

Sistema de trazabilidad aplicado a la producción de semilla bajo el esquema de mínimos para cultivos semestrales en los valles interandinos

Traceability system applied to seed production under the minimum scheme for semi-annual crops in the inter-Andean valleys

Deisy Lorena Flórez-Gómez¹; Magda Jenny Medina-Mérida²; Karen Viviana Osorio-Guerrero³; David Napoleón Vargas-Ramírez⁴; Sair Jaramillo-Bonilla⁵; Luis Ernesto Ortega-Herrera⁶; Luisa Fernanda Sarmiento-Moreno⁷

¹Ing. Agrónoma. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central. Mosquera - Cundinamarca, Colombia; e-mail: dlflorez@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0003-3676-7564>

²Ing. Industrial. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central. Mosquera - Cundinamarca, Colombia; e-mail: mmedina@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0003-0537-344X>

³Ing. Agroforestal, M.Sc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central. Mosquera - Cundinamarca, Colombia; e-mail: kosorio@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0002-9252-9993>

⁴Ing. Agrónomo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central. Mosquera - Cundinamarca, Colombia; e-mail: dnvargas@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0001-7645-6256>

⁵Ing. Agrónomo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Nataima. El Espinal - Tolima, Colombia; e-mail: sjaramillo@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0003-1297-7444>

⁶Administrador agropecuario. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Nataima. El Espinal - Tolima, Colombia; e-mail: lortegon@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0002-7693-8295>

⁷Ing. Agrónoma, M.Sc. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Sede Central. Mosquera - Cundinamarca, Colombia; e-mail: lsarmiento@agrosavia.co; <https://orcid.org/0000-0002-1083-0898>

Cómo citar: Flórez-Gómez, D.L.; Medina-Mérida, M.J.; Osorio-Guerrero, K.V.; Vargas-Ramírez, D.N.; Jaramillo-Bonilla, S.; Ortega-Herrera, L.E.; Sarmiento-Moreno, L.F. 2021. Sistema de trazabilidad aplicado a la producción de semilla bajo el esquema de mínimos para cultivos semestrales en los valles interandinos. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 24(2):e1689 <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n2.2021.1689>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación inicial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: agosto 25 de 2020

Aceptado: septiembre 1 de 2021

Editado por: Ingeborg Zenner de Polanía

RESUMEN

La semilla es el insumo principal para el establecimiento de sistemas productivos agrícolas, por lo cual, durante la producción de semilla, una condición indispensable es que se mantenga la calidad del material en todo el proceso incremental. El Departamento de Semillas de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia, comprometido con el

cumplimiento de los requisitos establecidos en la Resolución ICA 3168 de 2015 y en el Decreto del MADR 931 de 2018, en todos sus procesos productivos, ha desarrollado e implementado un Sistema Interno de Trazabilidad (SIT) para la producción de semilla y, específicamente, en una de sus estrategias denominada Plan de Mínimos para cultivos semestrales soya, algodón, arroz, maíz y sorgo en los valles interandinos. Los resultados mostraron que esta herramienta tecnológica facilitó, en el proyecto, realizar el

monitoreo y el seguimiento de las labores, el registro de eventos climáticos, el manejo eficiente de inventarios y el análisis de costos. Esta reflexión es un trabajo pionero en Colombia, que contribuye a la toma de decisiones, a mejorar la productividad y a fortalecer el Sistema Nacional de Semillas.

Palabras clave: Producción de semilla; Trazabilidad; Control de la calidad; Codificación; Cultivos semestrales.

ABSTRACT

Seed is the main input for the establishment of agricultural production systems, so during seed production an indispensable condition is that the quality of the material is maintained throughout the incremental process. The Seed Department of Colombian Agricultural Research Corporation- Agrosavia, committed to complying with the requirements established in Resolution ICA 3168 of 2015 and Decree MADR 931 of 2018 in all its production processes, has developed and implemented an Internal Traceability System (SIT) for the production of seed and specifically in one of its strategies called Minimum Plan for semi-annual crops of soybean, cotton, rice, corn and sorghum in the inter-Andean valleys. The results show that this technological tool facilitated in the project carried out the monitoring and tracing of the crops work, the registry of climatic events, the efficient management of inventories and the analysis of costs. This is a pioneering work in Colombia, which contributes to decision making, improve productivity and strengthen the National Seed System.

Keywords: Seed production; Traceability; Quality control; Coding; Semi-annual crops.

INTRODUCCIÓN

La multiplicación de semilla es un proceso estratégico y prioritario para un programa de producción de semilla (Ferro *et al.* 2009); comprende, el primer eslabón de los procesos agroalimentarios y desencadena acciones, desde la agricultura familiar hasta la industrializada, depositándose la información genética y el potencial productivo de los cultivos. El sistema de producción de semilla debe garantizar su multiplicación y su disponibilidad, cumpliendo estrictos estándares de calidad. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), publicó el decreto 931 del 28 de mayo de 2018, con el que se crea el Sistema de Trazabilidad Vegetal, integrado por un conjunto de actores, normas, procesos e información organizada, a fin de garantizar la trazabilidad de las especies y los productos vegetales en el país. El decreto aplica a toda persona natural o jurídica que produzca, transforme, transporte, distribuya o comercialice especies vegetales y sus productos comestibles para el consumo humano, en el mercado nacional o internacional (MADR, 2018). En este sentido, Qian *et al.* (2020) afirman que el sistema de trazabilidad se convierte en una herramienta de seguimiento para salvaguardar la transición de los productos, durante la cadena de suministros.

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) normatiza la

producción de semillas, mediante la Resolución 3168 de 2015 (ICA, 2015) y puntualiza en el capítulo VII artículo 23.2.1.6, “que el productor de semilla debe contar con un sistema de control interno de calidad que permita realizar la trazabilidad de los lotes de producción”. Por tanto, una de las opciones es implementarla mediante el uso de formatos en papel para el registro de la información (Corallo *et al.* 2020b), sistema conocido en el sector agropecuario de Colombia, como Libro de Campo, en donde se documentan, de forma manual, todas las novedades y prácticas agrícolas realizadas en el cultivo (ICA, 2015). Este registro manual es el comienzo en el proceso de adopción de sistemas de trazabilidad para organizaciones o productores de semillas en el país; sin embargo, la gran desventaja de los libros de campo físicos radica en la dificultad para compilar y disponer de la información en tiempo real, para el análisis y la toma de decisiones, limita el seguimiento a las operaciones y dificulta responder oportunamente ante eventualidades que se presenten en la producción (Toranzo *et al.* 2012; Corallo *et al.* 2020b).

A nivel nacional, se ha reglamentado la implementación de sistemas de trazabilidad digitales en algunas cadenas del sector agropecuario; por ejemplo, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) define en la norma técnica número 5522, “Buenas prácticas agrícolas. Trazabilidad en la cadena alimentaria para frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas” (ICONTEC, 2007), las bases para el diseño y activación de un sistema de trazabilidad en la cadena de alimentos para consumo humano y animal.

La Federación Nacional de Cafeteros ha trabajado en la implementación de la trazabilidad del café, para asegurar la calidad desde el origen y cumplir con las exigencias de los consumidores (Puerta, 2007); Castillo *et al.* (2019) diseñaron e implementaron un sistema de trazabilidad para el beneficio del café, para apoyar a los cafeteros en el proceso de certificación de su producto. También, la Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA), con el fin de promover la productividad y la competitividad del sector ha creado programas, que optimizan el manejo del sistema agrícola, incluyendo, buenas prácticas agrícolas, acompañadas de un sistema de trazabilidad, exigencia de los mercados internacionales para el control de calidad. El sistema de trazabilidad implementado en estos procesos productivos ha permitido realizar una caracterización deseable del producto y su rastreo en la cadena de producción, distribución y consumo de las materias primas empleadas y el retiro de un lote, en caso de tener un problema en la cadena de suministro (Moreno *et al.* 2009).

A nivel mundial, en el área de semillas, una de las posibilidades de contar con sistemas de trazabilidad es a través de los bancos de germoplasma, para el manejo y el control de accesiones, ya sea mediante cámaras de almacenamiento, por criogenización o la conservación de colecciones *ex situ* (Cavalcanti *et al.* 2011; Pacheco, 2018; Santonieri & Bustamante, 2016). Referente al control de la calidad de la semilla en campos de producción, en Brasil, Gazzolla *et al.* (2017) documentaron la aplicación de técnicas de agricultura de precisión, como herramienta para evaluar la distribución espacial

de la calidad fisiológica de semillas de soya en campo.

En Colombia, aún se conservan prácticas inapropiadas de uso de semilla, que no cumple con parámetros de calidad en cultivos transitorios. El uso de semilla certificada en arroz, algodón y maíz es del 16, 69 y 74 %, respectivamente (ACOSEMILLAS, 2020). Semillas de mala calidad limitan el desempeño productivo de los cultivos (FAO, 2016; SORUDEV, 2018); por ende, las semillas carentes de un control a lo largo del proceso productivo pueden generar problemas fitosanitarios y bajos rendimientos (ESSA, 2017). En cualquier etapa, se debe disponer de la ruta del proceso, por lo que es ideal incluir métodos que faciliten el registro de la información, fortaleciendo el sistema de trazabilidad, con el fin de garantizar el cumplimiento de la Resolución ICA 3168/15 (Abadía & Bartosik, 2013; León *et al.* 2020).

Por todo lo anterior, el Departamento de Semillas (DS) de Agrosavia propuso una alternativa para la activación de la producción de semilla en la corporación, correspondientes a variedades de maíz, sorgo, soya, algodón y arroz, a través de una estrategia, denominada Plan Mínimos (PM), cuya finalidad es consolidar la ruta de mantenimiento, la conservación de la Oferta Tecnológica corporativa (OT) y la activación de los procesos comerciales. Este plan trabaja con un esquema de siembra para la producción de semilla de categoría genética y de fundación; esta última, mantiene las mismas características de calidad determinadas para la semilla genética, con un valor agregado en volumen, necesario para la activación de procesos de escalamiento comercial de semilla a categorías básica, registrada y certificada. Esta estrategia viene siendo aplicada desde 2019 en el C. I. Nataima, en el municipio de El Espinal, Tolima, para soya, algodón, arroz, maíz y sorgo, en dónde se implementó un sistema tecnológico de trazabilidad, con la capacidad de registrar toda la información de los procesos

productivos y que brinda el soporte frente a posibles inconvenientes en campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental. La multiplicación de semillas del proyecto PM, se llevó a cabo en el Valle cálido del alto Magdalena, en el departamento del Tolima, municipio de El Espinal, en el C.I. Nataima de Agrosavia. El sitio corresponde a la zona de influencia del distrito de riego del río Coello (USOCOELLO) y de acuerdo con Holdridge *et al.* (1971), la ecorregión corresponde al bosque seco tropical (bs-T), el cual, se caracteriza por presentar una precipitación media anual de 1.275 mm, con una distribución bimodal, una temperatura promedio anual de 28,2 °C, con escasa diferencia durante todo el año; humedad relativa anual de 69,4 % y una evaporación promedio de 1.266 mm anuales.

El lote productivo seleccionado para la implementación y el seguimiento del Sistema Interno de Trazabilidad (SIT) en campo, se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas: 4° 11' 18,72" latitud Norte y 74° 57' 33,4" longitud Oeste; su topografía es plana, con una pendiente inferior al 3 %; presenta un suelo no salino, sin presencia de aluminio intercambiable y con una saturación de cationes, que sigue el orden Ca>Mg>K>Na. El suelo es de textura franco-arcillosa, con 34 % de arcilla y 39 % de arena y una densidad aparente de 1,54 g/cm³, en el horizonte Ap (0-20 cm). Las características del suelo, se detallan en la tabla 1.

Producción de semilla bajo la estrategia del PM. Este ejercicio, se inició desde el 2019, con la finalidad de consolidar la ruta de mantenimiento y conservación de los materiales que están dentro de la oferta tecnológica corporativa (OT) de Agrosavia y otros cultivares liberados con proyección comercial. A la fecha, se han

Tabla 1. Características químicas de los lotes II-5 C.I Nataima. Lotes multiplicación semillas de Plan de Mínimos (PM).

Característica	Unidad	Lote II-6
pH		6,27
MO	(%)	0,31
P	mg.kg ⁻¹	18,82
S		3,47
K	cmol (+).kg ⁻¹	0,14
Ca		1,90
Mg		0,56
Na		<0,14
CICE		2,69
CE	dS.m ⁻¹	0,15
Fe	mg.kg ⁻¹	31,05
Cu		<1,00
Mn		1,53
Zn		<1,00
B		0,00

Fuente: Laboratorio de suelos de Agrosavia. C.I Tibaitata, 2019. "Laboratorio tiene acreditación ONAC bajo la norma NTC ISO/IEC 17025 en los ensayos de: pH (VC_R_004 versión 03 de 2017-01-28), fósforo disponible Bray II (VC_R_007 versión 02 de 2017-09-22), conductividad eléctrica en suelos (NTC 5596:2008), cationes cambiabiles en suelo calcio, magnesio, potasio y sodio disponibles (ID_R_072 versión 5 de 2017-09-28), micronutrientes en suelo por Olsen modificado Hierro, Manganeseo, Cobre y Zinc (NTC 5526:2007)".

realizado cinco ciclos de producción; cuatro, correspondientes a los semestres A y B del 2019 y 2020 y un ciclo de multiplicación, en el semestre A del 2021. Los cultivares priorizados para el primer ejercicio durante el semestre A del 2019, correspondieron a algodón convencional (LCER007, LCER044, Sinuana M137 y M123); sorgo dulce forrajero (JJT18); maíz (Corpoica V-114, Corpoica V-159) y soya (Corpoica Superior 6, Corpoica Achagua 8, Corpoica Guayuriba 9 y Corpoica Iraca 10). En el ciclo 2019B, se agregaron al sistema de producción las variedades de Arroz (Agrosavia Porvenir 12 y Corpoica Llanura 11), soya (BRS Serena y Agrosavia primavera 11) y maíz (Agrosavia V-117 y Agrosavia V-160); durante el 2020A, se priorizó la multiplicación de semilla de los cultivos de maíz y soya, adicionando al sistema de producción de soya la variedad Taluma 5, de uso forrajero; en el semestre B del 2020, se multiplicó semilla de los materiales de sorgo, arroz, soya y maíz y en el periodo productivo 2021A, se priorizaron lotes de semilla de las variedades de soya.

Adopción del Software Grin-Global. Para el proceso de producción de semilla que se está llevando a cabo con el proyecto de Plan Mínimos, se adoptó un SIT desarrollado en la plataforma “GRIN-Global” – Germplasm Resource Information Network-, software que dispone de elementos, a nivel de manejo de información de semilla sexual y asexual. GRIN-Global es una plataforma amigable, flexible y sostenible en el tiempo, para la captura y almacenamiento de información; adicionalmente, al ser software libre reduce los costos de licencias y programación, lo que hace de este un sistema con la amplitud, precisión y profundidad (NTC, 2007), suficiente para llevar la trazabilidad de la cadena de suministro, en todas las etapas de producción de semilla de calidad en Agrosavia. Así, desde PM, se inició el trabajo en equipo, para lograr parametrizar los componentes del SIT, según sus requerimientos

de información y las labores realizadas en los cultivos de cada especie. La parametrización de la plataforma GRIN-Global para el desarrollo del proceso de trazabilidad, en la producción de semilla de plan mínimos, se realizó en cuatro fases (Figura 1). La primera inició con la planificación del proceso de trazabilidad, la captura y las necesidades de información y descripción del proceso, por parte de los colaboradores que ejecutan la producción. Durante la segunda fase, se proyectó el diseño en el sistema, la segregación del detalle de las actividades y el esquema base de datos para la producción de semilla de especies y variedades de PM. En la tercera fase, se realizó la parametrización de los componentes para cultivares, inventarios activos, etapas del proceso, registro de actividades, usuarios y aplicaciones, seguimiento a la producción, sitios de origen de materiales e inventarios cerrados. Finalmente, la cuarta fase consistió en la implementación del SIT, realizada en cuatro pasos: 1) socialización del proyecto con los usuarios, 2) instalación de la herramienta en los equipos de los usuarios, 3) capacitación a los usuarios del sistema y 4) las prácticas y pruebas para identificar ajustes y mejoras al sistema.

Identificación de variables fundamentales. Al finalizar el desarrollo del SIT, se procedió con la parametrización de las variables fundamentales para la captura de información de cada una de las especies, según los requerimientos y las actividades en cada etapa del proceso producción de semilla. A continuación, se mencionan las variables fundamentales para el registro de información, en un ciclo de producción de PM de maíz, algodón, soya, sorgo y arroz: labores de preparación del terreno (pase de rastra y cincel, rallado de surcos y trazado), siembra, datos climáticos (precipitación), manejo agronómico del cultivo (riego, drenajes, aplicaciones para control fitosanitario, aplicaciones de fertilizantes, englacinado de plantas, embolsado de inflorescencia, eliminación de plantas

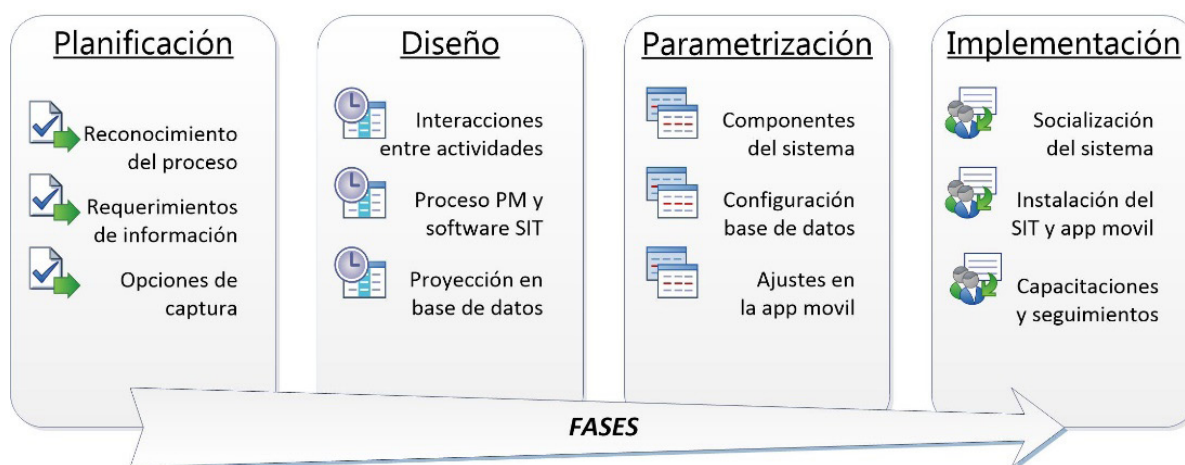


Figura 1. Fases de aplicación del Sistema Interno de Trazabilidad en PM.

Fuente: Laboratorio de suelos de Agrosavia. C.I Tibaitata, 2019. “Laboratorio tiene acreditación ONAC bajo la norma NTC ISO/IEC 17025 en los ensayos de: pH (VC_R_004 versión 03 de 2017-01-28), fósforo disponible Bray II (VC_R_007 versión 02 de 2017-09-22), conductividad eléctrica en suelos (NTC 5596:2008), cationes cambiabes en suelo calcio, magnesio, potasio y sodio disponibles (ID_R_072 versión 5 de 2017-09-28), micronutrientes en suelo por Olsen modificado Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc (NTC 5526:2007)”.

atípicas, controles de calidad, marcado de bolsas y limpieza del lote, número de plantas a cosecha, datos de la cosecha, actividades de postcosecha (selección, clasificación, desgrane y limpieza), pruebas de calidad (viabilidad y germinación), empaque y peso de la semilla, almacenamiento y controles en el almacenamiento. La estructura y la codificación de las actividades que se parametrizaron en el SIT para la captura de información en PM, se observa en el cuadro 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aplicación del SIT en PM. Durante la fase exploratoria de implementación del SIT en el proceso de multiplicación de las semillas de las especies semestrales arroz, algodón, maíz, soya y sorgo, se obtuvo como resultado la definición de aspectos técnicos que requería la plataforma para la captura de información (Cuadro 2).

Funcionalidad del SIT en el PM. El Sistema Interno de Trazabilidad, se implementó en todos los procesos de producción de semilla incorporados bajo el modelo PM corporativo, alimentado con los registros de todas las actividades ligadas a la producción, desde la siembra hasta su cosecha e ingreso de inventarios a las cavas de almacenamiento. La trazabilidad en el proyecto de PM inició con el registro de origen del material de siembra y los resultados de las pruebas de calidad del laboratorio. Al realizar la distribución de

la semilla en los ensayos para siembra, se creó el inventario padre, para la producción inicial de plantas, identificado con un ID único e incluido en el código QR o “Quick Response Code”, impreso en las etiquetas y distribuidas en campo, para identificar cada cultivar y lote de producción. A fin de leer el código QR con una Tablet o celular que tenga instalado el aplicativo móvil del SIT, conectado con la base de datos de Grin Global, para registrar la información de las actividades del cuadro 1, durante todo el ciclo productivo del cultivo que hacen parte del PM y en todos los ciclos de producción (Corallo *et al.* 2020a).

En este punto del proceso, el inventario cosechado cambió su estado físico, al pasar de plantas a semilla sexual, por lo que fue necesario actualizar la información en el SIT y crear un inventario hijo del ID padre plantas (Figura 2), para identificar los empaques de semillas con el QR actualizado y registrar la actividad de traslado a almacenamiento con su ubicación. La amplitud del SIT permitió crear la cantidad de inventarios que fueron requeridos, ya que un factor diferenciador entre lotes de producción son las fechas de siembra o cosecha, cuando se realiza en tiempos diferentes, tal como se observa en la figura 2, lo que facilita rastrearlos hacia tras y hacia delante por el ID código QR, especie y variedad (Pizzuti & Mirabelli, 2015; Pappa *et al.* 2018).

Cuadro 1. Muestra de actividades y sus códigos para la captura de información en PM.

Código SIT	Nombre actividad
MAPP	Manejo Agronómico Producción Plantas - MAPP
MAPP_F	MAPP - Fertilización
MAPP_ELP	MAPP - Englacinado de plantas
MAPP_R	MAPP - Riego
MAPP_E	MAPP - Eliminación de plantas atípicas
MAPP_P	MAPP - Polinización manual
MAPP_M	MAPP - Marcado de bolsa
MAPP_PE	AMPP - Plantas eliminadas x PR
MAPP_PG	AMPP - Plantas germinadas
MAPP_PS	MAPP - Plantas sembradas
COSE	Cosecha y postcosecha- COSE
COSE_CON	COSE – Conteo
COSE_COS	COSE – Cosecha
COSE_DEM	COSE – Desmote
COSE_DES	COSE – Deslinte
COSE_DSG	COSE – Desgrane
COSE_PE	COSE – Pesaje
COSE_SLC	COSE - Selección y clasificación
COSE_EM	COSE - Empaque
COSE_ALM	COSE – Almacenamiento
COSE_EF	COSE – Entrega

Cuadro 2. Requisitos técnicos y funcionales para la captura de información en el SIT.

No.	REQUISITO TÉCNICO	DESCRIPCIÓN
1	Codificación de inventarios	Es fundamental para facilitar la gestión, la identificación y la clasificación de los inventarios. La creación de los códigos en el SIT, se realiza considerando: Sigla del proyecto + código de la especie GRINGlobal + ubicación del inventario + sigla de la especie + número consecutivo automático del sistema; por ejemplo, el código PMIN3040CINATMZ00007, indica que el inventario pertenece al proyecto PM, la especie es maíz, se encuentra en el Centro de Investigación Nataima y un número que indica el consecutivo de inventario.
2	Gestión de módulos	La modularidad es una herramienta que favorece la visualización de los componentes del sistema; esta independencia permite la compilación por separado de la información y reduce la complejidad en el análisis del conjunto de datos, lo cual, contribuye a mejorar y optimizar el manejo, organización y gestión de la información de valor ingresada al SIT. En el curador de Grin-Global, se disponen los módulos: cultivares, inventarios activos, etapa de inventario, actividades realizadas, registro de aplicaciones, registro de seguimientos, orígenes de inventarios e inventarios cerrados.
3	Definición del inventario de producción	Consiste en definir la unidad de producción que origina un inventario nuevo, considerando la variedad, fecha de siembra, ciclo de producción, terreno y localización, con el objetivo de mantener la trazabilidad e identificar el origen del inventario padre y los hijos, que de este se generan. Conocer esta descendencia permite controlar la calidad genética y fisiológica, para determinar la necesidad de refrescar la semilla y desencadenar procesos de renovación.
4	Parametrización de labores	Hace referencia a la organización y la estandarización de las actividades realizadas durante el proceso de multiplicación de semilla, las cuales, se clasificaron así: a) Labores culturales (LC), que detallan actividades de manejo agronómico, cuidado y mantenimiento de la producción; b) Labores específicas (LBEP) son las actividades especializadas propias del sistema productivo, que disminuyen el riesgo de pérdida de la calidad de la semilla; c) Cosecha (COSE), incluye el registro de las actividades de cosecha y poscosecha; d) Datos a cosecha (DCSH) es el registro de variables de rendimiento y componentes de rendimiento y e) Precipitación (TH) es la captura de la precipitación durante todo el proceso de producción.
5	Homogenización de unidades	Consistió en determinar las unidades de medida para la captura de información de las variables fundamentales en el sistema de trazabilidad, de tal manera, que se facilite el análisis de los datos registrados en la plataforma.
6	Distinción de agroinsumos	Los agroinsumos fueron categorizados, de acuerdo con su origen, ya sea químico o biológico y su uso: herbicida, fungicida, insecticida, fertilizante edáfico, fertilizante foliar, coadyuvante, regulador de crecimiento, bioestimulante, inoculante, entomopatógeno y antagonista. Además, se configuró la base de datos del SIT, de tal manera, que se puede especificar si la aplicación se efectúa de forma simple (es decir, un solo producto) o compuesta (mezcla de dos o más agroinsumos).
7	Generación de códigos QR	Por medio de la nueva tecnología digital de códigos QR “Quick Response Code”, se generaron los códigos bidimensionales únicos para cada inventario, con el fin de facilitar la toma de datos en campo; una vez se escanean los códigos QR, a través de la aplicación móvil del SIT, previamente instalada en smartphones y tabletas, se puede acceder a la plataforma de registro de actividades.

El SIT aplicado a la producción de semillas de calidad es una herramienta pionera en Colombia, que permite registrar una gran variedad de información de las actividades de campo, laboratorio, cuarto frío y seguimiento, que se realizan en todo el proceso productivo, para relacionar y consolidar toda la información obtenida en campo, la cual, se va guardando en la base de datos donde se registra: fecha, tiempo (expresado en horas), labor, ubicación geográfica, tratamientos aplicados, dosis de insumos y la precipitación; lo anterior además de facilitar tener un histórico del lote y configurar la trazabilidad en todo el proceso productivo (Pappa *et al.* 2018).

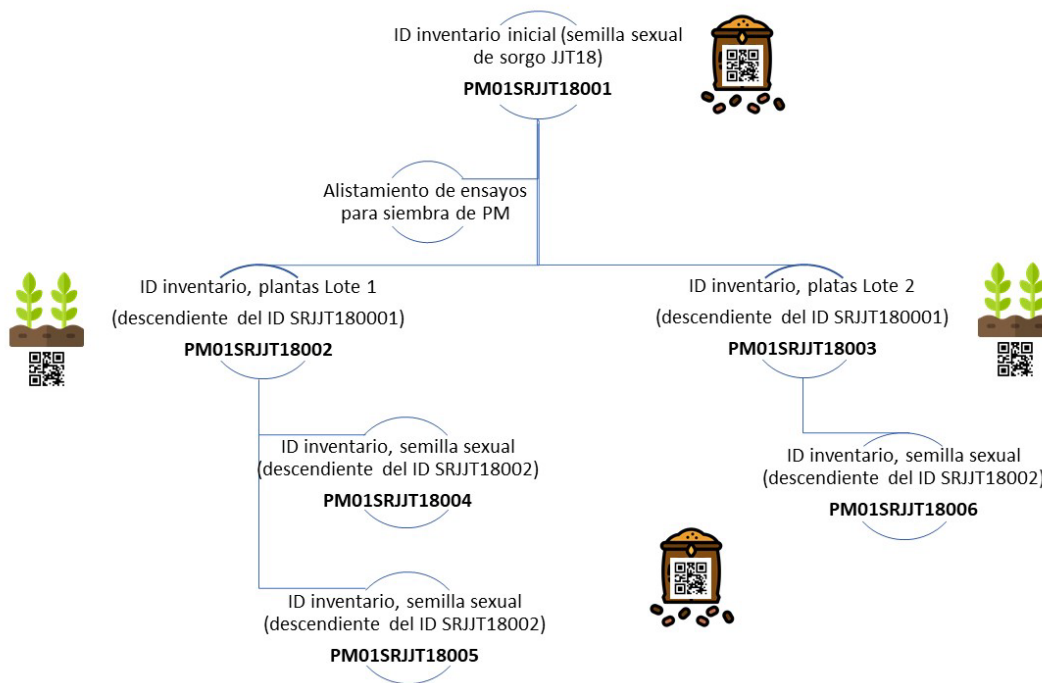
El SIT facilitó dimensionar los eventos climáticos para la programación de riego y manejo preventivo de plagas y enfermedades, lo cual, hace más eficiente la toma de mejores

decisiones, para el establecimiento de los cultivos.

Cabe señalar que, en este proceso, el compromiso del equipo ejecutor del PM garantizó que la información registrada fuera confiable y obtenida en tiempo real; a su vez, se resalta que el SIT ha sido una herramienta útil que facilita la tabulación de la información, con la cual, se realiza el manejo eficaz de inventarios, análisis de costos de producción, trazabilidad para proceso de certificación, entre otros ejercicios económicos y de producción.

Evaluación de la implementación del SIT. El SIT permitió al equipo ejecutor hacer un control en las cuatro dimensiones de calidad de la semilla (Genética, física, fisiológica y Sanitaria), pues en diferentes etapas del proceso, se logra el rastreo de anomalías, que pudiesen afectar alguno de estos atributos y reaccionar a

Figura 2. Descendencia de los códigos ID del SIT para identificar y rastrear los lotes de producción de semilla de calidad.



Fuente iconos: Adaptados de www.flaticon.es/ autores.

tiempo, para minimizar los inconvenientes en la producción. Adicionalmente, facilitó controlar la eficiencia en tiempos de ejecución de las labores programadas, jornales utilizados por cada actividad e insumos requeridos durante todo el proceso de producción. Con este seguimiento detallado, se busca la detección temprana de irregularidades, para dar una respuesta rápida a los problemas evidenciados (Aung & Chang, 2014).

Otro de los análisis realizados a partir del SIT fue el análisis de costos de producción, determinados por los costos fijos y costos variables ejecutados, durante cada semestre de siembra para cada variedad y categoría de semilla producida; este análisis permite conocer la

distribución de la inversión por rubros y determinar el costo final de la producción (Pappa *et al.* 2018). Para la estimación de costos, se generó una base de datos por variedad/categoría con las labores, insumos y otros rubros empleados durante el proceso, dando lugar a la estructura de costos, con la información para la planeación de las próximas siembras: tiempos requeridos para cada etapa desde la siembra, cantidades precisas de insumos, mano de obra requerida, insumos disponibles y de otras variables o elementos requeridos en cada ciclo. Este consolidado permite la estimación de los valores comerciales de la semilla, de acuerdo con las cantidades producidas al final del ciclo y por cada especie.

La trazabilidad sistematizada, además de permitir el seguimiento y monitoreo de la producción, facilita la gestión del riesgo (Corallo *et al.* 2020a), al visualizar acciones o decisiones con impacto negativo a lo largo de la cadena de suministro, al agilizar la respuesta oportuna ante una contingencia al conservar la historia de cada lote de semillas producido, lo que se traduce en confianza del consumidor final, dada la creciente demanda por satisfacer la necesidad de información de los consumidores (Inostroza & Barra, 2018; Chen *et al.* 2019; Corallo *et al.* 2020a; Thakur *et al.* 2020).

Implementar un sistema de trazabilidad, permite a los productores de semilla de cultivos transitorios en los valles interandinos ejercer un control sistemático en cada una de las etapas de proceso productivo, monitorear las actividades realizadas y facilitar la toma de decisiones de manera precisa y eficiente (Cañar *et al.* 2020), que se refleja en la relación de costo y beneficio, haciendo más fácil el sistema de producción agrícola en la región.

La consolidación de los datos obtenidos en campo y en laboratorio, por medio del SIT, permite realizar el monitoreo y el seguimiento de las labores efectuadas en tiempo real y de forma remota (Thakur *et al.* 2020), así como mejorar la productividad, minimizar las mermas, optimizar la competitividad de los lotes de multiplicación de semilla, garantizar la calidad en todo el proceso de multiplicación y, de esta forma, contribuir al fortalecimiento del Sistema Nacional de Semillas del país.

Finalmente, otros beneficios de implementar SIT son facilitar al equipo de colaboradores la toma de decisiones (Pappa *et al.* 2018), para encontrar la mayor eficiencia de sus procesos productivos, mejorar las prácticas de manejo de información y el flujo de datos relacionados con: variedad, origen de la semilla, ubicación, siembra, manejo agronómico, aplicaciones, cosecha, postcosecha y almacenamiento, en la medida que es estandarizada, para compartirla con las cadenas agroalimentarias que realizaran transformaciones, comercializaciones o directamente al consumidor final (Thakur & Donnelly, 2010; Pappa *et al.* 2018).

Agradecimientos: Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), por la financiación de este proyecto “Multiplicación de semilla bajo la estrategia de producción de Plan de Mínimos”, desarrollado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA; asimismo, agradecen a Dubert Cañar, Jose L. Sepúlveda y Julio Ramírez, por el desarrollo del SIT en Agrosavia. **Conflicto de intereses:** El artículo de reflexión fue elaborado y revisado por los autores, quienes declaran ser los que originan el manuscrito y no presentan conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. ABADÍA, B.; BARTOSIK, R. 2013. Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos. Hacia el agregado de valor en origen de la producción primaria. Ediciones INTA. 91p.
2. ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE SEMILLAS Y BIOTECNOLOGÍA, ACOSEMILLAS. 2020. Informe Anual de Estadísticas del Subsector de Semillas ACOSEMILLAS. 63p.
3. AUNG, M.; CHANG, Y. 2014. Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food Control*. 39(1):172-184. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.007>
4. CAÑAR, D.; TIBADUIZA, L.; SARMIENTO, L.; MEDINA, M.; SEPÚLVEDA, J.; LÓPEZ, L. 2020. Sistema de trazabilidad para productores de semilla: conceptos esenciales. AGROSAVIA (Mosquera, Colombia). 20p. Disponible desde Internet en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/36381/Ver_documento_36381.pdf?sequence=1&isAllowed=y (con acceso 09/12/2020).
5. CASTILLO, S.; CAICEDO, P.; SÁNCHEZ, D. 2019. Diseño e implementación de un *software* para la trazabilidad del proceso de beneficio del café. *Rev. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 20(3):523-536. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1588
6. CAVALCANTI, R.; MATA, M.; DANTAS, L.; DUARTE, M. 2011. Modelamento de um banco de germoplasma criogênico para armazenar sementes da região semi-árida, incluindo a rastreabilidade das sementes. *Rev. Bras. Produtos Agroindustriais*. 13(4):443-456. <https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v13n4p443-456>
7. CHEN, H.; TIAN, Z.; XU, F. 2019. What are cost changes for produce implementing traceability systems in China? Evidence from enterprise A. *Applied Economics*. 51(7):687-697. <https://doi.org/10.1080/00036846.2018.1510470>
8. CORALLO, A.; LATINO, M.; MENEGOLI, M.; STRIANI, F. 2020a. The awareness assessment of the Italian agri-food industry regarding food traceability systems. *Trends in Food Science & Technology*. United Kingdom. 101:28-37. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.022>
9. CORALLO, A.; LATINO, M.; MENEGOLI, M.; STRIANI, F. 2020b. What factors impact on technological traceability systems diffusion in the agrifood industry? An Italian survey. *J. Rural Studies*. United Kingdom. 75:30-47. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.02.006>
10. EUROPEAN SPROUTED SEEDS ASSOCIATION - ESSA. 2017. Directrices de higiene para la producción de brotes y semillas para germinación de la ESSA. 29-56p. Disponible desde Internet en: <https://www.icoval.org/es/2-Todo-guias-APPCC/2564-Directrices-de-higiene-para-la-produccion-de-brotes-y->

- semillas-para-germinacion-de-la-ESSA.htm (con acceso 24 /11/2020)
11. FERRO, E.; VALDÉS, R.; CHIRINO, E.; MÁRQUEZ, M.; RÍOS, H.; RODRÍGUEZ, C.; SARMIENTO, A. 2009. Aporte del sistema formal en semillas mejoradas de granos básicos y cereales a la seguridad alimentaria del municipio La Palma, provincia Pinar del Río. *Cultivos Tropicales*. La Habana. 30(2):59-65
 12. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO. 2016. Evaluación de la Seguridad de Semillas. Una Guía para Profesionales. FAO. 61p.
 13. GAZOLLA, A.; OLIVEIRA, R.; INGRID, G.; AMARAL, F. 2017. Rastreabilidade e variabilidade espacial da qualidade fisiológica de sementes soja em campo de produção. *Rev. Bras. Tecnologia Agropecuária*. 1(1):65-73.
 14. HOLDRIDGE, L.; GRENKE, W.; HATHEWAY, W.; LIANG, T.; TOSI, J. 1971. Forest environments in tropical life zones, a pilot study. Pergamon Press, Oxford, Inglaterra. 747p.
 15. INOSTROZA, K.; BARRA, A. 2018. Creación de valor en los productos Nestlé, a través 34 de la trazabilidad y sus impactos en los resultados de la empresa. *Horizontes empresariales*. Chile. 18(1):66-85.
 16. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO - ICA. 2015. Resolución No. 003168 del 07 de septiembre de 2015 “Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones. 97p.
 17. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC. 2007. Norma Técnica Colombiana No. 5522. “Buenas prácticas agrícolas. Trazabilidad en la cadena alimentaria para frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas”. 17p.
 18. LEÓN, J.; RE, B.; ROMERO, L. 2020. Ventajas del uso de sistemas de trazabilidad electrónica en procesos de manufactura. *Información Tecnológica*. 31(1):237-244. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642020000100237>
 19. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, MADR. 2018. Decreto 931 de 2018. “Por el cual se crea el Sistema de Trazabilidad Vegetal y se incluye como Título 11 de la parte 13 del Libro 2 del Decreto 1071 de 2015, Único reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural.”
 20. MORENO, J.; BLANO, C.; MENDOZA, R. 2009. Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de banano en la región del Magdalena. Primera edición. Ed. Comunicaciones Augura (Medellín. Colombia).
 21. PACHECO, T. 2018. Regulación de los Bancos de Germoplasma a nivel internacional, europeo y nacional. Acceso a Recursos filogenéticos Ex situ. *Rev. Justicia y Derecho*. 1(1):101-111.
 22. PAPP, I.; LLIPOPOULOS, C.; MASSOURAS, T. 2018. What determines the acceptance and use of electronic traceability systems in agri-food supply chains? *J. Rural Studies*. United Kingdom. 58:123-135. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.01.001>
 23. PIZZUTI, T.; MIRABELLI, G. 2015. The global Track&Trace system for food: general framework and functioning principles. *J. Food Engineering*. United Kingdom. 159:16-35. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.001>
 24. PUERTA, G. 2007. Registro de la trazabilidad del café en la finca. *Avances Técnicos Cenicafé*. 355. Disponible desde Internet en: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/375/1/avt0355.pdf> (con acceso 11/08/2020).
 25. QIAN, J.; RUIZ, L.; FAN, B.; ROBLA, J.; MCCARTHY, U.; ZHANG, B.; YU, Q.; WU, W. 2020. Food traceability system from governmental, corporate, and consumer perspectives in the European Union and China: A comparative review. *Trends in Food Science and Technology*. 99:402-412. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.025>
 26. SANTONIERI, L.; BUSTAMANTE, P. 2016. Conservação ex situ e on farm de recursos genéticos: Desafios para promover sinergias e complementaridades. *Boletim Do Museu Paraense Emilio Goeldi: Ciências Humanas*. 11(3):677-690. <https://doi.org/10.1590/1981.81222016000300008>
 27. SOUTH SUDAN RURAL DEVELOPMENT PROGRAMME, SORUDEV. 2018. Good Quality Seed Production Guide Smallholder Farmers in South Sudan A Field Guide for Extension Workers. 59p.
 28. THAKUR, M.; DONNELLY, K. 2010. Modeling traceability information in soybean value chains. *J. Food Engineering*. United Kingdom. 99:98-105. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.02.004>
 29. THAKUR, M.; TVEIT, G.; VEVLE, G.; YURT, T. 2020. A framework for traceability of hides for improved supply chain coordination. *Computers and Electronics in Agriculture*. Netherlands. 174:105478. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105478>

30. TORANZO, M.; CYSNEIROS, G.; GÓMEZ, Y.; RODRÍGUEZ, O. 2012. Towards a framework for improving requirement traceability. *Ingeniería e investigación*. Colombia. 32:48-52.