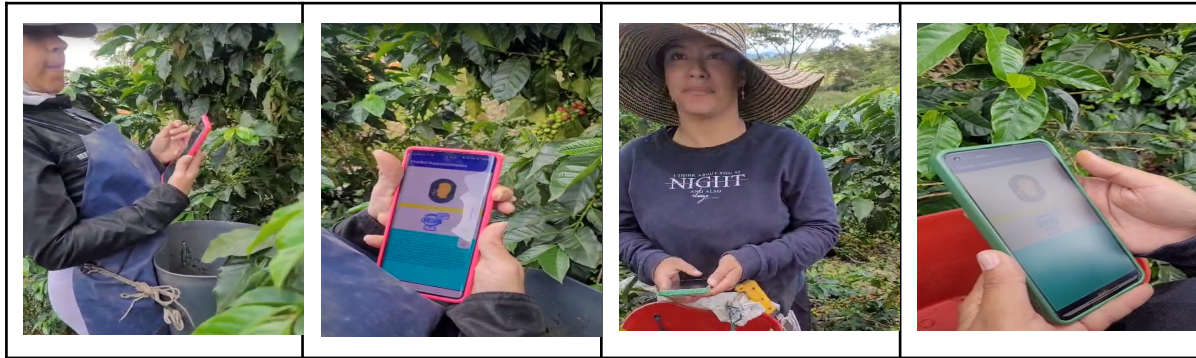
- Sí entendió y aplicaría: 26 respuestas (~72%)
- No entendió o confusa: 6 respuestas (~17%)
- No sabe o no recuerda: 4 respuestas (~11%)

Gráfica 12. Resultados sobre la comprensión de las respuestas dadas por el Chatbot sobre fichas técnicas.



Conclusión: Hay buena aceptación del contenido técnico siempre que esté bien explicado. El formato claro y los ejemplos mejoran la comprensión.

Imagen 8. Ejemplo de campesina haciendo uso del Chatbot.



5.4.4. Comentarios Finales

Aspectos Positivos Identificados:

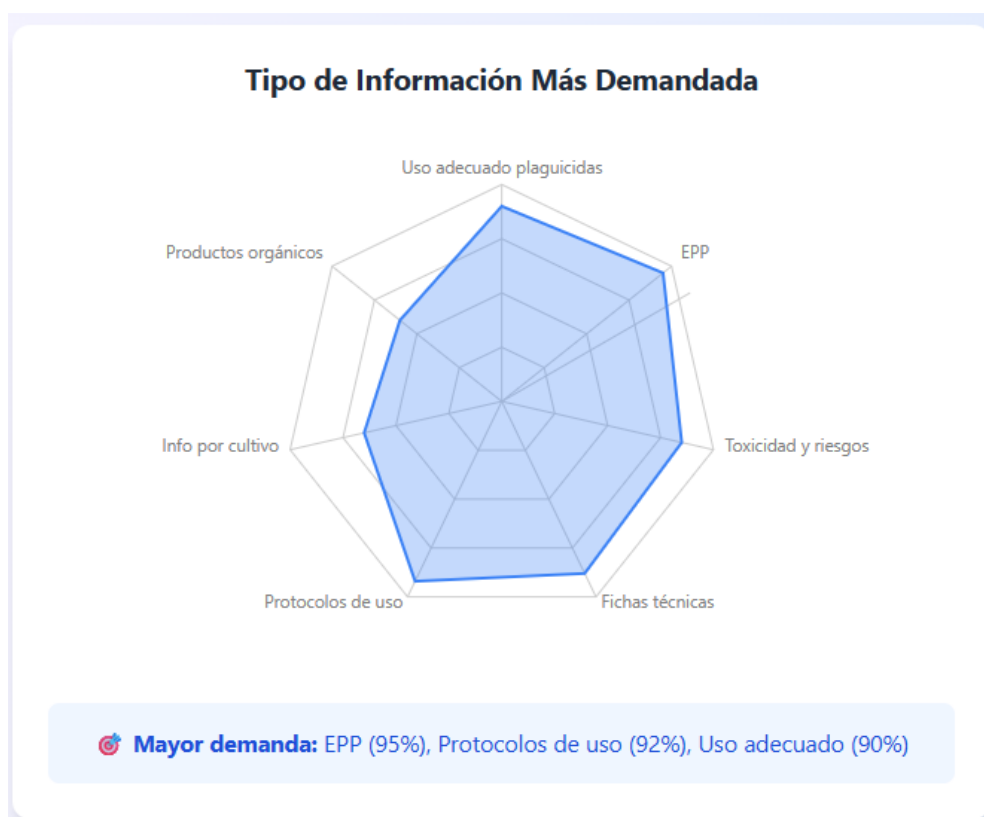
- Alta valoración positiva de la iniciativa
- Interés genuino en aprender más sobre prácticas seguras
- Buena comprensión del contenido cuando está bien estructurado

Sugerencias de Mejora:

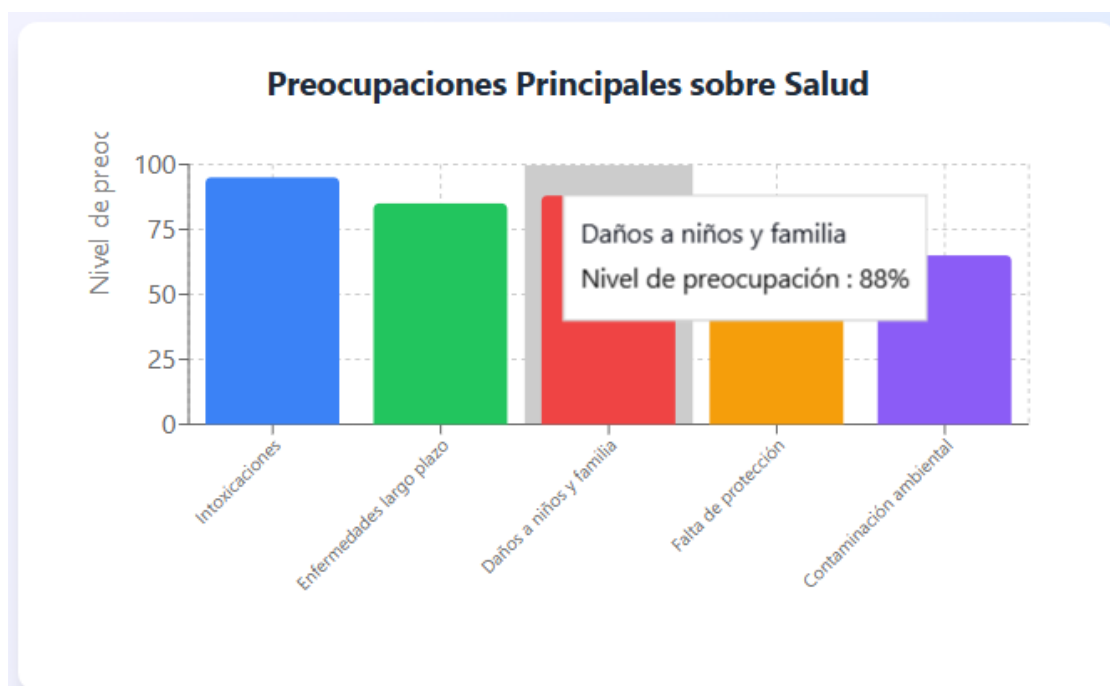
1. Ampliar información disponible
 - Más variedad de temas y cultivos específicos
2. Mejorar claridad en respuestas del chatbot
 - Lenguaje más sencillo y contextualizado
3. Implementar opciones de accesibilidad
 - Opción offline para zonas con conectividad limitada

- Opción de audio para personas con dificultades de lectura
4. Expansión geográfica
- Aplicar el proyecto en más regiones rurales
 - Adaptar contenido a contextos locales específicos

Gráfica 13. Información más demandada al Chatbot. Nota: EPP significa Equipos de Protección Personal.



Gráfica 14. Preocupaciones principales sobre las que se consulta al Chatbot.



5.4.5. Recomendaciones Estratégicas

Fortalezas a Potenciar:

- Alta aceptación de la herramienta (78% comprensión en EPP)
- Demanda clara de información práctica sobre seguridad
- Percepción alta de riesgo como motivador para el aprendizaje

Áreas de Mejora Prioritarias:

- Capacitación tecnológica básica (61% sin experiencia previa)
- Simplificación del lenguaje técnico (17% no entendió fichas técnicas)
- Desarrollo de funcionalidades offline para mayor accesibilidad

Indicadores de Éxito:

- 72-78% de comprensión efectiva en temas clave

- Alta demanda de información sobre seguridad y salud
- Interés genuino en adoptar mejores prácticas

Este análisis demuestra que el ChatBot Esmeralda tiene un potencial significativo como herramienta educativa en el sector rural, especialmente cuando se enfoca en información práctica sobre seguridad y manejo adecuado de agroquímicos.

Cuadro resumen de fortalezas del Chatbot y recomendaciones recibidas:



6. Discusión y Análisis de Resultados

6.1 Interpretación General de los Hallazgos

Los resultados obtenidos tras la implementación y evaluación del chatbot educativo revelan que esta herramienta logró cumplir con los objetivos planteados. El incremento en el porcentaje de respuestas correctas (del 42% al 78%) tras la interacción con el chatbot demuestra una mejora significativa en el conocimiento sobre el uso seguro de agroquímicos, incluso en una población con dificultades de alfabetización.

Durante las sesiones de uso, los participantes mostraron altos niveles de atención, motivación y autonomía. A pesar de sus limitaciones educativas, pudieron interactuar exitosamente con el chatbot, lo cual valida la hipótesis central de esta investigación: es posible diseñar estrategias didácticas digitales efectivas, inclusivas y comprensibles para públicos con baja lectoescritura, mediante tecnologías accesibles como la inteligencia artificial con voz.

Los módulos relacionados con el uso de elementos de protección personal y la actuación frente a intoxicaciones fueron los que generaron mayor interés, lo que refleja una necesidad latente de información clara, práctica y contextualizada.

6.2 Articulación con los Marcos Teóricos

Los hallazgos empíricos se alinean con los modelos teóricos que sustentaron esta propuesta educativa. La Teoría del Aprendizaje Experiencial de Kolb se evidencia en la estructura modular del chatbot, la cual parte de experiencias cotidianas del agricultor, promueve la reflexión a través del diálogo y ofrece acciones concretas y aplicables.

Desde la perspectiva del Aprendizaje Social de Bandura, el chatbot funcionó como un modelo simbólico que reforzó prácticas seguras mediante ejemplos y frases repetidas que motivaron el cambio conductual. La percepción de autoeficacia aumentó notablemente: los agricultores se sintieron más capaces de aplicar medidas preventivas en su labor diaria.

Los principios de la Andragogía de Knowles también se cumplieron al ofrecer un aprendizaje centrado en problemas reales, personalizado y flexible. La herramienta permitió a los usuarios interactuar a su ritmo, sin exigencias de lectura ni horarios, lo que favoreció una experiencia formativa autónoma y significativa.

La Teoría de la Carga Cognitiva de Sweller fue considerada al diseñar una interfaz minimalista, sin saturación de información ni textos extensos. La secuencia clara, el lenguaje accesible y el uso exclusivo de audio contribuyeron a reducir la carga extrínseca, facilitando el procesamiento mental de los nuevos contenidos.

Finalmente, el enfoque de Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) se reflejó en la inclusión de múltiples formas de representación (voz, repetición, navegación guiada), lo que garantizó la accesibilidad para usuarios diversos, especialmente aquellos con limitaciones en lectura o escritura.

6.3 Percepciones de los Usuarios y Relevancia Didáctica

Los testimonios recogidos tras la prueba del prototipo muestran que los participantes no solo aprendieron, sino que también se sintieron acompañados por la herramienta. Frases como “el

robot me habló como una persona” o “me gustó que repite sin enojarse” dan cuenta del impacto emocional y cognitivo de la estrategia.

Los usuarios valoraron especialmente:

- La claridad de las respuestas.
- La empatía percibida en el tono del asistente.
- La posibilidad de repetir preguntas cuantas veces lo desearan.

Estas cualidades, aunque técnicas en su diseño, se transformaron en elementos pedagógicos clave para la aceptación y efectividad de la herramienta.

6.4 Implicaciones Prácticas de la Estrategia

Esta experiencia demuestra que es factible utilizar chatbots con IA y voz para educar en salud ocupacional en zonas rurales. Entre sus principales beneficios se destacan:

- Reducción de la dependencia de instructores presenciales.
- Posibilidad de alcanzar simultáneamente a múltiples usuarios.
- Promoción del aprendizaje autónomo, situado y repetible.

A largo plazo, esta tecnología podría integrarse en programas institucionales de extensión rural o salud pública, ampliando su cobertura y reduciendo costos. No obstante, su implementación a mayor escala requerirá inversiones en infraestructura tecnológica, capacitación inicial y actualización continua de contenidos.

6.5 Fortalezas, Limitaciones y Recomendaciones

Entre las fortalezas de esta investigación se destacan:

- La pertinencia cultural del contenido.
- El diseño centrado en el usuario rural.
- El uso de tecnología de bajo costo.
- La validación mediante pruebas cualitativas y cuantitativas.

Entre sus limitaciones se encuentran:

- La pequeña muestra de participantes (n=15).
- El carácter exploratorio y no generalizable del estudio.
- La necesidad de conexión a internet para el uso del prototipo.

- Posible sesgo de selección, ya que quienes participaron mostraban disposición al cambio desde el inicio.

Para futuras investigaciones se recomienda:

- Ampliar la muestra y replicar el estudio en otras regiones.
- Explorar el funcionamiento del chatbot sin conexión a internet.
- Incorporar contenidos en lenguas indígenas.
- Integrar elementos visuales para personas con discapacidad auditiva.

7. Conclusiones

Esta investigación permitió comprobar que el uso de un chatbot educativo con inteligencia artificial y comandos de voz puede ser una estrategia viable, pertinente y transformadora para promover el manejo seguro de agroquímicos en comunidades rurales con bajo nivel de alfabetización.

Los hallazgos destacan que:

- El prototipo fue funcional, accesible y bien recibido por los usuarios, quienes lograron interactuar con él de manera efectiva sin necesidad de leer o escribir.
- Se logró un aumento en el conocimiento sobre riesgos, síntomas de intoxicación y medidas de protección, lo que sugiere una mejora en la disposición hacia prácticas agrícolas más seguras.
- El enfoque didáctico basado en la oralidad, el lenguaje claro y la empatía fue clave para promover la autoeficacia y el cambio de comportamiento.
- Los agricultores valoraron la herramienta no solo como fuente de información, sino como un “acompañante” disponible, confiable y sin juicio.

Este tipo de soluciones tecnológicas, si se escalan e implementan con apoyo institucional, pueden reducir significativamente los riesgos de salud asociados al uso de agroquímicos, especialmente en la infancia rural, población altamente vulnerable.

Además, esta experiencia demuestra que la tecnología, bien adaptada, no solo es compatible con la ruralidad, sino que puede ser un vehículo poderoso para democratizar el acceso al conocimiento y fortalecer la justicia social.

En futuras investigaciones, se recomienda explorar formas de mejorar la autonomía de funcionamiento del chatbot (sin conexión a internet), ampliar el repertorio de temas tratados y fortalecer estrategias de evaluación a largo plazo del impacto en la salud de las familias.

Referencias bibliográficas

- ☐ Alejos Guerrero, M. V. (2018). *Toxicidad por Organofosforados en pobladores agrícolas de Chalacala Bajo, Sullana-2017* [Tesis de grado, Universidad San Pedro].
- ☐ Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Prentice-Hall.
- ☐ Benavides-Piracón, I. A., Quintero-Durán, L. P., Rojas-Betancur, A. P., & Orozco-Cabrera, M. A. (2022). *Alteraciones neurocognitivas en niños expuestos a organofosforados y carbamatos de áreas rurales: revisión*. Universidad del Rosario.
- ☐ Bravo Granados, H. A. (2021). *Identificación de las Zonas Aptas para el Cultivo de Piña en el Municipio de Lebrija Santander por Medio del Uso de Geotecnologías* [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)].
- ☐ CAST. (2018). *Universal Design for Learning Guidelines version 2.2*.
<https://udlguidelines.cast.org>
- ☐ Coker, E. S., Molitor, J., & Eskenazi, B. (2016). Prenatal residential proximity to agricultural pesticide use and IQ in 7-year-old children. *Environmental Health Perspectives*, 124(7), 1083–1089. <https://doi.org/10.1289/EHP504>
- ☐ Cruz, A. S. (2019). *Efectos negativos por la exposición a plaguicidas en trabajadores del sector agrícola*. [Trabajo de grado, Corporación Universitaria Minuto de Dios].
<https://repository.uniminuto.edu/bitstreams/695dbc8b-c483-47f5-8395-2d38e1a5570e/download>
- ☐ Faillaci, S. M. (2011). *Uso de plaguicidas organoclorados y organofosforados en la agricultura periurbana del Cinturón Verde de Córdoba* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Médicas].
<http://lildbi.fcm.unc.edu.ar/lildbi/tesis/Faillaci-Silvina-M-Versi%C3%B3n%20Final.p>

df Nota: La fecha de publicación encontrada es 2011, no 2017 como se indicó inicialmente.

- ☐ FAO. (2022). *Manual sobre plaguicidas y salud rural*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- ☐ Gutiérrez Carvajal, K. R. (2019). *Análisis de las acciones de inspección, vigilancia y control de las intoxicaciones por plaguicidas en el municipio San Vicente del Caguan – Departamento del Caquetá en los años 2015 a 2017* [Tesis de Maestría, Universidad Santo Tomás].
- ☐ Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall.
- ☐ Knowles, M. S., Holton, E. F., & Swanson, R. A. (2015). *The adult learner: The definitive classic in adult education and human resource development* (8th ed.). Routledge.
- ☐ Ministerio de Salud de Colombia. (2019). *Guía técnica de vigilancia en salud pública para intoxicaciones por plaguicidas*.
- ☐ Montoya Luna, J. (2022). *Nanosensores colorimétricos para la detección rápida de pesticidas organofosforados en sistemas acuosos: materiales y caracterización* [Trabajo de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)].
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/54071/1/jmontoyal.pdf>
- ☐ Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2011a). [Título del informe no disponible].
- ☐ Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Evaluación de riesgos de plaguicidas en salud humana*.
- ☐ Peláez Corredor, J. A. (2023). *Evaluación de la exposición a plaguicidas organofosforados y carbamatos en población ambiental y ocupacionalmente expuesta*

de los municipios de Aránzazu (Caldas) y Nechí (Antioquia), Colombia, 2023 [Tesis de Maestría, Universidad del Rosario].

<https://repository.urosario.edu.co/bitstreams/c45a21c2-e323-4e40-a6f9-fa50acc5ea6b/download>

- ☐ Sanin, L. H., & Coronado, G. D. (2011). Pesticide Exposure, Safety Issues, and Risk Assessment Indicators: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1402–1441. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051402>
- ☐ Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Springer.
- ☐ Villacís Velastegui, J. J. (2024). *Diagnóstico de la situación actual sobre el manejo de plaguicidas en el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en las comunidades de Shaushi y Puñachizag* [Proyecto de Investigación, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstreams/c830dfaf-ddd7-4051-9877-8585aecd52d/download>

ANEXOS

Encuestas en formularios de google