

Mejora del rendimiento de la papa y otros tubérculos andinos-Roto to Food

Producto 18: DESCRIPCIÓN DE UNA APLICACIÓN DIGITAL (APP) PARA EL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS DE CULTIVOS DE PAPA Y TUBERCULOS ANDINOS

Natalia Cristiano, Leonardo Flórez-Valencia, Adriana Sáenz Aponte, Ismael Villanueva, María del Pilar Márquez Cardona

2024



Códigos JEL: Q16

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Adriana Sáenz Aponte, Ismael Villanueva Melo, Maria del Pilar Márquez Cardona.

Copyright © 2023 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

FONTAGRO

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org

www.fontagro.org



Tabla de Contenidos

Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	4
ABSTRACT.....	5
RESUMEN EJECUTIVO.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
OBJETIVOS	9
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN EN TRES ETAPAS	9
SEGUIMIENTO DE CULTIVOS EN EL TIEMPO	13
USO DE LA APLICACIÓN AGRIA	14
DISCUSIÓN	15
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	15
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
INSTITUCIONES PARTICIPANTES.....	17



Índice de Figuras

Figura 1. Etapas del proceso de clasificación en imágenes para identificación de las plagas asociadas a las plantas de papas nativas.....	10
Figura 2. Imágenes de hojas de papa nativa sanas, con enfermedades o dañadas. A. Flea Beetle. B. Health. C. Late Blight. D. Leafminer. D. Slug.	12
Figura 3. Mapas de calor generados por ResNet50. A. Imagen original, planta sana. B. Mapa de calor de planta sana. C. Imagen original, planta con tizón tardío. D. Mapa de calor de planta con tizón tardío.....	13
Figura 4. Instalación APP Agria y funcionamiento para la identificación de problemas fitosanitarios en papa nativa. La aplicación se puede descargar del siguiente enlace: https://www.dropbox.com/scl/fi/sksmb0m2c77xzsus5yor8/AnalisisPapas.apk?rlkey=2l8m90q8amk30m	14

Índice de Tablas

Tabla 1. Etiquetas identificadas y número de muestras para la organización de las imágenes para la caracterización de enfermedades e insectos asociados a la planta de papa nativa.....	11
---	----

ABSTRACT


Tubérculos andinos como la papa (*Solanum tuberosum* L.) y el cubio (*Tropaeolum tuberosum*) son esenciales para la seguridad alimentaria del agricultor andino, quienes cultivan y mantienen la diversidad de estos tubérculos en sus parcelas, bajo esquemas de agricultura familiar. Sin embargo, los rendimientos, particularmente de las variedades tradicionales, son bajos. Una de las causas fundamentales de los bajos rendimientos y la mala calidad del producto obtenido, es la mala calidad de la semilla empleada. En efecto, los pequeños agricultores andinos tienen cada vez más dificultades para conseguir semillas de calidad, principalmente de variedades tradicionales.

Además, estos materiales de siembra de mala calidad deben enfrentar otras presiones ambientales y que son consecuencia de prácticas de manejo en monocultivo, con uso excesivo de agroquímicos, agotamiento y pérdida de fertilidad de los suelos, pérdida de diversidad en las variedades sembradas, bajos controles de plagas y enfermedades por el desconocimiento de estas. Todo lo anterior viéndose agravado por los efectos del cambio climático global.

El proyecto “Mejora en el rendimiento de la papa y otros tubérculos andinos - Root to Food” tiene como finalidad fortalecer la economía de unidades de producción agrícola familiar de Bolivia y Colombia productoras de papas nativas y tubérculos andinos, a través del desarrollo participativo de paquetes tecnológicos y encadenamientos productivos que impacten en la conservación, valorización, mejora del rendimiento y sostenibilidad ambiental de los cultivos.

El proyecto cuenta con tres componentes: 1) fortalecimiento del tejido social, organizacional y empresarial de familias productoras de papa nativa y tubérculos andinos; 2) conservación y obtención sostenible de semilla de buena calidad de papa y tubérculos andinos para la agricultura familiar; 3) innovación agroecológica para el manejo integrado de plagas de papa y tubérculos andinos en unidades de producción agrícolas familiares. Dentro de cada uno de estos componentes se realizan acciones conjuntas entre los participantes, bajo el esquema de Innovación Rural Participativa (IRP), con el fin de contribuir a mejorar la calidad de la semilla, los rendimientos en la producción, la sostenibilidad ambiental y social, de manera que redunden en la seguridad alimentaria de las comunidades.

En este proyecto participan la Pontificia Universidad Javeriana – sede Bogotá de Colombia (organismo ejecutor), la Corporación PBA de Colombia y la Universidad Mayor de San Simón de Bolivia (organismos co-ejecutores). Asociaciones de pequeños productores de papa en Colombia y el municipio de Sacaba en Bolivia en donde se encuentran los agricultores quienes son beneficiarios directos del proyecto.



Andean tubers such as potato (*Solanum tuberosum* L.) and mahua (*Tropaeolum tuberosum*) are essential for the food security of the Andean farmers, who cultivate and maintain the diversity of these tubers in their plots, under family farming schemes. However, yields, particularly of traditional varieties, are low. One of the root causes of the low yields and inadequate quality of the product obtained is the poor quality of the seed used. Indeed, small Andean farmers are finding it increasingly difficult to obtain quality seeds, from traditional varieties.

In addition, these poor-quality planting materials must face other environmental pressures and are a consequence of monoculture management practices, with excessive use of agrochemicals, exhaustion and loss of soil fertility, loss of diversity in the varieties sown, low pest and disease controls due to lack of knowledge of them. All of this is compounded by the effects of global climate change.

The project "Improvement in the yield of potato and other Andean tubers - Root to Food" aims to strengthen the economy of family agricultural production units of Bolivia and Colombia producing native potatoes and Andean tubers, through the participatory development of technological packages and productive linkages that impact the conservation, valorization, improvement of yield and environmental sustainability of crops.

The project has three components: 1) strengthening the social, organizational, and business fabric of families producing native potatoes and Andean tubers; 2) conservation and sustainable production of good quality potato seed and Andean tubers for family farming; 3) agroecological innovation for the integrated management of potato pests and Andean tubers in family agricultural production units. Within each of these components joint actions are carried out among the participants, under the Participatory Rural Innovation (IRP) scheme, in order to contribute to improve seed quality, yields in production, environmental and social sustainability, so as to ensure food security for communities.

The Pontificia Universidad Javeriana - Bogota Colombia (executing agency), the PBA Corporation of Colombia and the Universidad Mayor de San Simón of Bolivia (co-executing organizations) participate in this project. Associations of small potato producers in Colombia and producers of the municipality of Sacaba, are the direct beneficiaries of the project.



RESUMEN EJECUTIVO

En el marco del proyecto Root to Food, se propone una metodología para la generación de una APP denominada Agria, con el fin de contribuir a la identificación de insectos y enfermedades asociadas al cultivo de papa nativa. Esta metodología se desarrolla en tres fases, para el análisis y clasificación de plagas, a partir de fotografías registradas en los cultivos en las zonas de influencia del proyecto. Para ello, las imágenes no presentan fondo e iluminación controlada. En la primera fase, se emplea transfer learning y fine-tuning para entrenar tres redes neuronales convolucionales (CNN) pre-entrenadas (VGG16, ResNet50 e InceptionV3), utilizando subimágenes de tamaño 224x224. En la segunda fase, se utiliza la CNN para generar mapas de calor utilizando una ventana deslizante, resaltando las regiones de interés relacionadas con las plagas en las imágenes originales. En la tercera fase, se emplea de nuevo transfer learning y fine-tuning para el entrenamiento de las tres CNN utilizando los mapas de calor generados, con el objetivo de obtener una clasificación final precisa de las plagas en las plantas de papa. Con estas fases se detecta y clasifica las plagas que le ayudan a los productores a tomar decisiones para el manejo integrado de los problemas fitosanitarios limitantes, dentro de los lotes de producción de papa nativa.

PALABRAS CLAVE

APP, Agria, Redes neuronales convolucionales (CNN), imágenes, mapas de calor, learning y fine-tuning, plagas, papas nativas, tubérculos andinos.



INTRODUCCIÓN

La papa es uno de los principales alimentos de las familias que habitan las zonas altas de la región andina. En países como Bolivia y Colombia, el cultivo está expuesto a presiones bióticas que han aumentado mucho el uso de plaguicidas que deterioran el medio ambiente y la salud de productores y consumidores. El Manejo Integrado de Plagas (MIP), surgió como una alternativa para mitigar el uso inapropiado de productos de síntesis química y consiste en el uso de diferentes técnicas para combatir plagas, integrando medidas apropiadas que disminuyen el desarrollo de poblaciones de plagas. El MIP combina estrategias y prácticas biológicas, químicas y físicas en la producción agrícola, minimizando el uso de plaguicidas (FAO, 2023). Sin embargo, para tener un buen efecto de estas estrategias es importante identificar las plagas y hacer un monitoreo continuo de las mismas, con ello se mantienen los niveles poblacionales de las mismas, como se ha indicado en las notas técnica 15 y 17, asociadas al proyecto Root to Food.

El monitoreo se basa en la identificación oportuna de las enfermedades e insectos plaga, mediante observación directa en las plantas de papa. Sin embargo, esta forma de monitoreo requiere mucho tiempo y depende de la experiencia del productor, lo cual puede llevar a errores en la estimación o identificación del problema fitosanitario. El reciente avance en las tecnologías de Inteligencia Artificial (AI), aprendizaje automático (ML) y visión por computadora (CV), han permitido desarrollar técnicas automatizadas de detección de plagas en las plantas. Estas técnicas revelan de manera eficiente y precisa las enfermedades e insectos en un tiempo corto, sin intervención del productor. De acuerdo a los desarrollos, se ha demostrado que el Aprendizaje Profundo (DL) es el más destacado en la agricultura (Singh et al., 2019).

Esta nota técnica, aborda la metodología y uso de la APP Agria para reconocer plagas en cultivos de papa, mediante el uso de técnicas DL. Específicamente, se implementa una metodología en tres fases, para el análisis y clasificación de enfermedades e insectos en plantas de papa. La metodología propuesta emplea CNN preentrenadas y técnicas de Transfer Learning, para aprovechar el conocimiento previo y acelerar el proceso de entrenamiento. Las imágenes fueron recopiladas en escenarios reales, sin fondo ni iluminación controlada. Es decir, reflejan las condiciones reales de los agricultores al detectar y clasificar los problemas fitosanitarios en sus cultivos de papa.

OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto Root to Food es fortalecer la economía de unidades de producción agrícola familiar de Bolivia y Colombia productoras de papas nativas y tubérculos andinos, a través del desarrollo participativo de paquetes tecnológicos y encadenamientos productivos que impacten en la conservación, valorización, mejora del rendimiento y sostenibilidad ambiental de los cultivos.

Para dar cumplimiento al objetivo principal del proyecto, se planteó crear una aplicación APP para apoyo en el monitoreo de los problemas fitosanitarios asociados al cultivo de papa nativa, para decidir y aplicar las diferentes estrategias de manejo integrado de plagas.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN EN TRES ETAPAS

El enfoque de análisis de imágenes empleado para la aplicación digital APP Agria, tiene tres etapas (Figura 1), basado en el desarrollo de DeChant et al. (2017). La primera etapa (stage one) consiste en entrenar tres CNN (redes neuronales convolucionales), la cual consiste en recortar aleatoriamente sub-imágenes de 224x224 píxeles de todas las imágenes originales, que muestran plantas en parte o en su totalidad. Las sub-imágenes se dividen en seis clases y se utilizan para entrenar arquitecturas de aprendizaje profundo como VGG16, ResNet50 e InceptionV3. La segunda etapa (stage two) es la generación de mapas de calor, a partir de CNN con mejor exactitud en la primera etapa, seleccionando y creando mapas de calor de las imágenes completas, con ello se produce un conjunto de mapas de calor de CNN, entrenada para clasificar pequeños parches de las imágenes. Además, usando un enfoque de ventana deslizante con un tamaño de paso 50, se alimentaron secciones de las imágenes más grandes a través de la red neuronal. La salida se registró para cada ubicación en las imágenes, lo que se puede interpretar como la probabilidad de que cada sección contenga una lesión o daño ocasionado por una plaga. Cada probabilidad se ensambló en una matriz, para representar la salida de una red para cada área de la imagen. Por ende, en esa imagen, el mapa de calor final representa cada una de las lesiones o daño de un color. En la etapa 3 (stage three), se entrena de nuevo las tres CNN que toma los mapas de calor como entrada y genera la probabilidad de que la imagen completa contenga la plaga a la cual se está observando o monitoreando.

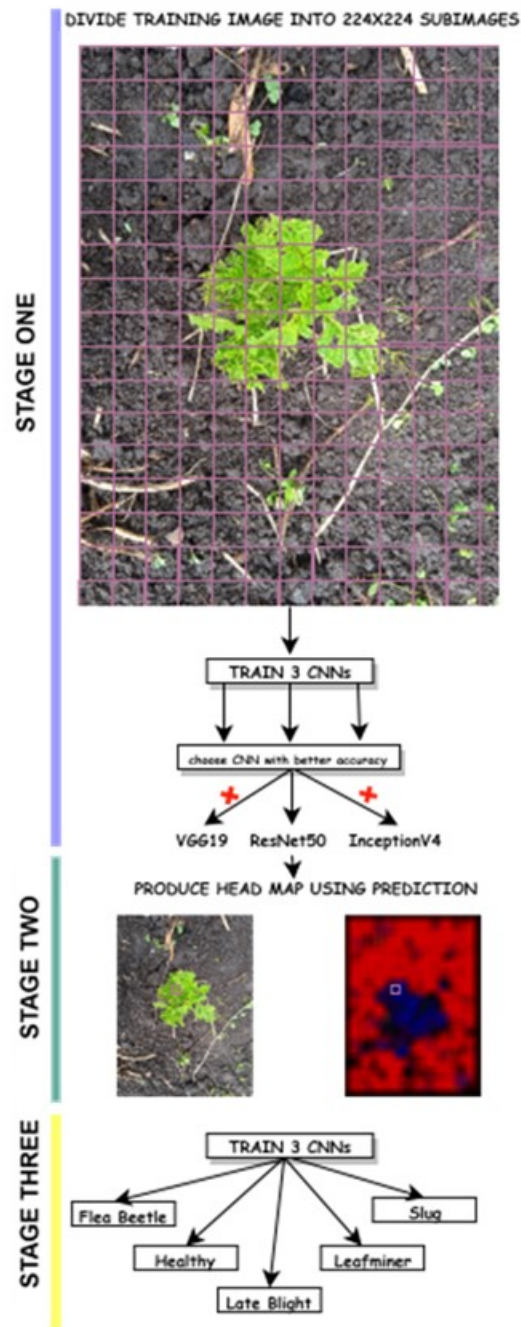


Figura 1. Etapas del proceso de clasificación en imágenes para identificación de las plagas asociadas a las plantas de papas nativas.

La estructuración y conformación del conjunto de datos denominado PlantaPUJ, se organizó a partir de la recopilación de imágenes, utilizando el teléfono celular en diversas condiciones, según la hora y la zona, donde se encuentran establecidos los lotes de producción de papa nativa y las áreas de influencia del proyecto Root to Food, como se ha indicado en las notas técnicas 15 y 17. Las imágenes del conjunto de datos, se agruparon en cuatro clases diferentes, las cuales se pueden identificar visualmente a partir de las hojas. Para diferenciar hojas sanas, enfermas o dañadas, distribuidas en 760 imágenes (Tabla 1), incluidas hojas con daño por pulguilla (Flea Beetle), hojas sanas (Healthy), hojas con tizón tardío (Late Blight), hojas con daño por minador (Leafminer) y hojas con daño por babosa (Slug). Los cinco tipos de hojas de papa se muestran en la figura 2.

Tabla 1. Etiquetas identificadas y número de muestras para la organización de las imágenes para la caracterización de enfermedades e insectos asociados a la planta de papa nativa.

Class Labels	Samples
Flea Beetle	175
Healthy	138
Late Blight	162
Leafminer	169
Slug	116
Total samples	760



Figura 2. Imágenes de hojas de papa nativa sanas, con enfermedades o dañadas. A. Flea Beetle. B. Health. C. Late Blight. D. Leafminer. E. Slug.

Las 760 imágenes se distribuyeron en conjuntos de entrenamiento, validación y prueba, con una proporción de 80%-10%-10%, respectivamente. El conjunto de entrenamiento fue de 606 muestras, el conjunto de validación fue de 73 muestras y el conjunto de prueba de 81 muestras. Luego se recortaron aleatoriamente sub-imágenes de 224x224 píxeles de todas las imágenes de entrenamiento originales (606 imágenes). Se clasificaron un total de 2.000 sub-imágenes por cada clase. Una clase adicional en el conjunto de datos con imágenes de fondo fue beneficiosa para obtener una clasificación más precisa. Las 12.000 sub-imágenes se distribuyeron en conjuntos de entrenamiento, validación y prueba con una proporción de 80%-10%-10%, respectivamente. Se emplearon varias técnicas que básicamente aumentan la cantidad de sub-imágenes en el conjunto de datos de entrenamiento y validación. Estas técnicas consisten en rotación, zoom, desplazamiento horizontal y vertical. En la segunda etapa, se generaron mapas de calor para las imágenes originales en el conjunto de datos de entrenamiento (606 imágenes) y validación (73 imágenes). Finalmente, en la tercera etapa, se emplearon las mismas técnicas para aumentar datos en el conjunto de mapas de calor (Figura 3).

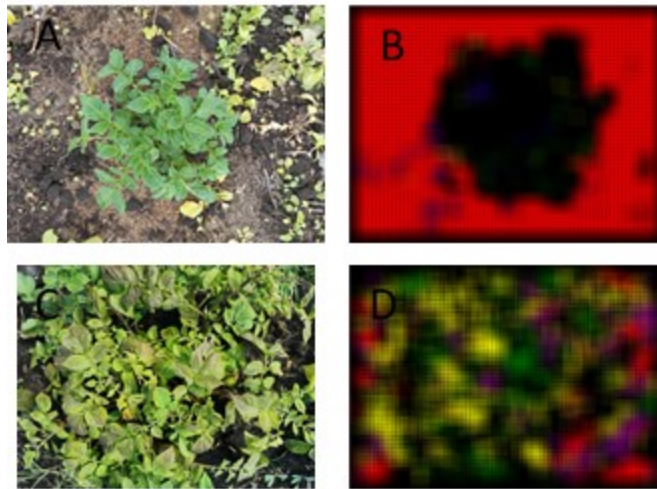


Figura 3. Mapas de calor generados por ResNet50. A. Imagen original, planta sana. B. Mapa de calor de planta sana. C. Imagen original, planta con tizón tardío. D. Mapa de calor de planta con tizón tardío.

SEGUIMIENTO DE CULTIVOS EN EL TIEMPO

El monitoreo histórico de los cultivos, el desarrollo fenológico, plaga (insecto o patógeno), síntoma o daño y la forma de manejo; se puede fundamentar usando la aplicación. En efecto, se creó una base de datos donde se guarda el histórico de uso de la aplicación. Los datos que persisten son:

1. Las imágenes en formato PNG,
2. La etiqueta detectada por el modelo,
3. Las coordenadas GPS de toma,
4. El momento (fecha y hora) de la toma,
5. El porcentaje de confianza que el modelo estima en la etiqueta y
6. Un identificador único del dispositivo de toma y análisis.

Esos datos son almacenados localmente en el dispositivo del usuario y, en el momento de detectar una conexión a Internet, se transfieren a una base de datos centralizada en un servidor de la Pontificia Universidad Javeriana. La base de datos centralizada, si bien consta de una única tabla de datos, está desarrollada sobre PostgreSQL (<https://www.postgresql.org/>) para garantizar facilidades de acceso, redundancia, calidad y seguridad en esos datos. Además, PostgreSQL garantiza una conexión sencilla con otras librerías, APIs o *toolkits* en el momento de la implementación del modelo de seguimiento.

La idea es proveer los datos básicos para desarrollar, en un futuro, un modelo que ayude con el seguimiento de los cultivos (identificados con sus coordenadas GPS) en términos de la evolución

de la plaga. Este modelo de seguimiento aún se encuentra en desarrollo.

USO DE LA APLICACIÓN AGRIA

Para la instalación y uso de la aplicación Agría en teléfonos celulares inteligentes con sistema operativo Android, se recomienda seguir los pasos descritos en la figura 4. Descargando el aplicativo en el siguiente enlace:

<https://www.dropbox.com/scl/fi/sksmb0m2c77xzsus5yor8/AnalisisPapas.apk?rlkey=218m90q8amk30mvsqloyinldq&dl=0>

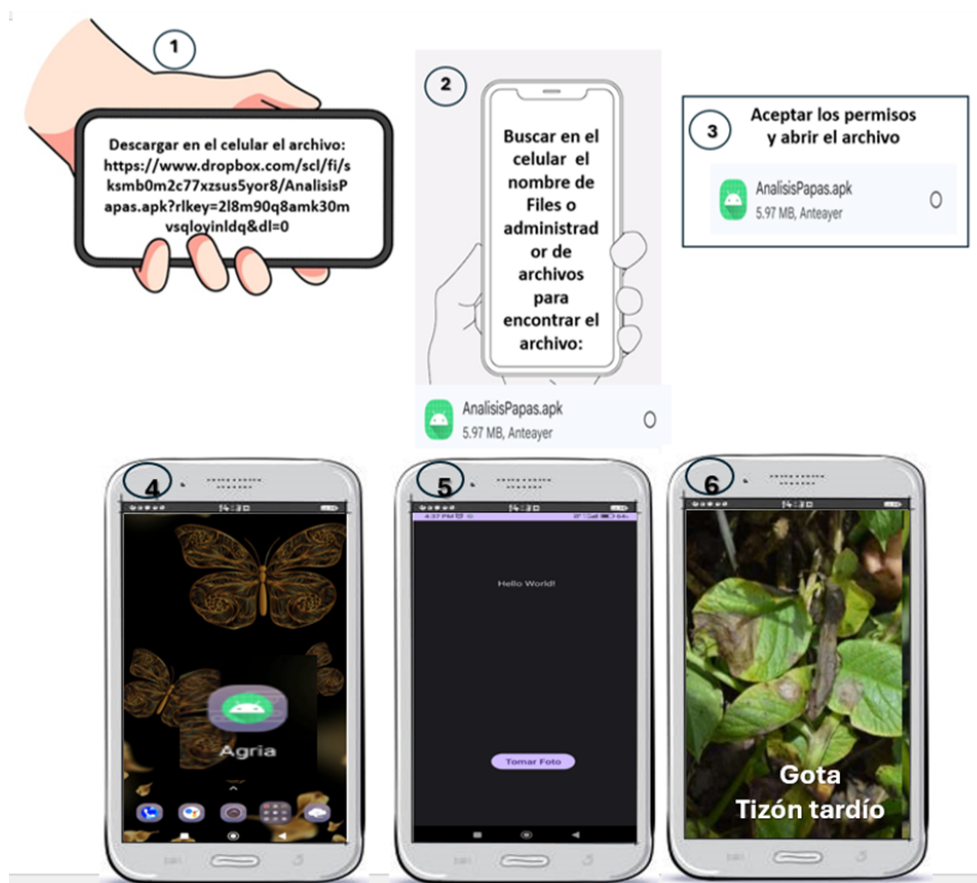


Figura 4. Instalación APP Agría y funcionamiento para la identificación de problemas fitosanitarios en papa nativa. La aplicación se puede descargar del siguiente enlace: <https://www.dropbox.com/scl/fi/sksmb0m2c77xzsus5yor8/AnalisisPapas.apk?rlkey=218m90q8amk30m>



DISCUSIÓN

Las aplicaciones móviles, o *apps*, son programas diseñados para utilizarse en dispositivos móviles como teléfonos inteligentes. Sirven para una amplia variedad de propósitos, desde entretenimiento y comunicación hasta productividad y educación.

La aplicación móvil Agría en los cultivos de papa nativa, tiene funciones como ayudar a los agricultores en la gestión de sus cultivos, toma de decisiones y optimización de sus procesos. Agría, contribuye a que los productores reconozcan fácilmente enfermedades e insectos asociados al cultivo de papa, de manera rápida y precisa, que les permite el manejo integrado mediante estrategias culturales, físicas, biológicas, entre otras. Igualmente, de llevar el registro a través del tiempo de los problemas fitosanitarios asociados a las plantas como se ha registrado en la nota técnica 15.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aplicación Agría, contribuirá al monitoreo de las plantas de papa nativa en las zonas de influencia de Colombia y Bolivia, permitiendo a los productores llevar un seguimiento detallado del estado de sus cultivos, especialmente la sanidad de las plantas relacionadas con insectos y enfermedades. Además, la identificación rápida del problema fitosanitario asociado a las plantas facilita la toma de decisión para su manejo integrado.

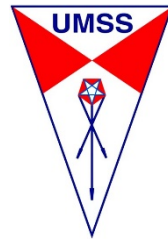
Para el buen funcionamiento de la *APP* Agría se recomienda un celular inteligente con sistema operativo Android y servicio de datos activo, cámara del celular funcional. Al estar dentro de los lotes de producción de papa nativa, localizar los problemas fitosanitarios en las plantas, tomar la foto del problema fitosanitario, con ello se identifica con claridad la plaga a través de Agría.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DeChant, C., Wiesner-Hanks, T., Chen, S., Stewart, E., Yosinski, J., Gore, M., Nelson, R., Lipson H. Automated Identification of Northern Leaf Blight- Infected Maize Plants from Field Imagery Using Deep Learning, *Phytopathology*, 107 (11: 1426–1432), Aug. 2017, doi: 10.1094/phyto-11-16-0417-r.
- FAO. Manual de Buenas Prácticas Agrícolas para el Productor Hortofrutícola. 2ª Edición. (2023). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
- Singh, U.P., Chouhan, S.S., Jain, S., Jain, S. Multilayer Convolution Neural Network for the Classification of Mango Leaves Infected by Anthracnose Disease. *IEEE Access* 2019, 7, 43721–43729.

INSTITUCIONES PARTICIPANTES



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org