

Sistema de información móvil para procesos de producción de semillas en bancos de recursos genéticos, caso de estudio CIAT

D. F. González*
A. M. Hernández**
L. Machuca***

Recibido: 31/07/2015 • Aceptado: 11/12/2015

DOI: 10.22395/rium.v15n28a10

Resumen

Este artículo es una extensión de los resultados de investigación presentados en el Workshop de Tecnologías de la Información y la Comunicación Aplicadas a la Agricultura (TIC-@GRO 2015). En esta oportunidad se extienden los detalles acerca de cómo se ha desarrollado el sistema de información móvil para procesos de producción de semillas en bancos de recursos genéticos. Se describen los procesos llevados a cabo anteriormente en la producción de semillas en campo y cómo estos demandaron la necesidad de manejar la información de manera consistente, organizada, actualizada y exacta. También se describe el desarrollo de un sistema de computación móvil como un componente indispensable para un sistema de información móvil, el cual integra componentes de software, hardware, móviles, recurso humano, gestión y control de información, y se obtienen, como resultado, las características de un sistema de documentación para bancos de recursos genéticos.

Palabras clave: sistema de información móvil, producción de semillas en campo, sistema de computación móvil, aplicaciones móviles, bancos de recursos genéticos, captura de datos en campo

* Ing. en Sistemas, analista de sistemas en el Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia, Km 17 Recta Cali-Palmira, Tel: 4450000 ext. 3638, email: d.f.gonzalez@cgiar.org.

** Magister in Management of Information Technology and Telecommunications, analista de sistemas en el Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia, Km 17 Recta Cali-Palmira, Tel: 4450000 ext. 3316, email: a.hernandez@cgiar.org

*** Magister en Ingeniería. Profesora asistente de la Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia, Calle 13 # 100-00, Tel: 3212100 ext. 2795, email: liliana.machuca@correounivalle.edu.co

Mobile information system for seed production processes in gene banks, CIAT study case

Abstract

This article is an extension of the research results presented on the Workshop on Information and Communication Technologies Applied to Agriculture (TIC-@GRO 2015). This time, details are provided about the way the mobile information system has been developed for seed production processes at gene banks. Processes conducted before in seed production are described, including the way such processes demanded a need for managing information in a reasonable, organized, updated, and accurate manner. The development of a mobile computation system is described as an indispensable element for a mobile information system which integrates elements of software, hardware, mobile devices, human resources, management, and information control; this results in characteristics of a documentation system for gene banks.

Key words: Mobile information system; seed production in the field; mobile computation system; mobile applications; gene banks; data capture in the field.

INTRODUCCIÓN

Los bancos de recursos genéticos tienen como misión garantizar la conservación y la disponibilidad de sus colecciones para diferentes propósitos, tales como seguridad alimentaria, estudios de biodiversidad y mejoramiento de cultivos. Por tanto, los bancos que mantienen colecciones de semillas tienen una serie de procesos para la producción en campo, con el fin de regenerar y aumentar la cantidad de materiales en los inventarios de conservación. Además, en estos procesos también se toman y corroboran datos sobre las características morfológicas de cada variedad sembrada a lo cual se le denomina caracterización.

El manejo en campo de semillas genéticamente heterogéneas es uno de los procesos más críticos en un banco de recursos genéticos. Esto es debido a que existen riesgos de pérdida de las características originales de los materiales y pérdida de su integridad genética que pueden ser causadas por una identificación incorrecta, mezclas mecánicas, inadecuada gestión de los sitios de siembra, entre otros factores, lo cual genera re-procesos e incremento en los costos de operación [1].

Para minimizar estos riesgos y mejorar la calidad de los procesos de producción de semillas se pueden implementar soluciones tecnológicas que promuevan el control e integridad de la información. Una de estas soluciones son los sistemas de información que pueden obtener y registrar oportunamente los datos desde y hacia los sitios de siembra con el fin de hacer trazabilidad de los materiales facilitando el manejo y toma de decisiones por parte de trabajadores, técnicos y coordinadores.

Por tanto, para un banco de recursos genéticos se ha vuelto indispensable tener un sistema de información que le permita registrar, centralizar y consultar los datos de los procesos de producción en campo, donde dicho sistema deberá cumplir con las características básicas tales como integridad de los datos, recuperación rápida de la información, operaciones fáciles para el usuario, funcionamiento flexible y organización de datos [2, 3].

Con la masificación del uso de dispositivos móviles y sus beneficios se ha propiciado el desarrollo de aplicaciones para Tablet enfocadas a este sector, donde se destacan la Universidad Estatal de Kansas que ha desarrollado una aplicación denominada FieldBook [4]; el Instituto Internacional del Arroz (International Rice Institute, IRRI) con sede en Filipinas también ha desarrollado la aplicación para Tablet Android denominada FieldLab [5]; y también se encuentra GerminateMobile aplicación para Tablet Android desarrollada por el grupo de ciencias computacionales del instituto escocés The James Hutton Institute [6]. Estas aplicaciones móviles tienen en común permitir al usuario tomar datos de caracterización y evaluaciones de materiales, pero no permiten registrar los datos de siembra, cosecha y pos-cosecha; también ofrecen

la captura de datos mediante interfaces de formularios con validadores de tipos de datos, facilitan las búsquedas y se vinculan a través de lectores de códigos de barras. Sin embargo, carecen de la sincronización con una base de datos central; por tanto, los usuarios deben exportar la información y compilarla ellos mismos, pero pueden incurrir en errores, pérdida de datos y demoras. Aunque las aplicaciones Germinate-Mobile y FieldLab tienen una interfaz para conectarse a software de escritorio, esta forma sigue siendo asíncrona.

Debido a la necesidad de obtener y registrar información oportuna desde el sitio de trabajo, para facilitar la trazabilidad y mejorar la producción de semillas, se ha desarrollado un sistema de información apoyado con tecnología de computación móvil que permite registrar los datos en el campo y realizar la sincronización de estos con la base de datos central del banco de recursos genéticos mediante web services. De esta manera, se obtiene un componente necesario para la implementación del sistema de información móvil.

El caso aplicado de este desarrollo es el banco de recursos genéticos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) el cual mantiene dos colecciones mundiales de semillas de gran importancia para la agricultura y la alimentación como lo son el cultivo de frijol con 37.987 variedades y los pastos tropicales con 23.140 variedades [2].

Los procesos de producción de semilla en los que se enfoca este trabajo son: los procesos de siembra, cosecha y etiquetado de materiales, caracterización y recepción de materiales en pos-cosecha. En estos procesos se identificaron deficiencias en el registro y consolidación de la información, ya que ocasionaban cuellos de botella en la recuperación y disponibilidad de los datos sobre materiales sembrados y cosechados. Todos estos procesos se han venido realizando a través de registros en papel en donde los actores involucrados debían pasar tiempo transcribiendo, corrigiendo y validando la información con respecto a la base de datos central del banco. Adicionalmente, se generaban contratiempos para hacer seguimiento sobre una variedad durante y finalizado el proceso.

Este artículo es una extensión del resultado de la investigación presentada en el primer Workshop de Tecnologías de la Información y la Comunicación Aplicadas a la Agricultura (TIC-@GRO 2015), investigación que fue financiada por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). En [7] se presentó la experiencia acerca del mejoramiento del proceso de producción de semillas en campo del Banco de Recursos Genéticos del CIAT, gracias a la implementación de un sistema de computación móvil y en esta extensión se amplían los detalles del desarrollo del sistema de información móvil y la experiencia que a través de su diseño e implementación se han obtenido. También se presentan algunos resultados en cuanto a funcionalidad, capacidad, disminución de errores, reducción de costos, etc.

La estructura del artículo se encuentra definida de la siguiente manera: En la sección 1 se presentan las actividades que se llevaron a cabo para el desarrollo del sistema de información móvil. En ellas se describe el análisis de los procesos de producción en campo y el desarrollo del sistema de información móvil apoyado por la implementación del sistema de computación móvil en campo. En la sección 2 se detallan los resultados obtenidos con la implementación del sistema de información móvil. Finalmente, la sección 3 corresponde a las conclusiones y trabajos futuros.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología seguida para el desarrollo de este proyecto se sustenta en las necesidades que un banco de recursos genéticos requiere para definir un sistema de información, así como las bases metodológicas del campo de la ingeniería de software.

Se identificaron los componentes necesarios para un sistema de información [8] tales como: desarrollo tecnológico (hardware, software, redes), usuarios (curadores, coordinadores, trabajadores de campo), captura de datos e información, procesos de gestión de datos, manejo y control de la información como se presentan en la figura 1. Teniendo en cuenta estos componentes fue necesario desarrollar un subsistema que permitiera la interacción entre estos, para lo cual se propuso la construcción de un sistema de computación móvil que tuviera características que facilitaran captura de información, la gestión de información y la interacción con los usuarios, y que tuviera procesos que permitieran obtener datos organizados, correctos y actuales.



Figura 1. Componentes de un sistema de información.

Fuente: [8]

El desarrollo del sistema de computación móvil estuvo orientado por la metodología RUP (Rational Unified Process en inglés). Las actividades de este proceso de desarrollo estuvieron enfocadas en la recolección de información, en el análisis de procesos en la producción de campo, en el diseño e implementación de la arquitectura del sistema de computación móvil, así como en la puesta en ejecución del sistema por parte de los usuarios.

A continuación, se describen las actividades que se llevaron a cabo.

1.1 Análisis de procesos

Buscando mejorar la calidad de los procesos llevados a cabo en la producción de semillas en campo fue necesario identificar algunos de los propósitos fundamentales de un banco de recursos genéticos los cuales son presentados en la tabla 1. [2]. También, fue necesario identificar procedimientos, herramientas y técnicas usadas para cumplir con estos propósitos.

Tabla 1. Propósitos fundamentales del banco de recursos genéticos del CIAT

N°	Propósito
1	Conservar la diversidad biológica.
2	Conservación a largo plazo de los recursos genéticos.
3	Garantizar que las personas puedan acceder a los recursos.
4	Regeneración de material genético.
5	Manejar la información de manera confiable y organizada.

Fuente: elaboración propia

Durante la identificación de procedimientos se notó que no se tenía una documentación detallada de los procedimientos a realizar en campo y que estos se basaban en el conocimiento adquirido por el curador (responsable de conservar la biodiversidad de un cultivo) y los trabajadores de campo. Por tanto, esto dificulta la rotación del personal y los cambios en los procedimientos ya que puede tomar más tiempo en ser adaptado por los usuarios.

Las herramientas y técnicas usadas para llevar a cabo la producción y documentación en campo no eran las adecuadas para el trabajo que se debía realizar y las condiciones bajo las cuales debían ser usadas. Realizar la captura de datos en papel por distintos trabajadores dificulta la lectura de la caligrafía; las modificaciones o consultas de información se convierten en situaciones que toman mucho tiempo al usuario y detección de posibles cruces o errores en etapas tempranas no son posibles.

La identificación de los materiales se realizaba mediante etiquetas de códigos de barras. Aunque este era un método correcto de identificación dificultaba al usuario la lectura y la escritura de los códigos en el papel ocasionando retrasos y re-procesos por falta de herramientas complementarias.

Además, la transcripción y transferencia de información se realizaba de manera manual en cada una de las estaciones experimentales.

Teniendo en cuenta lo anterior, es evidente la necesidad de un sistema de información móvil que apoye la gestión de los procesos de producción en campo, que permita realizar la captura de datos de manera más eficiente haciendo uso de formularios digitales para el registro y recuperación de información, hacer uso de herramientas complementarias para la identificación de los materiales con código de barra, identificar y evitar posibles cruces en determinadas ubicaciones mediante un sistema flexible y con datos actuales de los materiales en campo, transferir información desde las distintas estaciones experimentales, e integrar la información dejándola a disposición del curador de campo para posteriores análisis.

Para el diseño e implementación del sistema de información es necesario analizar adecuadamente el proceso de producción en campo [1] identificando cada uno de sus subprocesos, teniendo en cuenta los datos usados en estos y cumpliendo con los propósitos fundamentales del banco de recursos genéticos del CIAT. En este caso, para llevar a cabo los propósitos de conservación de la diversidad biológica de los materiales es necesario realizar una serie de procesos en los cuales, constantemente, a los materiales conservados se les realizan una serie de evaluaciones para determinar su estado durante su tiempo de conservación. Si en algún momento estos materiales se encuentran con poca semilla, viabilidad baja o no son sanos deben ser llevados al proceso de producción (multiplicación / regeneración) [9] como se muestra en la figura 2.

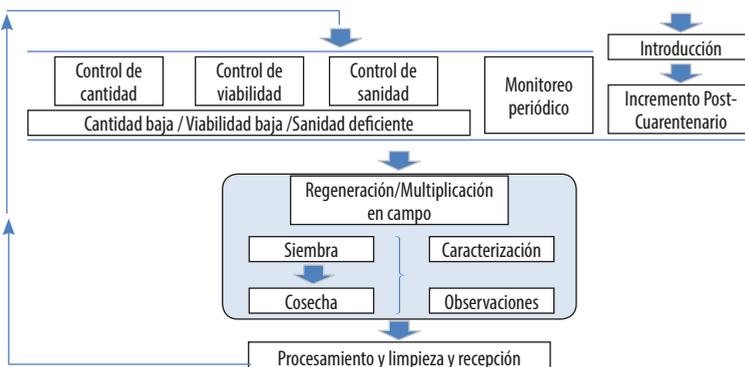


Figura 2. Diagrama de flujo de semillas del banco de recursos genéticos del CIAT.

Fuente: elaboración propia

Una vez los materiales son enviados a campo pasan por una serie de subprocesos, como se muestra en la figura 3, con los cuales se busca aumentar la cantidad de semillas, mejorar la viabilidad, mejorar la sanidad o llevar una monitorización periódica del estado de los materiales.

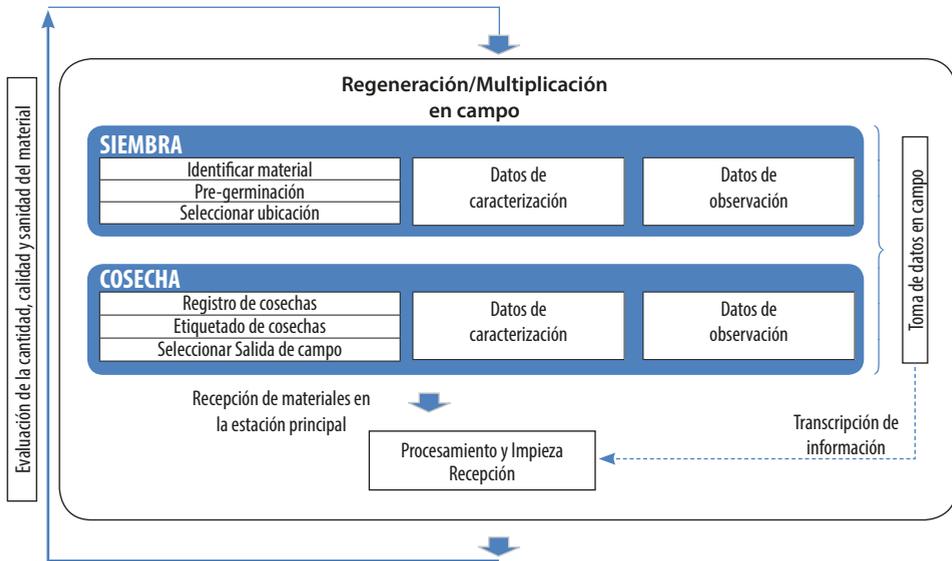


Figura 3. Diagrama de subprocesos de producción en campo.

Fuente: elaboración propia

En estos subprocesos se maneja la información por medio de registros escritos a mano, y las herramientas usadas para la captura de información no son adecuadas para realizar un trabajo en campo eficiente; esto ocasiona que los materiales sean enviados a recepción antes que la información relacionada con estos llegue a la estación principal.

1.2 Descripción de procesos en la producción en campo

Una vez el material es enviado a campo por motivo de multiplicación o regeneración de material a este se le debe asignar un número de identificación (# parcela), e inicia su ciclo de producción como se detalla a continuación:

- 1) Siembra: proceso donde los materiales son sembrados en ubicaciones que tengan características morfo-agronómicas para un adecuado crecimiento; también consta de la asignación de una fecha y cantidad de semillas sembradas; durante este proceso se debe prever que no se generen cruces.
- 2) Gestión de lugares de siembra: proceso de selección de sitios donde debe ser sembrado un material buscando que tenga características similares a las del sitio

de origen y que cumpla con las condiciones de altura, humedad, tipo de suelo, espacio y que no esté expuesto a posibles cruces.

- 3) Cosecha y etiquetado de materiales: proceso donde se registra fecha de inicio, fecha de fin y cantidad de semillas cosechadas de un material. En este proceso también es posible asignar un motivo de salida el cual indica el estado final del material como lo es cantidad de semilla suficiente, material muerto, material enfermo, etc.
- 4) Caracterización [9] y observaciones: durante estos procesos de producción se realiza la captura de datos morfológicos de los materiales como son: color de hipocotilo, hábito de crecimiento, tipo de vaina etc. También se realiza la captura de información complementaria u observaciones que pueden variar o no tener una clasificación específica como lo es la detección visual temprana de posibles cruces, enfermedades, crecimientos anormales, etc.

Estos procesos dependen mucho de la experiencia de los trabajadores de campo.

- 5) Generación de reportes: proceso que se realiza una vez la información es analizada, transcrita y consolidada en la base de datos, permitiendo generar reportes para la toma de decisiones como espacios libres, materiales con posibles cruces, materiales por caracterizar, materiales con producción suficiente, etc.
- 6) Recepción de materiales: proceso que consiste en la identificación de los materiales que llegan a la estación principal donde se registra en la base de datos la cantidad de semillas que ingresan y son almacenadas.

Los identificadores de materiales son escritos a mano y también son interpretados visualmente por los trabajadores de campo. También la información colectada en los distintos subprocesos es llevada a la estación principal y transcrita a Excel para posteriormente ser cargada a la base de datos central para futuros análisis. La figura 4 muestra el manejo de la información en campo.

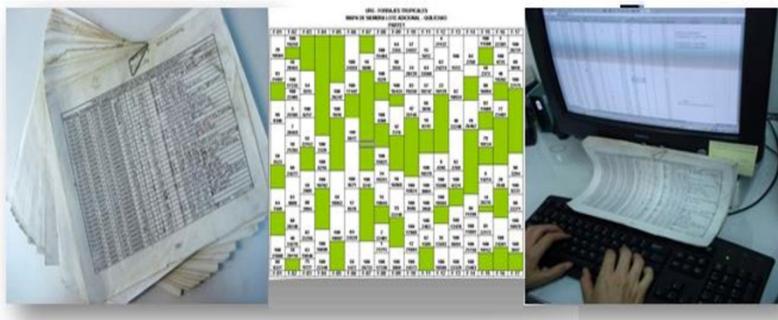


Figura 4. Manejo de la información en campo.

Fuente: elaboración propia

1.3 DESARROLLO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN MÓVIL PARA BANCOS DE RECURSOS GENÉTICOS

Un banco de recursos genéticos internacional requiere de un sistema de información que le permita documentar todos los datos relacionados con los materiales que son conservados. Estos datos parten de la información de pasaporte la cual hace referencia a los datos de colecta: género, especie, sitio de colecta, altura, tipo de suelo, etc. También incluye los datos de siembras, cosechas, caracterización morfológica y observaciones que se van realizando durante los ciclos de regeneración y multiplicación de los materiales en el banco.

El sistema de información, además de permitir la captura de datos, debe permitir la organización de la información, ser flexible y asequible por todos los usuarios involucrados en el proceso de conservación de materiales.

Con la implementación de un sistema de información se puede dar claridad a los objetivos y procedimientos realizados en los procesos de producción de semillas en campo, así como mantener la información actualizada y confiable.

De acuerdo con [2] es necesario tener un sistema de información que cumpla con algunas características básicas como las mostradas en la tabla 2, las cuales proporcionan la base para un adecuado sistema de información de calidad.

Tabla 2. Características básicas de sistema de documentación

<i>N°</i>	<i>Característica</i>
1	Integridad de los datos.
2	Recuperación rápida de la información.
3	Operaciones fáciles para el usuario.
4	Funcionamiento flexible.
5	Organización de datos.

Fuente: [2]

En busca de cumplir con un sistema de información de calidad y de mejorar los procesos que se llevaban a cabo en la producción de semillas en campo fue necesario implementar un sistema de computación móvil que permitiera cumplir con las características de la tabla 2. Detalles de su desarrollo se encuentran descritos en [11].

A. Descripción del sistema de computación móvil

El sistema de computación utiliza dispositivos móviles como herramientas de apoyo y técnicas de sincronización de datos que se adaptan a las necesidades de los usuarios

en campo. La arquitectura usada por el sistema de computación móvil se presenta en la figura 5, en ella se detallan sus componentes y las tecnologías usadas en el lado cliente/servidor.

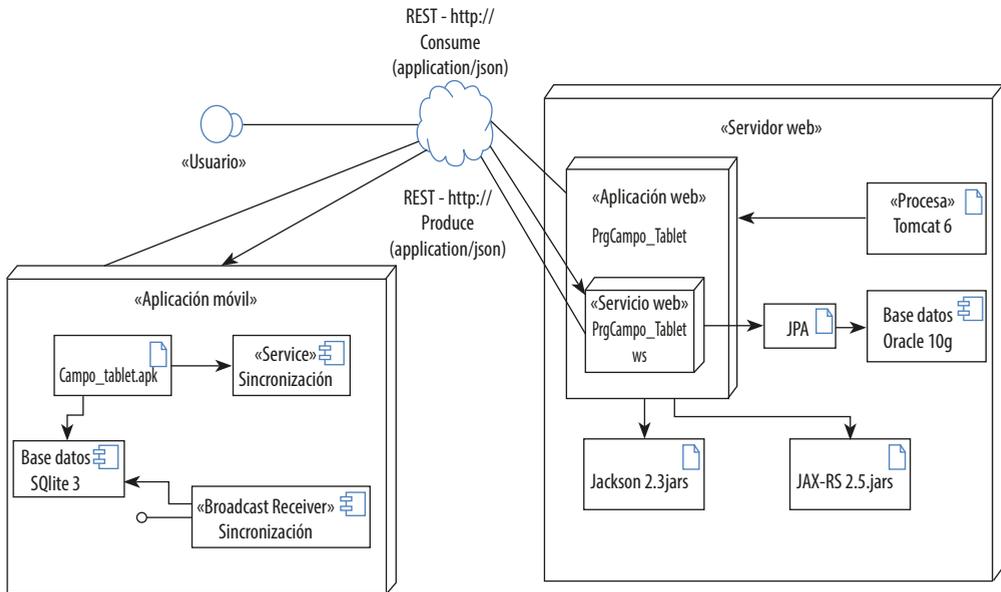


Figura 5. Arquitectura detallada del sistema de computación móvil.

Fuente: elaboración propia

El sistema de computación móvil está conformado por un servidor web Apache Tomcat 6 el cual hospeda un conjunto de aplicaciones Web o componentes que permiten el adecuado funcionamiento del sistema. Sobre este servidor se ejecutan dos aplicaciones Web desarrolladas bajo la plataforma Java EE6 (Java Enterprise Edition 6) con el framework JSF (JavaServer Faces), una tecnología estándar para la construcción de interfaces de usuario del lado del servidor [12]. También se encuentran dos Web Services para la sincronización de información de los procesos de producción en campo y recepción. Estos web services se han implementado bajo el estilo de arquitectura Restful con el estándar JAX-RS 2.5 haciendo uso de la herramienta Jackson 2.3 la cual permite el análisis y procesamiento de datos en formato JSON [13]. El sistema también cuenta con una base de datos desarrollada en Oracle 10g, la cual es accedida por medio de JPA (Java Persistence API) que es una especificación Java que permite el mapeo y manejo de base de datos relacionales [14].

Por medio de un conjunto de protocolos en los servicios web se realiza una conexión con los clientes (desktop/tablet's) a través de internet (GPRS/Wi-fi).

Las aplicaciones móviles son desarrolladas bajo la plataforma de Android para versiones 2.3 o 4.x utilizando componentes nativos y características de hardware como cámara y bluetooth. También cuentan con una persistencia local diseñada en SQLite3 [15], un motor de base de datos transaccional desarrollado para dispositivos móviles.

En la implementación del sistema de computación móvil se utilizan tablets, lectores de códigos (códigos de barra y QR quick response code) e impresoras móviles como herramientas de apoyo al proceso de producción en campo; estos dispositivos se encargan de capturar, registrar y sincronizar los datos [16].

Este sistema de computación móvil sirve de apoyo para cada uno de los subprocesos de producción en campo ya que utiliza formularios simplificados de entrada de datos en el dispositivo móvil, como se muestra en la figura 6.

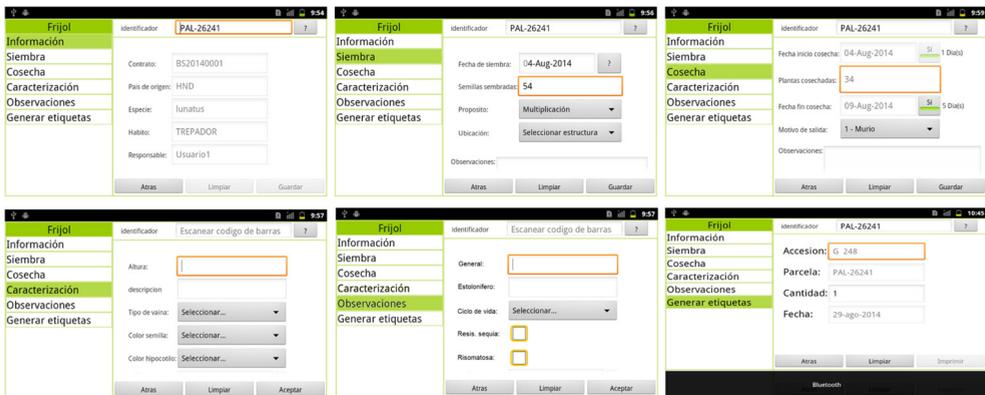


Figura 6. Formularios de captura de datos.

Fuente: elaboración propia

La aplicación móvil está desarrollada bajo la plataforma Android para trabajar con una conexión online u offline a Internet al igual que permite realizar la lectura e impresión de códigos de barras y QR; también se puede conectar mediante una conexión bluetooth con un lector de códigos externo para optimizar la identificación de los materiales.

La aplicación móvil cuenta con tres módulos:

- 1) Captura de datos: los formularios contenidos en este módulo permiten llevar a cabo el registro y consulta de siembras, cosechas, caracterización, observaciones, y generar etiquetas con códigos de barras y QR. Este se realiza de manera ágil y confiable puesto que consta de componentes de interfaz gráfica como listas, botones de chequeo, selectores de fecha y validación de datos numéricos y texto,

los cuales minimizan la posibilidad de cometer errores en el momento de ingresar la información.

Debido a que los campos de información para la caracterización pueden variar en el tiempo, la aplicación cuenta con un módulo flexible en el cual se pueden configurar de acuerdo con las necesidades del banco de recursos genéticos.

La aplicación cuenta con funcionalidades que gestionan fácilmente la vinculación con periféricos mediante la conexión bluetooth para generar etiquetas de cosecha por medio de impresoras móviles de código y agilizar la lectura por medio de lectores de código de barra y QR.

- 2) Gestión de estaciones: este módulo permite gestionar las estructuras de campo (invernaderos y lotes) (figura 7), brindándole flexibilidad al usuario para crear y modificar estructuras, al igual que permite identificar espacios libres, evitar cruces, consultar la ubicación de materiales y llevar cada uno de los subprocesos en sitio.
- 3) Generador de reportes: permite tomar decisiones de acuerdo con la información contenida en la Tablet, realizando consultas de acuerdo con filtros específicos (Propósitos de siembra, estructuras, motivos de salida, etc.) (figura 8).

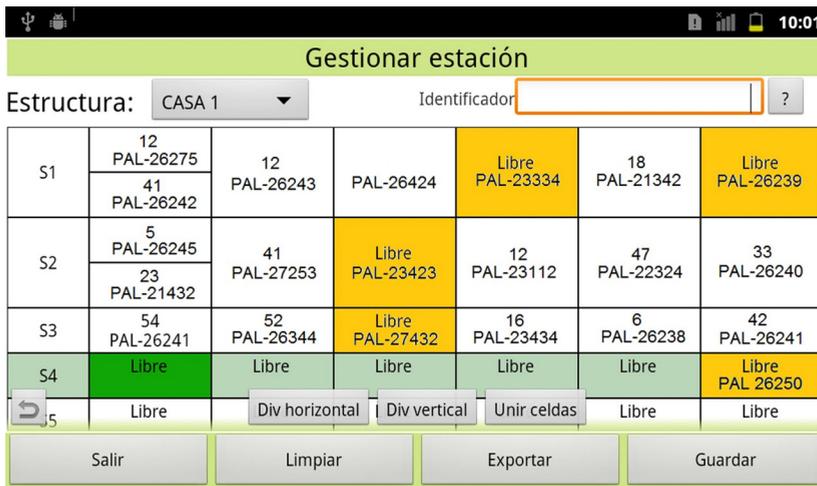


Figura 7. Módulo de gestión de estación.

Fuente: elaboración propia

Una vez las semillas cosechadas en campo llegan a la estación principal se realiza una identificación y verificación de los materiales de acuerdo con unos datos básicos (accesión, género, especie, etc.). También se hace una verificación visual del material comparándolo con la imagen contenida en la base de datos. Después de identificados se registra en la base de datos el ingreso de los materiales mediante una conexión Wi-Fi.

Este registro de información se lleva a cabo mediante el uso de una aplicación móvil en la estación principal (figura 9), la cual le permite al usuario consultar la información asociada a un material mediante una conexión Wi-Fi al igual que permite consultar la imagen de este material permitiendo identificar y registrar la información de manera más eficiente.



Figura 8. Módulo generador de reportes.

Fuente: elaboración propia



Figura 9. Aplicación móvil de recepción de materiales.

Fuente: elaboración propia

2. RESULTADOS

Las investigaciones relacionadas con datos de biodiversidad deben ir soportadas por información confiable. Es por ello que, la implementación de un sistema de información

para bancos de recursos genéticos enfocado a los procesos de producción en campo ha permitido obtener calidad, integridad y relación de los datos, lo que permite tener información de gran importancia para los curadores, coordinadores de campo, investigadores, científicos entre otros.

Con el uso del sistema de información móvil se ha logrado centralizar la información de una forma organizada y actualizada, lo cual facilita la monitorización de los materiales ubicados en las distintas estaciones de campo. Además, se ha sido posible obtener información más rápidamente, disminuir el número de reprocesos a causa de la poca disponibilidad de la información, optimizar los recursos e identificar espacios libres en las estructuras.

Una característica de gran importancia en este sistema de información ha sido la capacidad que tienen los dispositivos móviles para sincronizar datos. Esto favorece que la información obtenida de las estaciones experimentales que se encuentran ubicadas en sitios de difícil acceso se realice más fácilmente. Con esta característica se han reducido tiempos y costos debido a traslados, permitiendo que se tenga información casi en tiempo real del estado de los materiales en campo.

El desarrollo de estas aplicaciones móviles permite identificar fácilmente el flujo de los procesos a realizar, al igual que el uso de formularios digitales despliega mayor cantidad de información al momento de realizar la captura de los datos, y permite transferir el conocimiento a nuevos trabajadores que se incorporen a las labores de campo, ya que anteriormente los formatos y registros solo eran mantenidos por las personas que tenían mayor experiencia e información acerca de los procesos.

Uno de los principales propósitos de un banco de recursos genéticos es mantener la información de los materiales conservados de manera confiable y organizada para mantener la base de conocimiento sobre el cultivo. En el caso del banco de recursos genéticos del CIAT se ha logrado almacenar toda la información recolectada en campo evitando la pérdida de la misma y facilitando su análisis.

Se aplicó una encuesta para medir en qué aspectos el usuario ha percibido que la implementación del sistema de información móvil ha mejorado su trabajo y cuál ha sido ese porcentaje de satisfacción.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la tabla 3, se observa que el sistema de información móvil tiene una gran aceptación en cuanto a la confiabilidad de la información y al uso que se le da en campo. También se detectaron algunas falencias, las cuales eran ocasionadas por el tiempo de adaptación de algunos trabajadores y por la aceptación de la transición de un sistema manual a un sistema digital. Un punto

importante a resaltar es que se ha logrado reducir en un 90 % la cantidad de reprocesos gracias a la implementación del sistema de computación móvil.

Tabla 3. Resultados de evaluación

<i>N°</i>	<i>Preguntas</i>	<i>%</i>
1	Los dispositivos móviles sirven como herramienta de apoyo en los distintos procesos de producción en campo.	90
2	Con qué frecuencia usa los dispositivos móviles en campo	65
3	Las aplicaciones móviles facilitan la consulta de información y permiten capturar la información necesaria o más de la requerida.	100
4	La información contenida en los dispositivos móviles es confiable	80
5	Los dispositivos móviles agilizan las labores en los procesos de campo	58
6	Es posible hacerle seguimiento a un material en campo.	60
7	En cuánto se ven reducidos los costos a causa de reprocesos debido a los dispositivos móviles.	90
8	Se tiene confiabilidad en la persistencia de la información.	100

Fuente: elaboración propia

Adicional a la encuesta, se creó una tabla comparativa de los costos del sistema usado anteriormente frente al el costo del sistema actual. Los detalles de la comparación se encuentran en la tabla 4. En esta tabla se reflejan los costos de operación de los procesos realizados manualmente en el sistema anterior y los costos del desarrollo y puesta en marcha del sistema de información móvil. Los valores dejan ver que el costo de implementación del sistema de información móvil es más alto, no queriendo decir con ello que en un futuro esos valores no disminuyan considerablemente. Cabe resaltar que a pesar de que el valor sea mayor los resultados obtenidos con respecto a los procesos y respuesta oportuna de la información han mejorado considerablemente.

Tabla 4. Costos de manejo del sistema anterior y de la implementación del nuevo sistema de información móvil

<i>Costo ocasionado por el sistema anterior</i>		<i>Costo implementación del sistema de información móvil.</i>	
<i>Proceso</i>	<i>Costo actual \$</i>	<i>Rubro</i>	<i>Valor (en pesos)</i>
Obtención de información (Cali - Popayán)	224.000 x 1 mes (4 días)	Personal	\$11.400.000

<i>Costo ocasionado por el sistema anterior</i>		<i>Costo implementación del sistema de información móvil.</i>	
<i>Proceso</i>	<i>Costo actual \$</i>	<i>Rubro</i>	<i>Valor (en pesos)</i>
Captura de información (hojas, tiempo de captura)	1600.000 x 1 mes (30 días)	Hardware	\$30.830.550
Verificación de Información	13.300 x 2 h/día=400000 mes	Software	\$63.182
Transcripción de información	66.000 x 2 d/mes	Desplazamiento CIAT/Estaciones Experimentales	\$3.584.000
Entrega de información	224.000 x 1 mes (4 días)	Recursos Bibliográficos y Papelería	\$190.000
Generación de reportes	66.000 x 2 días		
Total Año	2.580.000 x 12 = 30'960.000 pesos	Total del Proyecto	46.067.732 pesos

Fuente: elaboración propia

También se realizó un cálculo promedio de costos a 10 años con el fin de observar el comportamiento en el futuro del sistema anterior con respecto a la inversión del nuevo sistema. Con este cálculo se logró identificar que los costos de operación del sistema de información móvil a medida que avanza el tiempo disminuyen, produciendo un ahorro con respecto al sistema tradicional, tal como se muestra en la figura 10. Se logra identificar que gracias al nuevo sistema de información se obtiene una reducción promedio de casi un 56 % lo cual es muy significativo en los costos que pueden ir representados durante la regeneración o multiplicación de un material.

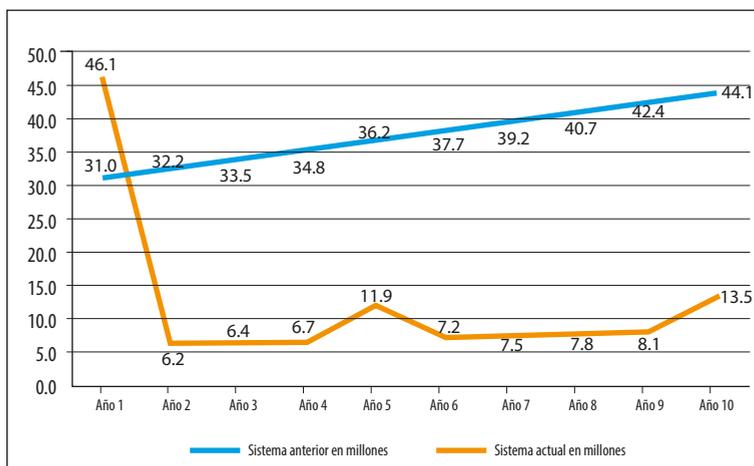


Figura 10. Relación de costos sistema anterior vs. costos sistema actual.

Fuente: elaboración propia

Finalmente, se puede decir que el sistema de información desarrollado cumple con los requerimientos exigidos para la implementación de un sistema de información móvil permitiendo así satisfacer las características básicas de documentación para bancos de recursos genéticos, ver tabla 2.

3. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La implementación de un sistema de información móvil para procesos de producción de semillas en bancos de recursos genéticos es una manera recomendada para el manejo de grandes cantidades de información en cuanto a datos de captura, capacidad de almacenamiento, organización y análisis de la información.

En la implantación de dispositivos móviles y tecnologías para la sincronización de datos, la inversión inicial es alta, ya que se incurre en costos de adquisición de hardware, tiempo de desarrollo, capacitación, implementación y soporte, pero con el tiempo esta inversión se ve reflejada en la calidad de la información, eficiencia en los tiempos de captura de datos y con la reducción de costos operativos a causa de reproceso y desplazamientos.

Los sistemas de información móvil se ven afectados por su dependencia a un sistema de computación móvil y estos, a su vez, dependen de una correcta planeación y aceptación por los usuarios finales a quienes se les debe dedicar tiempo en capacitaciones y seguimiento, lo que determina el éxito de la implementación de un sistema de información móvil.

Cumplir con los requerimientos de documentación para bancos de recursos genéticos por medio de la implementación de un sistema de información móvil permite cumplir eficazmente con los objetivos de conservación de los bancos de recursos genéticos.

Gracias al almacenamiento organizado de grandes cantidades de información se planea a futuro poder desarrollar una herramienta que por medio de análisis estadísticos y de inteligencia artificial pueda realizar predicciones como: los posibles sitios donde el material tendría más posibilidades de crecer sano, en qué momento un material podría presentar una enfermedad común, etc.

En un futuro se planea disponer de información proveída por otro tipo de dispositivos como lo son sensores y estaciones meteorológicas que permitan determinar el estado del suelo y tomar decisiones de precisión.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el acompañamiento de la Universidad el Valle. Los autores agrade-

cen especialmente al Dr. Daniel Debouck líder del Programa de Recursos Genéticos del CIAT, al grupo de trabajadores de las estaciones de regeneración de semillas del Programa de Recursos Genéticos del CIAT y al Ing. Cristian Darío Loaiza O.

REFERENCIAS

- [1] Rao, N. K., J. Hanson, M. E. Dulloo, K. Ghosh, D. Novell y M. Larinde. 2007. Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma, Manuales para Bancos de Germoplasma N.º 8. Bioersity International, Roma, Italia.
- [2] Painting, K. A., Perry M. C., Denning, R. A. y Ayad, W. G. 1993. Guía para la Documentación de Recursos Genéticos. Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma.
- [3] Crop Genebank Knowledge Base (2014), Procedures, Characterization homepage cropgenebank [online], Available: <http://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/index.php/procedures-mainmenu-242/characterization-mainmenu-205>
- [4] Rife, Trevor W., Poland, Jesse A., Field Book: An Open-Source Application for Field Data Collection on Android, *Crop Sci.* 2014. 54:1624–1627. doi:10.2135/cropsci2013.08.0579
- [5] International Rice Research Insitute (2014), (IRRI), Products. Homepage bbi.irri [online], Available: <http://bbi.irri.org/products>
- [6] The James Hutton Institute (2015), Information & Computational Sciences. Homepage ics.hutton.ac.uk [online], Available: <http://ics.hutton.ac.uk/germinate-mobile/>
- [7] González Monroy, D. F.; Hernández, A. M.; Machuca Villegas, L., “Experience in Improving the Seed Production Process Through Mobile Devices in Plant Genebanks,” presentado en 1er Workshop de Tecnologías de la Información y la Comunicación aplicadas a la Agricultura (TIC-@gro), Popayán, Colombia, 2015.
- [8] J. A. O’Brien y G. M. Marakas. *Sistemas de información gerencial*, 7ª ed., México: McGraw-Hill, 2006, 592 p.
- [9] The Crop Genebank Knowledge Base (2015), Regeneration, Homepage cropgenebank.sgrp.cgiar.org [online], Available: <http://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/index.php/procedures-mainmenu-243/regeneration-mainmenu-206>
- [10] The Crop Genebank Knowledge Base (2015), Characterization, Homepage cropgenebank.sgrp.cgiar.org [online], Available: <http://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/index.php/management-mainmenu-433/transgenes-mainmenu-546/characterization-standards>
- [11] González Monroy, D. F.; Hernández, A. M.; Machuca Villegas, L., “Mobile computing system to support the management of the seed production process in crop genebanks,” *Computing Colombian Conference (9CCC)*, 2014 9th, vol., no., pp.109, 114, 3-5 Sept. 2014
- [12] Oracle (2015), Java EE, Java Server Faces Technology [Online], Available: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javae/javaxserverfaces-139869.html>

- [13] Jackson Project Home (2015), Jackson, Jackson home [Online], Available: <https://github.com/FasterXML/jackson>
- [14] Oracle (2015), Java EE, Java Persistence API [Online], Available: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/tech/persistence-jsp-140049.html>
- [15] SQLite (2015), SQLite, SQLite home [Online], Available: <https://www.sqlite.org/>
- [16] González Monroy, D. F.; Hernández, A. M.; Machuca Villegas, L., Aplicación móvil de captura y sincronización de datos para la producción en campo e invernaderos del programa de recursos genéticos del CIAT, Universidad del Valle, 2015, Cali, Colombia.