# LLEVANDO LA AGRICULTURA A NUEVAS ALTURAS

## Los beneficios y desafíos del uso de drones en la agricultura colombiana



*Compilador*
Leonel Gonzalo Briceño de los Santos

compensar | fundación universitaria

# LLEVANDO LA AGRICULTURA A NUEVAS ALTURAS

## Los beneficios y desafíos del uso de drones en la agricultura colombiana


**Compilador**

Leonel Gonzalo Briceño de los Santos

**Autores**

Leonel Gonzalo Briceño de los Santos
Daniel Felipe Ospina Cárdenas
Faizully Andrea Barbosa Moreno
Franz Esteban Rodríguez Franky
Óscar Leonardo Herrera Sandoval
Freddy Alexander Díaz González
Duván Ricardo Gamboa Hernández
Juan Camilo Vega Sierra



EGE

compensar | fundación universitaria

**Margarita Áñez Sampedro**
Rectora

**Carolina Guzmán Ruíz**
Vicerrectora académica

**Gerardo Santos**
Decano Escuela de Negocios

**Julian Vargas Bedoya**
Director del Programa de Administración Logística

**María Carolina Villarraga**
Directora del programa de Administración de Empresas

**Gareth Barrera Sanabria**
Directora de Investigación y Transferencia

**Fundación Universitaria Compensar**
**Escuela de Negocios**

Briceño de los Santos, Leonel Gonzalo, *et al.*

Llevando la agricultura a nuevas alturas/Leonel Gonzalo Briceño de los Santos, Daniel Felipe Ospina Cárdenas, Faizully Andrea Barbosa Moreno, Franz Esteban Rodríguez Franky, Óscar Leonardo Herrera Sandoval, Freddy Alexander Díaz González, Duván Ricardo Gamboa Hernández y Juan Camilo Vega Sierra. -- Bogotá: Fundación Universitaria Compensar, 1a.ed. 2024

114 pgs. ; 24 cm.

ISBN 978-958-792-665-1 e-ISBN 978-958-792-666-8

1. Ciencias agropecuarias I. Tít.

338.1 cd 24 ed.

Primera edición: Bogotá, Colombia, marzo de 2024
ISBN 978-958-792-666-8

© Leonel Gonzalo Briceño de los Santos, Daniel Felipe Ospina Cárdenas, Faizully Andrea Barbosa Moreno, Franz Esteban Rodríguez Franky, Óscar Leonardo Herrera Sandoval, Freddy Alexander Díaz González, Duván Ricardo Gamboa Hernández y Juan Camilo Vega Sierra

© Fundación Universitaria Compensar
Avda. Calle 32 No. 17-30 - Tel. (+57 601) 3380666
www.ucompensar.edu.co - E-mail: gbarreras@ucompensar.edu.co
Bogotá, Colombia

Este libro es resultado de investigación de acuerdo con los criterios de Minciencias. Todos los capítulos incluidos en él son productos de investigaciones desarrolladas por sus autores. Fueron arbitrados bajo el sistema doble ciego por pares reconocidos avalados por Minciencias.

Los planteamientos y argumentos presentados en los capítulos del libro son responsabilidad única y exclusiva de sus autores, por lo tanto, los compiladores y la Universidad que, respalda esta obra, actúan como un tercero de buena fe.

Coordinador: Ediciones de la U
Diagramación de interiores: Oscar Javier Avendaño Yossa
Los costos editoriales fueron asumidos por la Fundación Universitaria Compensar.

*Impreso y hecho en Colombia*
*Printed and made in Colombia*

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro y otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

# Contenido

**Prólogo** ..... **11**
**Introducción** ..... **13**

**Capítulo 1. Descripción de las características agrícolas y económicas de *Musa Paradisiaca Var.Hartón* (plátano hartón) en la región de los Llanos Orientales de Colombia** ..... **15**

Introducción ..... 16
Generalidades de *Musa Paradisiaca Var. Hartón* (plátano hartón) ..... 16
Producción y desarrollo de *Musa Paradisiaca Var. Hartón* (plátano hartón) ... 20
Características agronómicas y biológicas del *plátano Musa Paradisiaca Var.* 24
Hartón (plátano hartón) ..... 24
La producción del plátano *Musa Paradisiaca Var. Hartón* (plátano hartón) y su relevancia con la sostenibilidad ..... 29
Referencias bibliográficas ..... 30

**Capítulo 2. Estructuración de una metodología para la caracterización de suelos en sistemas agrícolas de mediana escala empleando técnicas de teledetección e inteligencia artificial** ..... **33**
Resumen ..... 34
Palabras claves ..... 34
Abstract ..... 34
Keywords ..... 35
Identificación de la investigación ..... 35
Introducción ..... 36
Metodología para la caracterización de suelos en sistemas agrícolas de pequeña y mediana escala ..... 38
Fase 1. Identificación del área de cultivo ..... 38
Fase 2. Toma de datos del suelo de la zona de cultivo. ..... 40
Fase 3. Preprocesamiento de los datos obtenidos. ..... 42
Fase 4. Aplicación de modelos de regresión de Inteligencia Artificial (IA) ..... 43
Casos de estudio ..... 44
Municipio Castilla La Nueva ..... 44
Municipio de Sesquilé, Cundinamarca ..... 46
Resultados ..... 48
Conclusiones ..... 49
Referencias bibliográficas ..... 50

**Capítulo 3. Caracterización de la cadena de suministro del plátano. Desafíos y oportunidades en su producción, distribución y comercialización ..... 53**
Resumen ..... 54
Palabras claves ..... 54
Abstract ..... 54
Keywords ..... 55
Identificación de la investigación ..... 55
Introducción ..... 56
Revisión de literatura ..... 56
Metodología ..... 58
Diseño muestral ..... 58
Definir población ..... 58
Tipo de variables ..... 59
Caracterización de la cadena de suministros del plátano ..... 59
Caso de estudio: vereda San Lorenzo, Castilla La Nueva ..... 61
Factores claves en la cadena de suministro para el cultivo de plátano en Castilla La Nueva ..... 61
Resultados ..... 67
Conclusiones ..... 67
Recomendaciones ..... 68
Referencias bibliográficas ..... 68

**Capítulo 4. Costos asociados al personal comparando el uso del método de cultivo tradicional y el uso de agricultura de precisión ..... 71**
Resumen ..... 72
Palabras claves ..... 72
Abstract ..... 72
Keywords ..... 73
Identificación de la investigación ..... 73
Introducción ..... 73
Revisión de literatura ..... 75
Beneficios de los drones vs. otras metodologías y tecnologías existentes ..... 77
Metodología ..... 80
Costos asociados al personal con el uso del método de cultivo tradicional comparado con el uso de drones ..... 82
Casos de estudio ..... 84
Comparación del Departamento del Meta con respecto a otros departamentos en referencia al uso de agricultura de precisión en cultivos de plátano ..... 85
Resultados ..... 87
Conclusiones ..... 90
Referencias bibliográficas ..... 91

**Capítulo 5. Explorando la viabilidad de los drones en las explotaciones agrícolas colombianas. Caso de estudio: cultivos de plátano en el municipio de Castilla La Nueva del Departamento del Meta .....93**
Resumen.....94
Palabras claves.....94
Abstract.....94
Keywords.....95
Introducción.....95
Revisión de literatura .....96
Metodología.....97
Tipo de variables.....99
Instrumento.....99
Caso de estudio: cultivos de plátano en el municipio de Castilla La Nueva del Departamento del Meta.....100
Resultados: diagnóstico de la situación actual de las actividades logísticas en el monitoreo de los cultivos de plátano .....102
Realizar un seguimiento de las redes de valor en los cultivos de plátano del municipio de Castilla La Nueva.....105
Efectuar una prueba piloto con el uso de drones para identificar las deficiencias nutricionales en elementos mayores de los cultivos de plátano.....107
Conclusiones.....108
Referencias bibliográficas.....109
Conclusiones del libro .....113

# Prólogo

En la vasta y fértil tierra de la agricultura, cada semilla plantada es un voto de confianza en la naturaleza y en el trabajo humano. A lo largo de la historia, los agricultores han luchado por optimizar sus esfuerzos para cosechar los frutos de la tierra de manera eficiente y sostenible. En este viaje hacia la excelencia agrícola, la tecnología ha emergido como un aliado invaluable y la agricultura de precisión ha irrumpido como una revolución que redefine cómo cultivamos y cosechamos.

Colombia, una nación bendecida con una riqueza agrícola diversa y un compromiso con la innovación, ha sido testigo de notables avances en la agricultura en los últimos años. El Departamento del Meta, con su vasta extensión de tierras fértiles, se encuentra en el epicentro de esta transformación agrícola. La implementación de tecnologías avanzadas, incluyendo el uso de drones en los cultivos de plátano, ha permitido a los agricultores metenses liderar la vanguardia de la agricultura de precisión en Colombia.

La agricultura de precisión, como su nombre sugiere, se trata de aplicar enfoques exactos y medibles para cada aspecto del proceso agrícola. En este contexto, el uso de drones en los cultivos de plátano se erige como un paradigma de eficiencia. Estas aeronaves no tripuladas han superado los límites de las operaciones tradicionales, brindando una perspectiva aérea detallada que permite a los agricultores tomar decisiones basadas en datos concretos.

Imaginen poder monitorear la salud de los cultivos, detectar signos tempranos de estrés o enfermedades y aplicar tratamientos precisos solo donde son necesarios. Los drones han convertido este sueño en una realidad, optimizando el uso de fertilizantes, agua y pesticidas, reduciendo el desperdicio y, en última instancia, aumentando la productividad.

Este documento no solo explora los logros tecnológicos, sino también los desafíos superados y las lecciones aprendidas en el camino. A través de testimonios de agricultores, investigadores y expertos, nos sumergimos en historias reales de transformación agrícola y descubrimos cómo la combinación de conocimiento ancestral y tecnología moderna está allanando el camino hacia un futuro agrícola sostenible y próspero.

Presentamos un testimonio apasionante de los avances en la agricultura de precisión, centrado en el uso innovador de drones en los cultivos de plátano en el Departamento del Meta, Colombia. En un mundo donde la población crece y los recursos naturales se vuelven más escasos, el cultivo eficiente y sostenible se convierte en una necesidad imperante. Los drones, esas maravillas tecnológicas que surcan los cielos, han demostrado ser herramientas indispensables en esta búsqueda de productividad inteligente y responsable.

Desde aquí se intenta hacer un llamado a la acción. A los agricultores que labran la tierra con pasión, a los investigadores que desentrañan los secretos de la naturaleza, a los estudiantes que forjarán el camino hacia adelante: la agricultura de precisión y el uso de drones en los cultivos de plátano son solo el comienzo. Nuestro compromiso con la innovación y la colaboración moldeará el futuro de la agricultura colombiana y global.

En las páginas que siguen, exploraremos los misterios del cielo y la tierra, uniendo pasado y presente en una danza armoniosa de conocimiento y tecnología. Bienvenidos a un viaje apasionante de descubrimiento y transformación, donde la agricultura de precisión y los drones nos guían hacia un mañana más fértil y prometedor.

Profesor compilador; Leonel Gonzalo Briceño de los Santos

# Introducción

En la extensa geografía de Colombia, donde la riqueza de la tierra se mezcla con la diversidad de climas y culturas, la agricultura ha sido durante mucho tiempo el corazón palpitante de la nación. A medida que avanzamos en el siglo XXI, este corazón late con mayor fuerza gracias a la sinergia entre el conocimiento ancestral y la innovación tecnológica. En este libro, nos adentramos en un viaje fascinante a través de la agricultura de precisión y su aplicación en el cultivo del plátano, específicamente en la región de los Llanos Orientales de Colombia.

La agricultura de precisión ha transformado la forma en que cultivamos, cosechamos y administramos nuestras tierras. Colombia, con su biodiversidad y terrenos diversos, no ha sido inmune a esta revolución agrícola. En la última década, ha surgido un movimiento hacia la adopción de tecnologías de vanguardia para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la producción agrícola en el país. Los avances en teledetección, inteligencia artificial y drones han abierto un nuevo horizonte de posibilidades para los agricultores colombianos.

Este libro es una ventana a ese horizonte, una exploración profunda y detallada de cómo la agricultura de precisión y el uso de drones están transformando la industria del plátano en los Llanos Orientales de Colombia y en el resto del país. A través de cinco capítulos cuidadosamente elaborados, nos embarcamos en un viaje de descubrimiento, análisis y reflexión.

Capítulo 1. Descripción de las características agrícolas y económicas del plátano hartón en los Llanos Orientales de Colombia. En este capítulo, trazamos el lienzo agrícola de los Llanos Orientales y su conexión con el cultivo de plátano hartón. Exploramos las particularidades económicas, climáticas y geográficas que hacen de esta región un ecosistema único para la agricultura de plátano.

Capítulo 2. Estructuración de una metodología para la caracterización de suelos utilizando teledetección e inteligencia artificial. La base de cualquier cultivo exitoso reside en el suelo que lo sustenta. Aquí, sumergimos nuestras mentes en la aplicación de técnicas de teledetección e inteligencia artificial para caracterizar los suelos en sistemas agrícolas de mediana escala, brindando a los agricultores herramientas precisas para optimizar la fertilización y el manejo de sus tierras.

Capítulo 3. Caracterización de la cadena de suministro del plátano: desafíos y oportunidades. La producción agrícola es solo una pieza del rompecabezas; la cadena de suministro completa desempeña un papel crucial en llevar el producto desde el campo hasta la mesa. En este capítulo, exploramos los desafíos y las oportunidades en la producción, distribución y comercialización del plátano, identificando áreas de mejora en una cadena que conecta a productores, distribuidores y consumidores.

Capítulo 4. Análisis comparativo de costos asociados al personal en agricultura tradicional y agricultura de precisión. La eficiencia en la utilización de recursos humanos es esencial en la agricultura moderna. Aquí, examinamos los costos asociados al personal en el contexto de la agricultura de precisión y cómo se comparan con los métodos tradicionales de cultivo, destacando las ventajas económicas y operativas de la tecnología.

Capítulo 5. Drones en los cultivos de plátano: caso de estudio en Castilla La Nueva, Meta. Finalmente, en este capítulo, traemos la teoría a la práctica con un estudio de caso específico. Exploramos la viabilidad de los drones en las explotaciones agrícolas colombianas, enfocándonos en los cultivos de plátano en el municipio de Castilla La Nueva, Meta. Desde el monitoreo de cultivos hasta la aplicación de tratamientos, este capítulo ofrece una visión completa de cómo la tecnología está transformando la producción agrícola en la región.

A medida que nos sumergimos en cada capítulo, realizamos una invitación a los lectores a descubrir las historias de innovación, los desafíos superados y las oportunidades que surgen en el horizonte de la agricultura de precisión en Colombia. Este libro es un tributo a la pasión de los agricultores, la curiosidad de los investigadores y la promesa de un futuro agrícola más sostenible y próspero.

Capítulo

1

# Descripción de las características agrícolas y económicas de *Musa Paradisiaca Var. Hartón* (plátano hartón) en la región de los Llanos Orientales de Colombia

**Franz Esteban Rodríguez Franky**

Docente-investigador
Fundación Universitaria Compensar
Docente investigador – Grupo EGE
Escuela de Negocios

## Introducción

El estudio de las características agrícolas de *Musa Paradisiaca Var. Hartón*, más conocido como plátano hartón, tiene gran importancia dentro de la presenta obra, ya que describe de manera específica el comportamiento económico y comercial que posee este cultivo dentro del desarrollo de la región de los Llanos Orientales de Colombia. En el presente capítulo, se evidencia agronómica, biológica y ambientalmente algunas de las características que posee esta especie y su relación directa en el desarrollo comercial y social de unidades familiares agrícolas. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), la cadena agroalimentaria del banano colombiano, incluyendo el conocido plátano hartón o dominico, está compuesta por productores, comercializadores, industrias procesadoras, productores de semillas, proveedores de materia prima, exportadores, universidades, centros de investigación e instituciones. Cabe resaltar que la mayor fuente de generación de producción está a cargo de pymes y unidades familiares productoras de las diferentes regiones del país. Este proceso es acompañado por organismos regionales y nacionales como el Instituto Colombiano de Agricultura (ICA) o el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), entre otros.

Desde la Fundación Universitaria Compensar, se ha venido generando un trabajo articulado entre los sectores productivos de esta especie vegetal y los productores de la región de los Llanos Orientales. De esta manera, no solo la transferencia de conocimiento, tecnología y prácticas apoya la mejora productiva, ambiental y social de la región, sino que también se aporta al desarrollo integral de la región.

## Generalidades de *Musa Paradisiaca Var.* Hartón (plátano hartón)

El plátano y banano es uno de los cultivos de mayor extensión en Colombia, tomando en cuenta sus niveles de consumo interno y principalmente su enfoque en procesos de exportación. Es una especie perteneciente a la familia de las musáceas y al género *Musa*. Se conoce que este producto posee alrededor de 30 a 40 especies diploides. El plátano hartón está compuesto por:

- Raíz principal
- Tallo bien formado
- Cormo o rizoma
- Seudotallo
- Yemas de producción
- Hojas
- Racimo o inflorescencia

La población en constante crecimiento ha crecido junto con la demanda y el consumo de alimentos, un fenómeno que no solo ocurre en Colombia. Para el 2022, en el planeta Tierra la población ya alcanza los 8 mil millones de habitantes, de los cuales 662 millones viven en América Latina y el Caribe. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2023), "La población de América Latina y el Caribe representa hoy el 8,2 % de la población mundial, y se proyecta que la región alcanzará su población máxima en 2056, con un total de 752 millones de personas" (párr. 3). Es por lo que, en la producción de alimento, se necesitan nuevas alternativas para evitar la contaminación y el daño al medio ambiente y ayudar a aumentar la productividad. En este sentido, algunas posibles soluciones incluyen el uso de diferentes sistemas de cultivo, como cultivos intercalados o alta densidad de plantas. Es allí donde la especie *Musa Paradisiaca Var. Hartón* cumple una gran función en la alimentación de los colombianos.

El plátano es una especie vegetal bien definida y estructurada que le permite realizar procesos de producción y tecnificación *in situ* para la mejora agronómica, como se evidencia en la tabla 1; esto conlleva a tener procesos y ciclos de producción como cultivo anual, en el que la renovación de la planta se debe realizar previa a la planificación escalonada de la siembra.

**Tabla 1. Taxonomía de *Musa Paradisiaca Var*. Hartón**

| | |
|---|---|
| **Orden** | Zingiberáceas |
| **Género** | *Musa* |
| **Familia** | Musácea |
| **Especie** | *Musa X paradisiaca L.* |
| **Variedad** | Hartón |

*Fuente: elaboración propia con base en Calderón (2018).*

Esta especie es una planta herbácea perenne, en el que su origen no es colombiano, así en el país se han desarrollado algunas mejoras genéticas que permiten mejorar condiciones de resistencia fitopatológicas. El origen del plátano es indio-asiático, siendo estas zonas de mayor producción a nivel mundial y fuente importante en la alimentación de las familias. En la tabla 2 se describen típicamente algunas de las características agronómicas que posee esta especie. Cabe mencionar que la producción de plátano en Colombia ha

generado el desarrollo de técnicas y prácticas agrícolas que han permitido a los cultivos aumentar sus unidades productivas por planta, garantizando la densidad poblacional por hectárea.

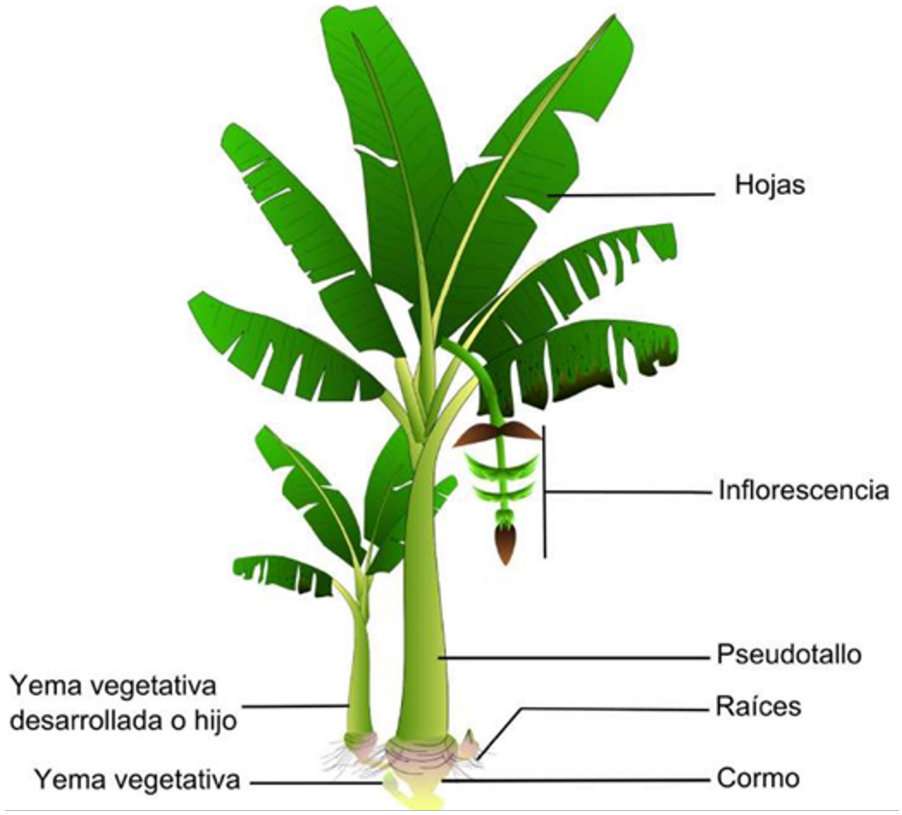
**Tabla 2. Descripción fenotípica de *Musa Paradisiaca Var. Hartón***

| Estructura | Descripción |
|---|---|
| Tallo | Posee un seudotallo y tallo definido de rizoma, que le permite ser una especie perenne (MADR, 2019). |
| Raíz | Raíces superficiales, las cuales son de color blanco, con un diámetro de 7 cm aproximadamente, con una longitud que puede llegar a medir 3 m en sentido horizontal y 1,5 m en sentido vertical o de profundidad (Córdova, 2018). |
| Hoja | Posee hojas que emiten en el punto del meristemo de crecimiento del tallo, las hojas se forman dentro del pseudotallo y emerge enrollada, pueden llegar a medir de 2 a 3 m de largo y hasta 1,5 m de ancho (Calderón, 2018). |
| Fruto | Es un fruto partenocarpio, de baya oblonga, llegando a poseer entre 5 a 10 manos y cada mano con 6 a 12 frutos. De color verde y pasando a amarillo en su etapa de maduración (Barrera, Arrazola & Cayón, 2009). |

*Fuente: elaboración propia.*

Estas características hacen que la producción de plátano tenga actividades especiales definidas y esenciales en el crecimiento y desarrollo de la especie. Las técnicas de producción varían según las condiciones agroecológicas y la estructura fenotípica de la planta (figura 1), entiéndanse estas como condiciones de temperatura, humedad relativa, nivel de precipitación, porcentaje de materia orgánica en el suelo y capacidad de intercambio catiónico de los suelos cultivados. Es por lo que los destinos de venta del mercado del plátano en cada región se enfatizan en mercados o supermercados especializados, industria y exportación. Este último es el mercado técnicamente más exigente debido a los requerimientos comerciales de la cadena. En la producción de cultivos, la producción está controlada por la interacción entre el potencial genético de las plantas, potencial que en Colombia se ha caracterizado por procesos de fitomejoramiento que ha permitido mejorar condiciones agronómicas; esto explica la complejidad de comprender los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo de esta especie vegetal.

**Figura 1. Estructura fenotípica de *Musa Paradisiaca Var.* Hartón**




*Fuente: Bolaños et al. (2020).*

En la tabla 3, se describen algunos de los requerimientos nutricionales y agroclimáticos necesarios para la producción óptima de *Musa Paradisiaca Var. Hartón*. Requisitos que varían dependiendo de la región. Es allí donde los Llanos Orientales le brindan a esta especie vegetal ciertas ventajas productivas en la que la composición de los suelos permite tener mayor capacidad de humedad y retención de agua. Para Carvajal (2020), una de las principales características de producción es la densidad poblacional (número de especies sembradas por metro cuadrado), ya que en Colombia el aumento de la densidad de población de más de 250 plantas/ha a 1.000 plantas/ha ha permitido aumentar las unidades producidas, aunque esta mayor densidad todavía se considera muy importante, ya que se puede presentar mayor impacto de enfermedades y plagas en todo el ciclo fenológico de la planta.

**Tabla 3. Requisitos edafológicos y agroclimáticos para *Musa Paradisiaca Var. Hartón***

| Característica | Descripción |
|---|---|
| Altura | 0-1.800 msnm |
| Suelo | Franco limoso |
| pH | 5,5-6,5 |
| Humedad relativa | 60-80 % |
| Temperatura | 27 a 34 °C |
| Nitrógeno (materia orgánica) | 3-8 % en suelo |
| Fósforo (ppm) | 10-20 en suelo disponible |
| Potasio (mEq/100 gr de suelo) | 0,3-0,6 en suelo disponible |
| Calcio (mEq/100 gr de suelo) | 3-6 en suelo disponible |
| Magnesio (mEq/100 gr de suelo) | 1-2 en suelo disponible |
| Boro (ppm) | 0,4-1 en suelo disponible |
| Manganeso (ppm) | > 20 en suelo disponible |
| Zinc (ppm) | < 1,5 en suelo disponible |
| Cobre (ppm) | 0,9-1 en suelo disponible |

*Fuente: elaboración propia con base en Bolaños et al. (2020).*

## Producción y desarrollo de *Musa Paradisiaca Var. Hartón* (plátano hartón)

La producción de esta especie vegetal en promedio puede variar, entre el momento de la siembra y la recolección del fruto, entre seis y ocho meses, dependiendo de las características agronómicas anteriormente mencionadas. Durante este proceso, la planta puede llegar a producir entre 16 y 20 hojas, que son utilizadas para otro tipo de actividades productivas. Para Aránzazu *et al.* (2002), "Durante esta etapa está incluida la brotación, formación de raíces, producción y crecimiento de seudotallo e inicio de la diferenciación floral" (p. 7). Para MADR (2020), en el 2019 la producción y las áreas sembradas de plátano en Colombia aumentaron entre un 9 % y un 3 % respectivamente. En ese terreno, se logró una producción de 4.376.922 toneladas en 45.329 hectáreas de tierra sembrada. Para el 2020, según estimaciones del DCAF (Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales), la producción alcanzó cerca los 4,5 millones de toneladas.

Finalmente se menciona que el rendimiento de producción para Colombia en el 2021 es de 7,5 ton/ha (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sostenible, 2021). Datos que incluye indudablemente al Departamento del Meta, donde se ha llevado el presente estudio. En la tabla 4, se registran los niveles de producción y la relación de las áreas sembradas en Colombia. Es importante resaltar que el número de hectáreas a sembrar y la producción están en función de las características agronómicas y biológicas que presenta el cultivo durante toda su etapa productiva. No obstante, Colombia ocupa el quinto lugar en niveles de producción en comparación al mundo entero, siendo el país con mayor rendimiento mundial (ton/ha) República Dominicana, presentando indicadores de 21,7 ton/ha, seguido de África, donde se concentra el 60 % de la producción mundial con cerca de 24 millones de toneladas, y de América, con un 27 %, registrando 10,5 millones de toneladas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sostenible, 2021).

Para el caso de estudio en la región de los Llanos, esta es la zona de mayor producción en el país. Contando los Llanos Orientales, los departamentos de Arauca, Meta y Casanare concentran el 30 % de la producción de esta región; el principal departamento productor de plátano es Arauca, con un 19 % de la producción, con cerca de 43.000 hectáreas y un rendimiento de 20 ton/ha, según los registros para el año 2019, seguido por el Meta y posteriormente Casanare.

*Véase Tabla 4, página siguiente.*

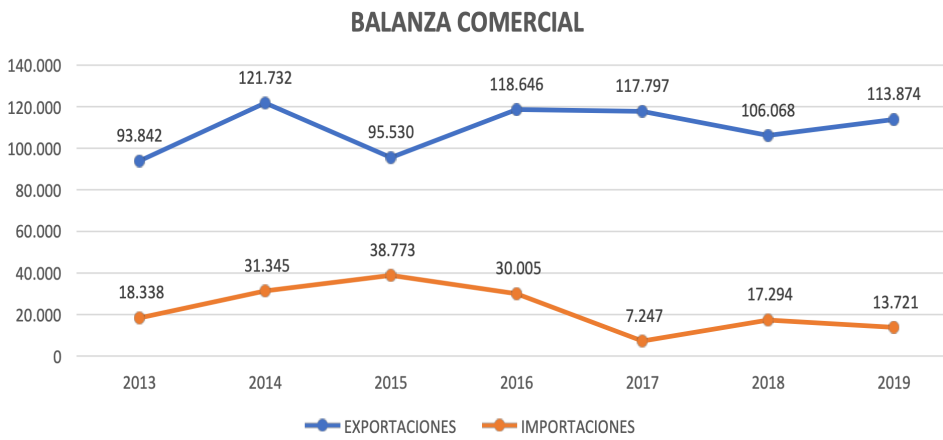
Para Bancoldex (2021), la producción y exportación de plátano es una de las líneas económicas del país. Las exportaciones de plátano en el año 2019 tuvieron un crecimiento del 7,36 %, frente al año 2018, llegando a las 113.874 toneladas enviadas. El principal destino de exportación es los Estados Unidos, registrando el 41 % de participación del mercado para 46.813 ton, y el segundo destino es Reino Unido, con exportaciones de 40.435 toneladas para un 36 %. Por otra parte, las importaciones en el país decrecieron en un 21 % de 2018 a 2019, llegando a las 13.721 toneladas, traídas en su totalidad desde Ecuador, como se evidencia en la figura 2, en relación con el balance comercial. es importante mencionar que Colombia compite con Ecuador y Venezuela en el mercado del plátano en Estados Unidos y con Costa Rica en el mercado europeo; no obstante, cabe anotar que Ghana y otros países africanos están incursionando en el mercado europeo.

**Tabla 4. Relación de la producción y siembre de plátano en Colombia**

| DPTO. | ÁREA SEMBRADA (ha) | | | | | PRODUCCIÓN (ton) | | | | | RENDIMIENTO (ton/ha) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020* | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| ARAUCA | 31.120 | 32.565 | 36.582 | 37.112 | 38.905 | 542.074 | 667.516 | 793.084 | 848.362 | 911.203 | 16 | 21 | 21 | 21 | 20 |
| ANTIOQUIA | 62.686 | 62.862 | 47.125 | 51.228 | 50.396 | 452.840 | 438.023 | 361.719 | 417.719 | 422.509 | 5 | 6 | 6 | 7 | 6 |
| META | 24.412 | 26.545 | 23.669 | 24.267 | 24.619 | 269.697 | 427.292 | 387.505 | 405.497 | 418.320 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| VALLE DEL CAUCA | 29.879 | 29.840 | 28.634 | 28.968 | 29.974 | 323.298 | 267.667 | 307.548 | 319.697 | 333.589 | 10 | 10 | 10 | 11 | 10 |
| CÓRDOBA | 28.111 | 25.490 | 27.009 | 28.327 | 28.522 | 257.635 | 258.899 | 200.692 | 285.634 | 289.446 | 8 | 8 | 7 | 8 | 8 |
| CHOCO | 27.572 | 27.645 | 25.681 | 26.483 | 27.276 | 265.384 | 271.744 | 264.391 | 281.657 | 296.668 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| CALDAS | 23.102 | 23.245 | 23.245 | 23.695 | 24.141 | 245.284 | 250.370 | 272.379 | 278.877 | 288.170 | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 |
| QUINDÍO | 26.667 | 26.546 | 26.475 | 26.755 | 26.079 | 266.739 | 253.356 | 246.964 | 251.613 | 244.729 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| TOLIMA | 28.278 | 27.154 | 22.139 | 22.726 | 21.910 | 183.202 | 173.139 | 139.548 | 150.106 | 143.019 | 8 | 8 | 8 | 11 | 9 |
| RISARALDA | 17.948 | 17.914 | 17.533 | 17.797 | 17.405 | 161.190 | 158.859 | 146.408 | 149.501 | 148.006 | 11 | 11 | 10 | 10 | 11 |

*Fuente: tomado de evaluaciones agropecuarias (EVA, 2021)*

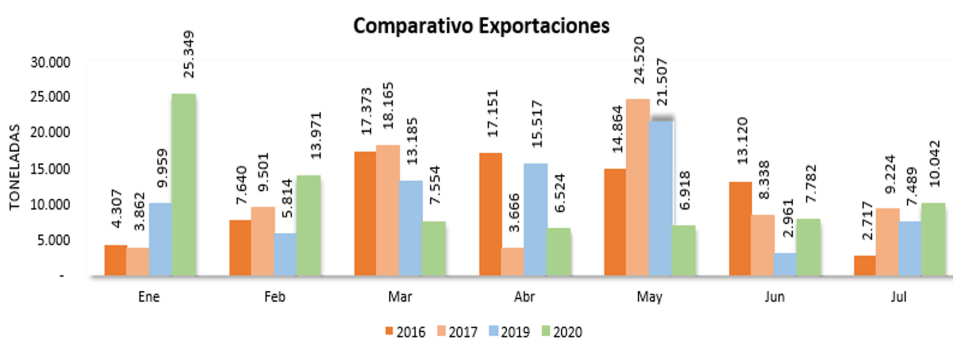
**Figura 2. Balance comercial del plátano**




*Fuente: SICEX – Datos aduanas nacionales (2021).*

Los principales países destinos de las exportaciones de plátano colombiano son, en su orden: Estados Unidos, Reino Unido, Bélgica y España, que en conjunto sumaron cerca del 90 % del plátano exportado en el 2019 y obteniendo el país divisas por exportaciones de plátano del orden de 63 millones de dólares. Las exportaciones de plátano a noviembre de 2020 muestran un crecimiento del 36,9 %, pasando en el periodo 2019-2020 de 104.632 ton a 143.291 ton, como se evidencia en la figura 3. Este incremento se dio principalmente en enero, febrero, junio y noviembre, meses que suman el 74 % de las exportaciones del año. Para Morales *et al.* (2020), "el plátano es un producto tropical de gran importancia económica y de seguridad alimentaria en la región centroamericana y en Latinoamérica. Es un fruto que se produce en las regiones de poco desarrollo industrial, y se comercializa en fresco y en menor escala" (p. 87).

**Figura 3. Comparativo de exportaciones del plátano**




*Fuente: SICEX – Datos aduanas nacionales (2021).*

Otra de las características importantes, cuando se analiza la viabilidad de este tipo de productos, es la generación de empleo; el subsector de plátano en el país asciende a alrededor de 967.743, siendo junto con el café y la panela los principales productos que generan empleos en el sector agrícola del país. Desde el año 2014, se ha incrementado en un 17 % la cantidad de empleos directos e indirectos que genera el sector platanicultor colombiano. Todos estos datos permiten evidenciar los tópicos productivos que tiene esta especie. La presente investigación, en la que se pretende facilitar las labores agrícolas, monitorear y describir el impacto de las prácticas culturales, así como registrar y trazar una proyección de producción a partir de las herramientas tecnológicas, marca el diferencial visible para una ventaja competitiva en la producción y comercialización del producto. Para Cabrera *et al.* (2020), "La Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el desarrollo sostenible señala entre sus metas proteger la diversidad de especies, los recursos fitogenéticos para la seguridad alimentaria de los países, además del uso de la cobertura terrestre sostenible" (p. 191), y el cultivo de plátano indudablemente es una de estas.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020), la producción de plátano y banano es uno de los cultivos más rentables y extensos en América Latina y el Caribe; además, es el principal rubro de ingresos económicos de la exportación agrícola. En el continente sudamericano y el Caribe, el cultivo de plátano alberga aproximadamente el 70 % de toda la producción que se lleva a cabo a nivel mundial, esto sin contar que es un territorio con gran potencial en biodiversidad agrícola mundial, incluidas las especies endémicas. La preservación y conservación de las especies es un capital que otorga a América Latina una ventaja competitiva y es fundamental para el desarrollo de políticas nacionales que promuevan una agricultura sostenible.

## Características agronómicas y biológicas del *plátano Musa Paradisiaca Var.*

### *Hartón (*plátano hartón*)*

El plátano es uno de los cultivos de mayor distribución y comercialización que existe en el país. Como se ha venido mencionando, la especie posee una serie de características biológicas y agronómicas que le permiten tener una gran diversidad de adaptación a diferentes pisos térmicos. No obstante, existe una serie de actividades que garantizan de mejor manera la producción de la especie, como lo es el registro de densidad de siembra en diferentes distancias, desde 3 x 3 hasta 5 x 4, ya que cada densidad tiene un comportamiento de producción distinto. En la tabla 5, se evidencia el comportamiento de las densidades, su ciclo de producción y el rendimiento posible a obtener en la producción.

**Tabla 5. Características agronómicas del plátano Musa *Paradisiaca Var. Hartón* (plátano hartón)**

| Distancias de siembra (m) | Plantas/ ha | Ciclos de producción | Altura planta (m) | Ciclo vegetativo (meses) | Racimos cosechados (%) | Rendimiento calculado (t/ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3,3 x 2,0 (un colino) | 1.500 | 1 | 3,6 | 16,2 | 90 | 22,4 |
| | | 2 | 4,8 | 26,2 | 63 | 19,2 |
| | | 3 | 5,0 | 37,5 | 60 | 17,6 |
| 3,3 x 2,0 (dos colinos) | 3.000 | 1 | 3,9 | 18,,3 | 83 | 40,5 |
| | | 2 | 5,0 | 34,7 | 55 | 24,7 |
| | | 3 | 5,1 | 48,2 | 41 | 17,6 |
| 5,0 x 2,0 (un colino) | 1.000 | 1 | 3,4 | 16,0 | 91 | 15,0 |
| | | 2 | 4,7 | 24,7 | 84 | 17,2 |
| | | 3 | 4,9 | 35,0 | 62 | 12,6 |
| 5,0 x 2,0 (dos colinos) | 2.000 | 1 | 3,7 | 17,6 | 84 | 26,8 |
| | | 2 | 4,9 | 30,8 | 81 | 23,3 |
| | | 3 | 5,1 | 44,6 | 66 | 22,1 |
| 5,0 x 4,0 (dos colinos) | 1.000 | 1 | 3,5 | 17,2 | 100 | 16,3 |
| | | 2 | 4,7 | 26,8 | 97 | 19,5 |
| | | 3 | 4,9 | 37,0 | 66 | 13,7 |
| 5,0 x 4,0 | 1.500 | 1 | 3,7 | 18,4 | 93 | 24,8 |
| | | 2 | 4,9 | 30,4 | 80 | 25,8 |
| | | 3 | 5,0 | 42,8 | 66 | 18,8 |

*Fuente: elaboración propia con base en Belalcázar (2012).*

Respetar las distancias y densidades de siembra garantiza que la producción sea de calidad y que los rendimientos sean los que se esperan dentro del cultivo; es por lo que las características agronómicas juegan un papel importante dentro del desarrollo del cultivo. Ahora bien, analizar las prácticas que más favorecen el rendimiento y productividad de la especie es la esencia de la presente obra, en la que el uso de herramientas tecnológicas permite favorecer la producción y el beneficio social que trae este en los pequeños cultivos

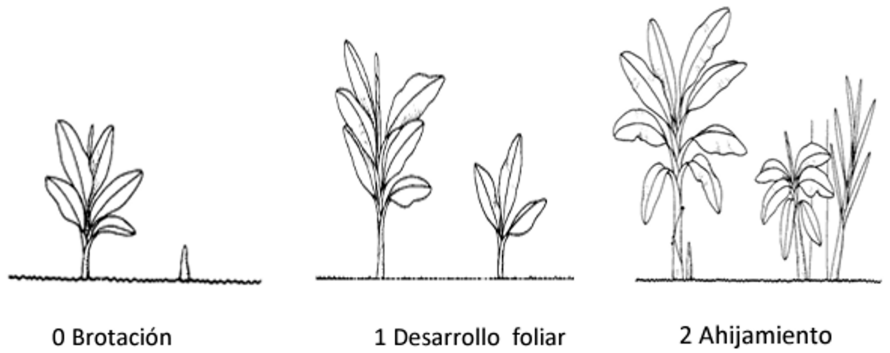
o unidades familiares agrícolas. Es importante mencionar que estas acciones tecnológicas deben estar enfocadas de manera integral en:

- Manejo del recurso hídrico del cultivo
- Manejo integrado de plagas, enfermedades y arvenses
- Manejo integrado de fertilización y nutrición
- Manejo integrado de cosecha y postcosecha
- Empaque y embalaje del producto
- Comercialización y distribución del producto

Para el caso de los Llanos Orientales, es de vital importancia identificar y contextualizar los estados fenológicos o las etapas productivas de la especie; de esta manera, se logra realizar una planeación acorde a las necesidades biológicas de la planta. En las siguientes figuras, se observan las diferentes etapas o fases fenológicas por las que pasa el cultivo. Respectivamente, se distribuyen de la siguiente manera: en la figura 4, las etapas 0, 1, 2, 3 y 4, las cuales forman parte de las fases de brote, desarrollo foliar y ahijamiento. Estas son las primeras fases que le permiten a la planta tomar una estructura más rígida y de mayor vigor para su siguiente etapa vegetativa. En la figura 5, se puede describir el estadio de las etapas 5 y 6, que dan respuesta a la transición floral y a la floración, respectivamente. En la figura 6, se observan las etapas principales del cultivo, las llamadas 7, 8 y 9, que dan relación a las fases de formación del fruto, maduración del fruto, senectud y muerte de la planta.

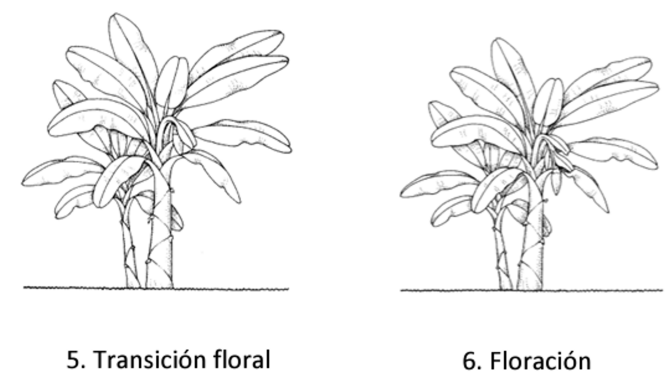
Es importante mencionar que, en cada una de estas etapas, todos los demás factores agronómicos se deben contemplar dentro de su proceso de producción, entiéndase los sistemas de nutrición, protección sanitaria, manejo de arvenses, cosecha y postcosecha. Acciones que garantizan que las unidades productivas aumenten la rentabilidad y expresión biológica. Es por ello que la agricultura de precisión y el uso de herramientas digitales que permitan el monitoreo, control y mejora de los procesos productivos permitirán que estos sistemas agrícolas vean reflejado un impacto positivo en las acciones productivas, comerciales, sociales y ambientales, variables más allá de lo generado en el triple impacto, buscando sin duda alguna la ventaja competitiva de estos sistemas.

**Figura 4. Fase de brote y desarrollo foliar**



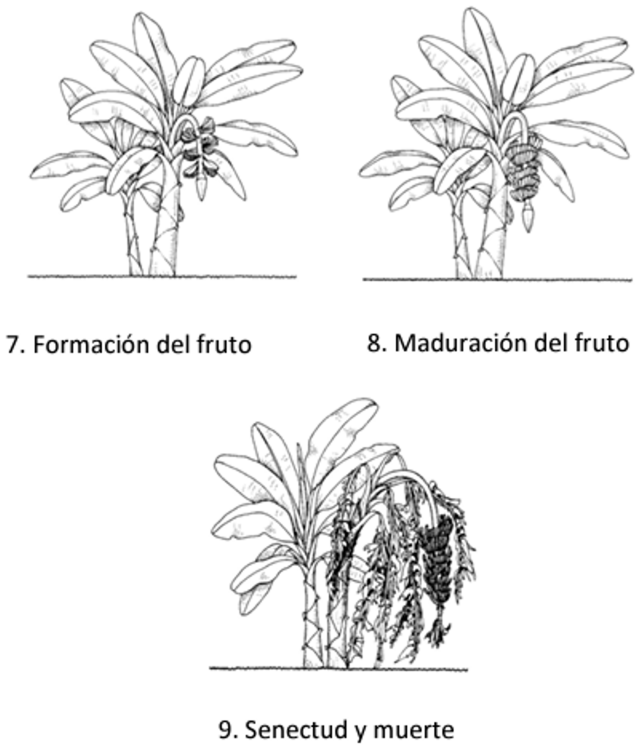

*Fuente: Barrera et al. (2011, p. 35).*

**Figura 5. Fase de floración**




*Fuente: Barrera et al. (2011, p. 36).*

**Figura 6. Formación y maduración del fruto**




*Fuente: Barrera et al. (2011, p. 36).*

Como evidenciamos, el proceso fenológico en cada uno de los estados productivos de la planta *Musa Paradisiaca Var. Hartón* (plátano hartón) permite que se genere una planificación agronómica enfocada a la nutrición, desarrollo y recolección de esta. Es importante mencionar que el uso de tecnologías aplicadas a maximizar los factores productivos y el uso racional de los recursos naturales son esenciales para modelos productivos mucho más eficientes y eficaces. Para Reyes *et al.* (2022), los rendimientos agronómicos del cultivo se fundamentan en la fortaleza de las familias agrícolas del trópico húmedo; es por ello que el uso de productos como el fósforo (P) y el potasio (K) en los sistemas agroforestales deben ser compartidos con un ejercicio de fuentes de nutrición orgánica (p. 3), de tal manera que los impactos al ambiente se mitiguen dentro de cada proceso productivo.

Una de las variables importantes de la producción de plátano es su enfoque a nivel de sostenibilidad e impacto comunitario que este genera. La producción de plátano tiene la particularidad de impactar de manera positiva sobre las

condiciones socioeconómicas de los agricultores y su familia. Según Tambaco *et al.* (2019), la producción de plátano les permite a las familias productoras manejar un sistema de producción sustentable en el tiempo, esto de manera integrada con los recursos naturales y subproductos orgánicos que se obtienen de los procesos productivos. Los autores también plantean la necesidad de seguir fortaleciendo la revolución de la llamada "agricultura orgánica", de la cual deriva la producción de nuevos sistemas integrados, balanceados y estables con el medio ambiente (pp. 62-63).

## La producción del plátano *Musa Paradisiaca Var. Hartón* (plátano hartón) y su relevancia con la sostenibilidad

Cuando se habla de sostenibilidad, indudablemente se debe hablar de triple impacto y la manera como este tipo de sistemas productivos ayudan a mejorar las condiciones ambientales, económicas y sociales de una región en particular. La sostenibilidad no solo se fundamenta en la continuidad de un emprendimiento y modelo de negocio, es un ejercicio que permite reflejar y compartir las buenas prácticas empresariales y productivas de una zona. Hacer frente al cambio climático y a las diferentes afectaciones originadas por la implementación de sistemas productivos extractivistas, el uso irracional de recursos, la contaminación de fuentes hídricas y la generación de gases de efecto invernadero garantiza procesos de agricultura limpia y asegura prácticas de conservación. Por ello, el trabajo colectivo en los cultivos de plátano debe partir de actividades sostenibles y comunitarias que orienten un impacto favorable sobre el cambio climático.

Para Elbehri *et al.* (2015), los procesos de sostenibilidad en el plátano tienen la particularidad de que se "consume en gran medida en países de ingresos elevados del hemisferio norte, lo que hace de la exportación comercial una cadena de valor mundial desde el inicio, coordinación de las actividades desde las plantaciones hasta el consumidor final" (p. 21). Es por lo que las buenas prácticas agrícolas, las buenas prácticas pecuarias y de manufactura aportan de manera tangible a la sostenibilidad de este tipo de producción, por lo que es necesario identificar y conocer las necesidades agronómicas de los sistemas de producción, la utilización de suelos óptimos, los riesgos de la sostenibilidad edáfica y la ubicación espacial y geográfica de los sistemas productivos. Cuando hablamos de sostenibilidad en Colombia, para Vargas *et al.* (2022), los ingresos en Colombia por los procesos del sistema productivo alcanzaron en el 2019 un total de 458,7 millones de USD; estos valores representan el 14 % del total de las exportaciones colombiana (p. 820), valores que representan un factor esencial para la proyección de sostenibilidad y sustentabilidad de la producción de plátano.

Para entender un poco más sobre los procesos de evaluación a la sostenibilidad, a nivel internacional se tienen diferentes herramientas que permiten su divulgación, como el método Response-Inducing Sustainability Evaluation (RISE), Public Goods (PG), Sustainability Assesment of Food and Agriculture Systems (SAFA) e Indicators de Durabilitédes Exploitations Agricoles (IDEA). Otro de los métodos utilizados es el propuesto por Rodríguez *et al.* (2020), el cual plantea una matriz de evaluación a la sostenibilidad a partir de la medición por áreas funcionales, en el que describe una serie de ítems evaluativos que desglosan una medición integral en cada una de las dimensiones de la sostenibilidad.

Finalmente ,se puede describir que toda acción organizacional enfocada a maximizar las operaciones de un sistema productivo de plátano, así como el apoyo gubernamental a través de políticas y planes de gobierno que busquen facilitar el acceso a la tecnología, los sistemas financieros, la banca internacional y los procesos de calidad, será una de las estrategias administrativas de mayor índole para el campo colombiano y su línea de producción bananera. Para León Serrano (2017), "se plantea la necesidad de adoptar planes de ordenamiento territorial, proyectos de contingencia de prevención en la contaminación ambiental y capacitaciones a los productores y trabajadores" (p. 1), lo que garantiza que los procesos productivos del plátano tengan siempre un mejoramiento continuo; por ende, todo esfuerzo que se realice en pro de disminuir los niveles de gases de efecto invernadero, la concentración de agroquímicos y el impacto en el detrimento ambiental de las zonas productivas. La invitación desde el presente texto es incentivar a profesionales, académicos, empresarios y Gobierno a seguir trabajando por la transferencia tecnológica, el conocimiento aplicado, en búsqueda del mejoramiento de las unidades productivas del plátano.

## Referencias bibliográficas

Aránzazu, F., Valencia, J., Arcila, M., Castrillón, C., Bolaños, M., Castellanos, P., Pérez, J. & Rodríguez, J. (2002). *El cultivo de plátano, manual técnico*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Colombia.

Barrera, J. L., Arrazola, G. S. & Cayón, D. G. (2009). "Caracterización físico-química y fisiológica del proceso de maduración de plátano hartón (Musa AAB Simmonds) en dos sistemas de producción". *Acta Agronómica*, pp. 20-29.

Barrera Violeth, J., Cardona Ayala, C. & Salinas, C. (2011). *El cultivo del plátano (Musa AAB Simmonds): ecofisiología y manejo cultural sostenible* (No. F01-46). Universidad de Córdoba (Colombia).

Belalcázar, S. (2012). *El cultivo del plátano en altas densidades de siembra. Una nueva concepción tecnológica de producción*. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Programa de Plátano y Banano, Armenia, Quindío, Colombia.

Bolaños-Benavides, M., Bautista Montealegre, L., Cardona, W., Morales-Osorno, H., López-Melo, D. & Peña-Holguín, A. (2020). *Plátano (Musa AAB): manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el Departamento de Cundinamarca*. Bogotá, D.C.: Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2.

Cabrera, J. B. Z., Guerrero, J. N. Q. & Batista, R. M. G. (2020). "La producción de banano en la Provincial de El Oro y su impacto en la agrobiodiversidad". *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(3), 189-195. http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/327

Calderón, G. (2018). *Cultivo de plátano hartón (Musa paradisiaca)*. El Salvador: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" (CENTA).

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2022). "El mundo alcanza los 8 mil millones de habitantes, de los cuales 662 millones viven en América Latina y el Caribe". https://www.cepal.org/es/noticias/mundo-alcanza-8-mil-millones-habitantes-cuales-662-millones-viven-america-latina-caribe

Córdova, C. N. (2018). *El cultivo de plátano (Musa paradisiaca)*. El salvador: Ministerios de Agricultura y Ganadería.

De los Santos, L. G. B. & Cárdenas, D. F. O. "Aplicación de la agricultura de precisión para mejorar las actividades de la cadena de valor en cultivos de plátano". Capitulodeinvestigacinsobrecultivodepltano.pdf (researchgate.net)

Elbehri, A., Calberto, G., Staver, C., Hospido, A., Skully, D., Roibás, L. & Bustamante, A. (2015). *Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

López, A. (1998). *Fertilización convencional del cultivo de banano en Costa Rica y su relación con la producción sostenible de banano orgánico*, 63. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TL0PE62Na9gC&oi=fnd&pg=PA63&dq=sostenibilidad+%2B+banano&ots=kLpaBRBoNF&sig=9yxaXmbtsFGmSOVYR4CXGbVlmio#v=onepage&q=sostenibilidad%20%2B%20banano&= false

Morales, E. L. Á., Córdova, S. A. L., Bravo, M. L. S. & Macías, B. L. C. (2020). "Evaluación socioeconómica de la producción de plátano en la zona norte de la Provincia de los Ríos". *Journal of Business and Entrepreneurial Studies, JBES*, 4(2), 86-95. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7888294

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2014). *Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. FAO. http://www.fao.org/3/a-i3704s.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020). *Análisis del mercado del banano: resultados preliminares 2019*. FAO. http://www.fao.org/3/ca7567es/ca7567es.pdf

Organización de las Naciones Unidas (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. ONU. https://repositorio.cepal.org/bitstream/hand-le/11362/40155/24/S1801141_es.pd

Reyes-Osornio, M., Guzmán-Moreno, M. A., Catari-Yujra, G., Hernández–Hernández, H. & Gutiérrez Hernández, J. O. (2022). "Yield of Lady Finger Banana alley cropped in a system with Inga SPP, at varying levels of potassium and phosphorus fertilizers". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. doi:10.56369/tsaes.4197

Rodríguez Franky, F. E., Catumba Arias, J. C. & Arias Jiménez, L. P. (2020). *Negocios verdes*. https://repositoriocrai.ucompensar.edu.co/handle/compensar/2943

Rodríguez Franky, F., Arias Jiménez, L., Rivera Alonso, J. & Rodríguez Escobar, G. (2023). *Sostenibilidad del modelo empresarial verde: una evaluación al funcionamiento sostenible de las pymes ecológicas*. Fundación Universitaria Compensar. https://repositoriocrai.ucompensar.edu.co/handle/compensar /5056

Serrano, L. L. (2017). "La sostenibilidad ambiental en el sector productivo bananero del cantón Machala". En Conference Proceedings (Machala) (Vol. 1, No. 1). https://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/article/view/222/193

Tambaco, M. O., Alarcón, J. N. & Alarcón, C. N. (2019). "Diagnóstico situacional de los pequeños productores del banano orgánico de la Provincia de El Oro hacia el mercado europeo". *Espirales*, 3(25), 60-71.

Vargas-Prieto, A., Arrieta-Díaz, E. & Arrieta-Sánchez, A. C. (2022). "Estado del arte de los métodos de evaluación de la sostenibilidad". *Clío América*, 16(31). https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/clioamerica/article/view/4580/3773

Capítulo

2

# Estructuración de una metodología para la caracterización de suelos en sistemas agrícolas de mediana escala empleando técnicas de teledetección e inteligencia artificial


**Óscar Leonardo Herrera Sandova**

Universidad Central, profesor investigador,
Clúster de Investigación en Ciencias y Tecnologías Convergentes NBIC.

**Freddy Alexander Díaz González**

Universidad Central, profesor investigador
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas.

**Duván Ricardo Gamboa Hernández**

Universidad Central, asistente de investigación
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas.

**Juan Camilo Vega Sierra**

Universidad Central, asistente de investigación
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas.

## Resumen

La demanda de alimentos basada en la agricultura intensiva ha disminuido la calidad del suelo, lo que plantea grandes retos como el aumento de la productividad agrícola y el fomento de la sostenibilidad medioambiental. Por ello, los investigadores se han centrado en el desarrollo de modelos de estimación de la calidad del suelo basados en técnicas de inteligencia artificial para el procesamiento de datos multidimensionales procedentes de sistemas agroindustriales, que proporcionan información útil para los agricultores sobre la gestión del suelo y las condiciones de los cultivos. Sin embargo, no se ha desarrollado un modelo para la aplicación de estas nuevas tecnologías en sistemas agrícolas de media y baja escala. Por lo tanto, es importante contar con una metodología sobre la predicción del rendimiento de los cultivos basados en la estimación de indicadores químicos, físicos y biológicos de la calidad del suelo (indicadores de calidad del suelo, ICS), que incorporan diferentes técnicas de inteligencia artificial (IA) para procesar datos de sistemas de teledetección. También se deben analizar las ventajas y desventajas para la estimación de ICS a escala regional y local, bandas espectrales utilizadas para el análisis de suelos arados (suelos desnudos) de parcelas de cultivo, selección del conjunto mínimo de datos (CMD), uso de plataformas de vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés) y satélites, preprocesamiento de datos y selección de algoritmos IA para procesar bases de datos de sistemas biológicos (sistemas agroindustriales). Por último, se presenta un modelo para ayudar a estimar la calidad del suelo en sistemas agrícolas a escala local basado en IA para procesar datos de teledetección; en el modelo, las entradas a la unidad de IA proceden de cuatro conjuntos de datos de clases diferentes (teledetección, ICS, datos medioambientales y datos de gestión de cultivos). La gestión de cultivos utiliza la producción de la unidad IA para ajustar las prácticas de gestión agrícola y mejorar el rendimiento de los cultivos.



## Palabras claves

Teledetección, inteligencia artificial, indicadores de calidad del suelo, sistemas agrícolas.



## *Abstract*

The demand for food based on intensive agriculture has decreased soil quality, posing great challenges such as increasing agricultural productivity and promoting environmental sustainability. Thus, researchers have focused on developing models for estimating soil quality based on artificial intelligence

techniques for the processing of multidimensional data from agro-industrial systems, which provide useful information for farmers about soil management and crop conditions. However, a model for the application of these modern technologies in medium and low-scale agricultural systems has not been identified. Therefore, a review of recent studies of crop yield prediction based on the estimation of chemical, physical, and biological soil quality indicators (SQI), which incorporate different machine learning (ML) techniques to process data from remote sensing (RS) systems, is presented. The advantages and disadvantages are also analyzed for: SQI estimates at regional and local scale, spectral bands used for analysis of plowed soils (bare soils) of cultivation plots, selection of minimun data set (MDS), use of unmanned aerial vehicle (UAV) and satellite platforms, data pre-processing, and selection of ML algorithms for processing biological systems databases (agro-industrial systems). Finally, we present a model to help estimate soil quality in agricultural systems at a local scale, based on ML to process RS data, in the model the inputs to the ML unit come from four different class data sets (RS, SQI, environmental data and crop management data). Crop management uses the production of the ML unit to adjust agricultural management practices and therefore improve crop yield.

## *Keywords*

*Remote sensing, machine learning, soil quality indicators, agricultural systems.*

## Identificación de la investigación

Este capítulo es el resultado del proceso investigativo llevado a cabo en la Universidad Central, dentro de los programas de semilleros, específicamente el semillero de "Aplicación de percepción remota a la agricultura", el cual a su vez forma parte del Clúster de Investigación en Ciencias y Tecnologías Convergentes NBIC (Nano, Bio, Info, Cogno), que busca fortalecer el desarrollo de la investigación, la tecnología y la innovación a través de la convergencia entre los campos de bioingeniería, nanotecnología, ciencias de la información y ciencias cognitivas. Como resultado de los procesos de investigación llevados a cabo en el semillero, destaca el desarrollo de una metodología para caracterizar y estimar la calidad del suelo en sistemas agrícolas de pequeña y mediana escala mediante el empleo de técnicas de teledetección e inteligencia artificial. En este capítulo, se presenta esta metodología, que busca servir como recurso para que los agricultores dispongan de una herramienta que mejore y simplifique la toma de decisiones en sus labores agrícolas.

## Introducción

En la actualidad, la demanda de alimentos basada en la agricultura intensiva ha disminuido la calidad del suelo, planteando grandes retos como incrementar la productividad agrícola y promover la sostenibilidad ambiental (Wang *et al.*, 2017; Geisseler y Scow, 2014; FAO *et al.*, 2019). Por lo tanto, los agricultores enfrentan el desafío de estructurar metodologías para estimar indicadores de calidad del suelo (ICS), ajustadas a las condiciones específicas del sitio de los sistemas de producción agrícola, en las que utilicen nuevas tecnologías de bajo costo para la recolección y procesamiento de datos, combinadas con las herramientas tradicionales de evaluación de la calidad del suelo (Jung *et al.*, 2021). Además, en los países en desarrollo se identifica la necesidad de acelerar la incorporación de nuevas tecnologías para fortalecer el sector agropecuario, dado que varios de los procesos agroindustriales se desarrollan de manera artesanal, con poca o ninguna tecnología (González-Orozco, 2020). Por ello, los investigadores están desarrollando modelos para estimar la calidad del suelo basados en técnicas de inteligencia artificial para el procesamiento de datos multidimensionales de sistemas agroindustriales, que brinden información útil para que los agricultores definan los tratamientos del suelo cultivado, en cantidades adecuadas en tiempo y forma (Jung *et al.*, 2021). Sin embargo, no se ha identificado una metodología para la aplicación de estas nuevas tecnologías en sistemas agrícolas de mediana y baja escala.

Tradicionalmente, los agricultores colombianos realizan evaluaciones de la calidad del suelo antes de cada ciclo de cultivo, con el fin de conocer las condiciones o estado general del suelo y determinar las prácticas de manejo agrícola más adecuadas. Sin embargo, la calidad del suelo no se puede medir directamente, pero se puede evaluar y estimar mediante una amplia variedad de indicadores e índices de calidad del suelo. El método de cálculo cuantitativo del índice de calidad del suelo consta de tres pasos: selección de indicadores, puntuación de indicadores y puntuación integral en un solo índice (Jian *et al.*, 2020). Los métodos convencionales de evaluación de la calidad del suelo generalmente involucran el análisis de una gran cantidad de indicadores (físicos, químicos y biológicos), los cuales se basan en análisis de laboratorio, lo que implica costos de recolección, transporte y análisis de muestras de suelo que, en conjunto, disminuyen la rentabilidad del cultivo. En consecuencia, muchos investigadores del suelo acordaron establecer un conjunto mínimo de datos (CMD) para disminuir el costo y la redundancia de datos en la evaluación de la calidad del suelo; además, el peso de los indicadores seleccionados se puede calcular mientras se establece el CMD, reduciendo así la influencia subjetiva (Jiang *et al.*, 2020).

La teledetección se ha convertido en una herramienta poderosa para obtener volúmenes significativos de datos de cultivos en poco tiempo y luego generar información útil para los administradores de cultivos (Kasampalis *et al.*, 2018). Una de las aplicaciones de la teledetección en los sistemas agroindustriales es la estimación de indicadores de calidad del suelo, en general, indicadores directamente relacionados con fertilizantes químicos, como el nitrógeno, potasio y fósforo, y otros indicadores biológicos, como el contenido de materia orgánica, biomasa o análisis de clorofila. Además de esto, los métodos más utilizados para procesar la información obtenida por los sistemas de teledetección son las técnicas de inteligencia artificial (IA) y para las necesidades de los modelos de estimación, se utilizan, más específicamente, los métodos de aprendizaje supervisado, a saber, la regresión de vector de soporte (RVS), red neuronal artificial (RNA), bosques aleatorios (BA), entre otros (Liakos *et al.*, 2018).

Se han encontrado otras revisiones que se centran en el uso de técnicas de IA para la predicción del rendimiento del cultivo y el estado del nitrógeno (Chlingaryan *et al.*, 2018), sin embargo, dichos estudios no se enfocan en la recolección de datos con herramientas de teledetección. Por otro lado, críticas como la realizada por Liakos *et al.* (2018) analizan cómo se han utilizado las técnicas de IA en un contexto amplio de la agricultura. Aunque incluye contribuciones de herramientas de teledetección, no se enfoca en indicadores de calidad del suelo, sino que analiza las contribuciones de IA para la clasificación y la visión por computadora. Este es también el caso del trabajo presentado por Wang *et al.* (2019). Además, artículos de revisión, como el de Jha *et al.* (2019), analizan las técnicas de automatización aplicadas a los sistemas agrícolas desde una perspectiva general, que incluye técnicas de IA y teledetección. Así mismo, el trabajo realizado por Veettil *et al.* (2020) ha demostrado que los datos recogidos a través de sistemas de teledetección son de gran utilidad para establecer indicadores que permitan evaluar ecosistemas, identificar cambios temporales y, en general, estimar la calidad ambiental. Adicionalmente, el trabajo realizado por Singh (2018) muestra cómo las técnicas de teledetección proporcionan una alternativa rápida y económica para monitorear y evaluar áreas específicas. También indica cómo establecer ICS superficiales sin la necesidad de un muestreo extenso y análisis de laboratorio. Por otro lado, obras como la presentada por Domínguez-Haydar *et al.* (2019) muestran que, para evaluar el impacto ambiental en un sistema ecológico, la información básica del ecosistema debe incluir ICS químicos, físicos y biológicos.

Por lo tanto, este trabajo está motivado a satisfacer la necesidad de los agricultores colombianos en la consolidación de una metodología para la caracterización de sistemas agrícolas de pequeña y mediana escala, basada en técnicas de inteligencia artificial para el procesamiento de datos de teledetección

obtenidos por medio de UAV. En esta metodología, las entradas del modelo IA provienen de cuatro conjuntos de datos diferentes: los obtenidos por medio de teledetección, los indicadores de calidad del suelo, datos ambientales y datos de manejo de cultivos. De este modo, la gestión de cultivos utiliza los resultados del modelo IA para ajustar las prácticas de gestión agrícola y, por lo tanto, disminuir costos y tiempos en los procesos de evaluación de la calidad de los suelos, mejorando a su vez el rendimiento de los cultivos.

Este capítulo presenta, inicialmente, la recopilación y el preprocesamiento de datos; en esta sección se abordan los temas de identificación del área de cultivo, recopilación de datos del suelo y preprocesamiento de datos. Luego se presenta la aplicación de modelos de regresión de inteligencia artificial (IA), seguido del análisis de resultados y, finalmente, se presentan las conclusiones.

## Metodología para la caracterización de suelos en sistemas agrícolas de pequeña y mediana escala

La metodología propuesta para la caracterización y estimación de indicadores de calidad del suelo (ICS) en sistemas agrícolas de pequeña y mediana escala, aplicando técnicas de teledetección (UAV) y técnicas de IA, está conformada por 4 fases. La primera de ellas está orientada a la identificación de la zona de cultivo o sistemas agrícola; seguido de esto, en la fase 2, se realiza la recopilación de los datos tanto de caracterización del suelo como de teledetección, con los cuales, posteriormente, se realiza un preprocesamiento correspondiente a la fase 3 de la metodología. En la última fase, se aplican técnicas de IA para la generación de los modelos de regresión, que serán el insumo para la toma de decisiones sobre las zonas de cultivo. A continuación, se presenta una descripción de cada una de estas fases.

### Fase 1. Identificación del área de cultivo

En esta fase, es importante realizar previamente una socialización y diálogo con la comunidad de agricultores, esto con el fin de resaltar que la metodología pretende realizar una evaluación de calidad de suelos de manera participativa, lo cual se puede conseguir mediante entrevistas personalizadas, intercambio de saberes con la comunidad y observaciones en campo para el reconocimiento de sus agroecosistemas, así como integración de los indicadores y propiedades del suelo derivados del conocimiento de los agricultores.

Ahora bien, la primera actividad de esta fase está basada en la identificación del área de cultivo que será caracterizada, la cual debe estar georreferenciada, para luego realizar un prediagnóstico de la zona de cultivo a partir de

los datos de manejo de cultivo. Esta información se obtiene a través de una entrevista y diálogo con el agricultor, conociendo información sobre el manejo agronómico y tecnológico de la zona, el comportamiento productivo histórico del cultivo, especies cultivadas, edad, densidad de población o siembra, producción estimada por hectárea, entre otros. Adicionalmente, es importante indagar sobre el manejo y calidad del agua de riego (si existe), programa de fertilización (últimos 5 años), nivel de mecanización del arado, tipo de máquinas e implementos utilizados en la explotación, prácticas fitosanitarias del agroecosistema y datos climatológicos (precipitación y temperatura). En general, se debe obtener, en resumen, un panorama de producción, biomasa total, productividad, manejo agrícola, destino de la cosecha y recursos del área de cultivo. Del mismo modo, es importante identificar las estrategias que los agricultores han empleado para la gestión sostenible del suelo y los logros alcanzados en la mitigación de los impactos negativos al ambiente, derivados de las actividades agrícolas tradicionales.

La segunda actividad de esta fase se enfoca en establecer el cronograma de trabajo para la caracterización y la recolección de datos de la zona de cultivo. Para esto, es importante identificar el calendario de los ciclos de cultivo que el agricultor tiene planeado, junto con el calendario climático de la zona. Adicionalmente, dado que el estudio se enfoca en la caracterización de los suelos desnudos de los sistemas agrícolas, se hace énfasis en las fechas de las actividades de arado y preparación del suelo, en el intervalo cosecha-siembra que existe en cada rotación de cultivos (Choudhury y Mandal, 2021). Uno de los principales resultados de esta actividad es la definición del número de eventos muestrales que serán llevados a cabo en la zona de estudio para caracterizar el suelo antes y después de la aplicación de tratamientos.

**Figura 1. Diagrama de identificación del área de cultivo**

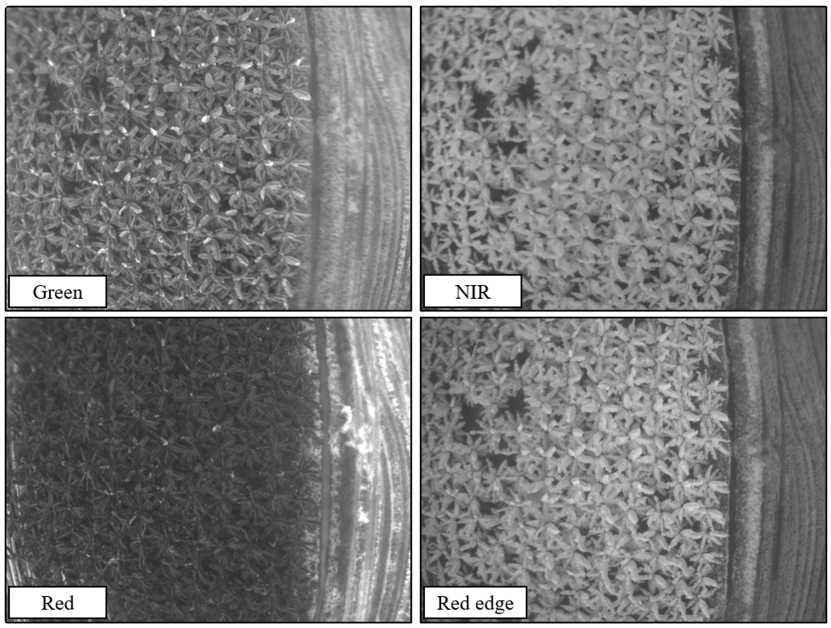


## Fase 2. Toma de datos del suelo de la zona de cultivo.

Para iniciar esta fase, la primera actividad de la toma de datos del suelo se debe enfocar en la caracterización física, química y microbiológica del suelo de cultivo, en al menos dos sistemas agroindustriales ubicados en el área de estudio que tengan condiciones similares en cuanto a relieve, tipo de suelo y manejo. Adicionalmente, se debe determinar el número de eventos muestrales, la resolución del muestreo y el diseño de este. Según los estudios realizados por Guo *et al.* (2020), para el mapeo digital de suelos de cultivos con UAV se recomienda aplicar la técnica de grilla, dividiendo en subparcelas de 30 metros de lado y tomar muestras compuestas del suelo a 20 cm de profundidad; estas muestras deberán ser georreferenciadas para posteriormente analizarlas en laboratorio y unir los datos obtenidos con los datos de teledetección. Así mismo, se selecciona el conjunto total de datos físicos, químicos y microbiológicos, basado en estudios previos realizados por Vallejo *et al.* (2018) y Afanador *et al.* (2020), del cual se identificará un conjunto mínimo de datos (CMD), ajustado a las condiciones de la región a través de estadística multivariada.

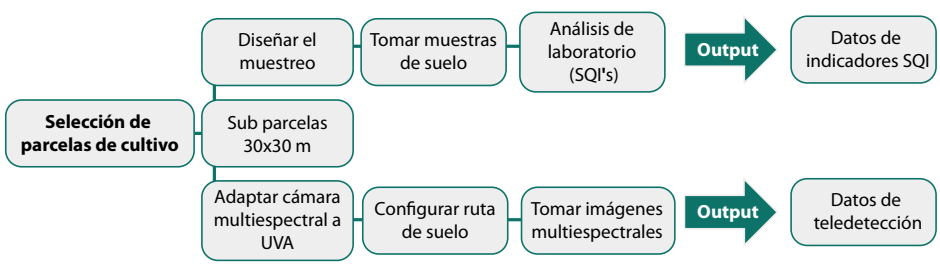
La segunda actividad de esta fase se centra en la configuración de un sistema UAV para la captura de imágenes multiespectrales en los suelos de los sistemas agrícolas. Para esto, se propone el uso de un equipo DJI Phantom 3 (como plataforma aérea, UAV), al cual se le adapta la cámara multiespectral Parrot Sequoia. En esta actividad se deben configurar las rutas de vuelo para el UAV de modo que permitan el mapeo completo de la zona de estudio, correlacionado con el diseño de recolección de muestras de suelo. Basados en los estudios realizados por Žížala (2019), para el mapeo digital de una zona agrícola con una cámara multiespectral montada en UAV, la altura de vuelo debe estar en un rango de 30 a 40 metros y la ruta de vuelo debe tomar imágenes con un sobre lape en un rango de 60 % a 70 %; esto permitirá obtener una campaña con imágenes con una resolución espacial de 10 cm por píxel; también se recomienda que la campaña sea desarrollada al medio (entre 11 a. m. a 1 p.m.) con cielo despejado. Además, en esta actividad, se deben identificar los puntos de georreferenciación en tierra para el mapeo de la zona, que luego serán correlacionados con el mecanismo automático que georreferencia las imágenes tomadas por la cámara multiespectral Parrot Sequoia. A continuación, se puede observan las imágenes tomadas con la cámara y se evidencian las bandas Green, NIR, Red y Red Edge.

**Imagen 1. Fotografía tomada con cámara Parrot Sequoia en el municipio de Castilla La Nueva**




El tercer grupo de actividades de esta fase es ejecutar los procedimientos de recolección de muestras de suelo, para determinar indicadores de calidad del suelo (ICS), y el mapeo digital de la zona con el UAV, para obtener los datos de teledetección; esto según las fechas del calendario agrícola en las que el agricultor realice las acciones de preparación del suelo para iniciar un ciclo de cultivo. Dado que se aconseja que la metodología se emplee en suelos desnudos (recién arados), cada proceso de caracterización deberá realizarse cuando se hayan llevado a cabo las acciones de arado, preferiblemente en dos momentos, antes y después de la aplicación de insumos al suelo.

**Figura 2. Diagrama de toma de datos del suelo**



## Fase 3. Preprocesamiento de los datos obtenidos.

Esta fase se divide en tres partes: la primera es el diagnóstico de la calidad edáfica del suelo, la segunda es el preprocesamiento de los datos de teledetección y la tercera se enfoca en la consolidación de una base de datos integrada georreferenciada y multidimensional.

Para realizar el diagnóstico de la calidad edáfica del suelo, se propone realizar la evaluación de 20 indicadores del estado físico, químico y microbiológico-bioquímico del suelo, que resultan de los análisis en el laboratorio de suelos; estos indicadores se han empleado en estudios previos como los presentados por Afanador-Barajas *et al.* (2020) y Vallejo *et al.* (2018). El análisis de cada muestra de suelo se concatena a los datos de georreferenciación asignados en la actividad de muestreo de suelo de la fase anterior. Seguido de esto, los resultados de la caracterización se tratan estadísticamente por medio de un análisis de componentes principales (ACP), el cual permite reducir el grupo de variables originales a un conjunto mínimo de datos (CMD) final, eliminando aquellas variables que aportan poco al estudio de la zona de cultivo. Las variables de mayor peso se seleccionan como posibles indicadores de calidad del suelo, ya que son las que manejan la mayor variabilidad y posiblemente serán las más afectadas por las variaciones que sufra el suelo por cambios en su uso.

El preprocesamiento de datos de teledetección consiste, inicialmente, en la generación de ortomosaicos para cada banda de reflectancia que entregue la cámara multiespectral, así como también los correspondientes a índices de vegetación, que se calculan con la combinación de las bandas de la cámara. Estos ortomosaicos toman como insumo las imágenes capturadas con la plataforma UAV y la cámara multiespectral en las campañas de vuelo realizadas en la zona de estudio y para su generación se requiere de *software* especializados tales como Pix4D o Arcgis. Después, cada ortomosaico se divide en subparcelas, que corresponden a las definidas en el diseño de muestreo de suelos, generando subortomosaicos, a los cuales se les calcula el valor promedio de reflectancia o índice de vegetación. De esta manera, se construye una base de datos de reflectancia e índices de vegetación de alta resolución y georreferenciada, correspondiente a la zona de estudio, dado que, según los estudios realizados por Khanal *et al* (2018), la división en subparcelas de las imágenes de teledetección ayuda a caracterizar mejor las propiedades de los suelos analizados.

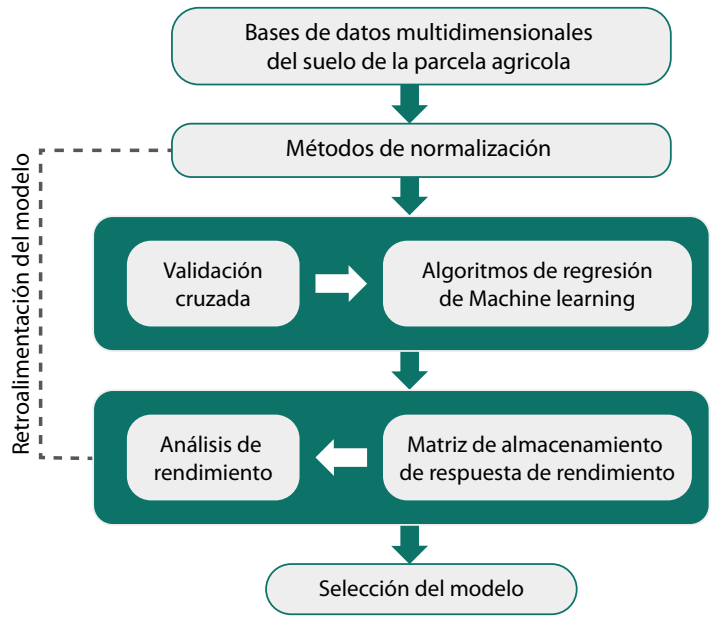
En la tercera actividad de esta fase, se realiza la construcción de un conjunto de bases de datos multidimensionales de suelos del área agrícola estudiada. Para ello, se toman los dos tipos de bases de datos: la base de datos de reflectancia

e índices de vegetación y el conjunto final de bases de datos CMD. Seguido de esto, se crea un conjunto de bases de datos, manteniendo como variable dependiente cada una de las propiedades químicas y microbiológicas del suelo incluidas en el CMD final y como variables independientes, los promedios de reflectancia de los subortomosaicos y las propiedades físicas del suelo. Los datos del modelo de elevación digital, el rendimiento del cultivo, las tasas de fertilización, la temperatura media anual y la precipitación media anual se asignan como constantes en cada base de datos, de acuerdo con su correspondencia en la fecha de recolección de datos. El número de variables independientes en el conjunto de bases de datos se establece en función del tamaño de la CMD final y de los índices de reflectancia que se calculan.

## Fase 4. Aplicación de modelos de regresión de Inteligencia Artificial (IA)

La aplicación de modelos de regresión de inteligencia artificial tiene un proceso iterativo de 3 actividades principales: escalar o normalizar los datos, aplicar modelos de regresión y la evaluación y análisis de rendimiento de los modelos para seleccionar el adecuado.

**Figura 3. Diagrama de aplicación de modelo de regresión de inteligencia artificial**



La primera actividad se enfoca en aplicar métodos de escalamiento o normalización a los datos de entrada antes de utilizar técnicas de inteligencia artificial, esto debido a la diversidad de las variables independientes de la base de datos multidimensional del suelo. Adicionalmente, como lo reportan Danner *et al.* (2021), existe una diferencia en el preprocesamiento de los datos con normalización (MinMaxScaler) o estandarización (StandardScaler) según el tipo de algoritmo IA utilizado. Por ejemplo, el método de redes neuronales responde mejor a los datos normalizados, mientras que los bosques aleatorios lo hacen a los datos escalados. Se debe considerar que los datos de teledetección son generalmente índices con valores entre 0 y 1 (ya normalizados) que se complementan con los ICS a diferentes escalas. Esto abre toda una línea de análisis para identificar el tipo de preprocesamiento que se debe aplicar a cada conjunto de datos para un mejor desempeño.

La segunda actividad se basa en la aplicación de varios métodos de IA supervisados, a saber, la regresión vectorial de soporte (RVS) y bosque aleatorio (BA). Cada modelo tiene la base de datos normalizada como entrada y su salida se almacena en una base de datos llamada almacén de respuestas de rendimiento (PRS). Como parte de la aplicación IA, se realiza una validación cruzada en los datos de entrada.

El número de iteraciones a realizar depende del número de tipos de métodos de escalamiento aplicados ($n$) y el número de modelos de regresión IA utilizados ($m$), en total, $n * m$ iteraciones. Además, el almacén de respuestas de rendimiento es una matriz ($PRS_{nmk}$), donde $k$ es el número de métricas seleccionadas para evaluar los modelos.

Para finalizar, la actividad de evaluación del desempeño analiza los valores $k$ de $PRS_{nmk}$ para seleccionar el modelo con el mejor desempeño para cada ICS incluido en las bases de datos multidimensionales del suelo.

## Casos de estudio

### *Municipio Castilla La Nueva*

En el municipio de Castilla La Nueva, en el Departamento del Meta, se llevó a cabo la implementación de las primeras fases de la metodología planteada anteriormente. Se realizó la identificación del área de cultivo, encontrando que se realiza siembra de plátano y maracuyá; se evidenció que los agricultores realizan la siembra de estos cultivos por cultura y en la zona se llevan a cabo algunas actividades de fumigación para disminuir la cantidad de plagas que puedan generar afectaciones en el cultivo. A continuación, se observa una fotografía con

el agricultor cuando se realizó la socialización de la actividad y explicación de la función del UAV para la recopilación de información de la zona, de tal forma que se pueda llevar a cabo la identificación del área de cultivo.

**Imagen 2. Socialización con el agricultor, Castilla La Nueva, Meta**



Posteriormente, se realizó el diseño de muestreo y se establecieron los puntos georreferenciados y se realizó la ruta alrededor del área de cultivo, conociendo que cuenta con un tamaño de 2,55 ha. De igual modo, se realizó el diseño de un archivo KML que permite evidenciar el tamaño y la forma con la que cuenta el predio, para establecer la ruta de vuelo que realizará el UAV, en el cual se recopilaron fotografías multiespectrales con la cámara Parrot Sequoia.

**Imagen 3. Diseño de muestreo y ruta de vuelo del UAV**



### *Municipio de Sesquilé, Cundinamarca*

La metodología antes planteada fue llevada a cabo en una zona de cultivo de papa ubicada en la vereda El Hato, en el municipio de Sesquilé, Cundinamarca. Para esto, en un principio fue necesario contar con la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA) de Sesquilé, con el fin de facilitar el contacto con uno de los agricultores de la zona, el cual es propietario de diferentes predios en la vereda y que los ha trabajado durante 30 años aproximadamente. Seguido de esto, se realizó la respectiva socialización de la metodología y se entrevistó al agricultor, identificando que en las áreas de cultivo se realiza rotación de cultivos de papa, avena y pasto, dejando descansar las zonas por un periodo de tres años; esto con el fin de disminuir los impactos ocasionados al suelo a causa de la actividad agrícola, dando tiempo suficiente al suelo para regular la acidez, permitir que aumente la actividad microbiológica y que se recuperen algunas de las propiedades físicas y químicas del suelo. Cuando el cultivo se encuentra en desarrollo, se presentan algunas plagas que afectan al mismo, por lo tanto, se han implementado insecticidas y fungicidas para el control de plagas. En cuanto al clima, el agricultor mencionó que los periodos de lluvias han presentado fluctuaciones en cuanto a duración e intensidad de estas, así como también se han presentado temperaturas más altas y bajas de las habituales. Para el arado y acondicionamiento del suelo, se realiza arada de cincel; en lo referente al manejo del agua, se realizan riegos con motobombas y mangueras únicamente en periodos de verano o cuando sea necesario, en otras oportunidades solo se dispone de las lluvias para el manejo del cultivo, el agua usada proviene de fuentes superficiales o pocetas hechas por los agricultores.

**Imagen 4. Socialización con el agricultor, vereda El Hato, Sesquilé**



Una vez terminada la primera fase, se realiza el diseño de muestreo, en el cual se divide la zona de cultivo en subparcelas de 30 x 30 m y se establecen los puntos de georreferenciación tal como se muestra en la imagen 5. Seguido de esto, para iniciar con la simulación de la metodología propuesta, se tomaron como base dos fuentes de datos. El primer conjunto de datos son los de teledetección, que se obtuvieron por medio de la campaña de vuelo realizada con el dron DJI Phantom 3 Standard, al cual se le equipó la cámara multiespectral Parrot Sequoia. Esta campaña es planeada por medio de la aplicación DJI Go, con la cual se estableció la grilla (imagen 5), a una altura de vuelo de entre 30 y 40 m y un sobre lape del 70 %, con lo cual se capturaron las imágenes multiespectrales en 4 bandas: Red, Red Edge, Green y Near Infra Red (NIR).

**Imagen 5. Diseño de muestreo y ruta de vuelo del UAV**




El segundo conjunto de datos se basa en los resultados de las muestras de suelo, las cuales están compuestas por 10 submuestras tomadas a 20 cm de profundidad en un radio de 30 m. Cada muestra compuesta se analizó en el laboratorio, obteniendo 29 propiedades del suelo, de las cuales se tomaron como indicadores de calidad del suelo (ICS) tan solo 9: relación Ca/Mg, carbono orgánico, sodio (Na), capacidad de intercambio catiónico (CIC), capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE), nitrógeno (N), acidez intercambiable (Al) y materia orgánica (MO). Con estos dos conjuntos de datos se realizó un prediagnóstico del área; por ejemplo, se realizó la identificación del área de cultivo estableciendo parcelas de 30 m x 30 m y asignando un valor de propiedades del suelo a cada parcela.

Seguido de esto, se procedió con la construcción del conjunto de bases de datos multidimensionales de la zona de estudio. Para esto, inicialmente se calculó el promedio del valor de reflectancia de cada banda para cada subparcela en las que se dividió el área de cultivo. Seguido de esto, se procede con la integración de los dos conjuntos de datos (ICS y promedios de reflexión de las parcelas), tomando como base de la integración los datos GPS concatenados tanto a parcelas como a muestras de suelo.

Ya con estos insumos, se procedió con la implementación de los modelos de regresión de inteligencia artificial, para lo cual se utilizó Phyton y la biblioteca Scikit-learn. Para esto, se definieron 4 tipos de preprocesamiento de datos: MaxAbsScaler, MinMaxScaler, Normalizer y StandardScaler, sumado a la inclusión del análisis de los datos de entrada sin preprocesamiento (ninguno). Adicionalmente, se seleccionaron 8 modelos de regresión IA, como se muestra en la tabla 1. Finalmente, se seleccionó el valor $R^2$ como la métrica de evaluación del rendimiento de los modelos, esto con el fin de identificar los mejores modelos que pudieran predecir los ICS en función de las bandas espectrales.

**Tabla 1. Algoritmos de regresión empleados**

| Algoritmo de regresión | Acrónimo |
|---|---|
| Regresión lineal (Linear Regression) | LR |
| Lasso | LS |
| Ridge | RG |
| Vector de soporte (Support Vector) | SV |
| Árbol de decisión (Decision Tree) | DS |
| K-Vecinos (K-Neighbors) | KN |
| Bosques aleatorios (Random Forest) | RF |
| Aumento de gradiente (Gradient Boosting) | GB |

## Resultados

Al finalizar el procesamiento de los datos, empleando técnicas de teledetección e IA, se obtuvo la matriz de resultados $PRS_{nmk}$ para cada ICS seleccionado, donde se puede observar la relación entre el indicador y diferentes combinaciones de banda para la estimación. Un resumen con los mejores resultados de cada ICS se presenta en la tabla 2.

**Tabla 2. Resultados PRSnmk para cada SQI seleccionado**

| SQI | Bandas | Modelo | R2 | Preprocesamiento |
|---|---|---|---|---|
| Carbono orgánico | NIR, Red, Red Edge | RF | 0,6964 | MaxAbsScaler |
| Materia orgánica | NIR, Red, Red Edge, Green | DS | 0,6919 | MaxAbsScaler |
| Nitrógeno (N) | NIR, Red, Red Edge | RF | 0,6915 | MaxAbsScaler |
| CIC | Green, Red Edge | KN | 0,4742 | Ninguno |
| Acidez intercambiable | Green, NIR | RF | 0,4714 | MinMaxScaler |
| Relación Ca/Mg | Green, Red | SV | 0,3729 | StandardScaler |
| Sodio (Na) | Green | RF | 0,3164 | MaxAbsScaler |
| CICE | NIR, Red | SV | 0,3138 | MaxAbsScaler |

Como se puede apreciar, los ICS mejor descritos por los modelos son el carbono orgánico, la materia orgánica y el nitrógeno, con un $R^2$ cercano al 0,7, lo que indica que los modelos describen de manera aceptable el comportamiento de estos ICS en función de las diferentes combinaciones de bandas, para el caso del carbono orgánico y el nitrógeno: NIR, rojo y borde rojo, y para el caso de la materia orgánica: NIR, rojo, borde Rojo y verde. Adicionalmente, se puede apreciar que los mejores resultados se obtuvieron aplicando el modelo de regresión bosques aleatorios y empleando un preprocesamiento de datos MaxAbsScaler.

## Conclusiones

La metodología presentada con la integración de técnicas de teledetección, vehículos aéreos no tripulados (UAV), inteligencia artificial (IA) y ciencias del suelo para la estimación de ICS es una herramienta importante, ya que permite a los agricultores reducir los costos y tiempos de los procesos de evaluación de la calidad de los suelos cultivados. En general, los resultados de las regresiones de los ICS analizados presentaron un desempeño aceptable, en cuanto a establecer un modelo de estimación de ICS basado en algoritmos IA. Por ejemplo, indicadores directamente relacionados con la fertilidad del suelo como el nitrógeno y la materia orgánica presentaron rendimientos elevados.

Así mismo, el uso de UAV demostró ser eficiente, ya que permite la captura rápida de imágenes de alta resolución de los sistemas de cultivo para luego integrarlas como parte de la información de una base de datos georreferenciada-multidimensional asociada a un área de cultivo específica.

## Referencias bibliográficas


Afanador-Barajas, L. N., Vallejo Quintero, V. E., Coca Peña, D. A., Vargas Giraldo, A. F., Bautista Murcia, M. F. & Mendoza Hernández, A. (2020). "Evaluación de la calidad de suelos en agroecosistemas de Colombia a través de la selección de un conjunto mínimo de datos". *Colombia Forestal*, 23(1). https://doi.org/10.14483/2256201x.14856

Chlingaryan, A., Sukkarieh, S. & Whelan, B. (2018). "Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: a review". *Comput. Electron. Agric.*, 151, 61-69. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.012

Choudhury, B. U. & Mandal, S. (2021). "Indexing soil properties through constructing mínimum datasets for soil quality assessment of surface and profile soils of intermontane valley (Barak, North East India)". *Ecological Indicators*, 123(107369). https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107369

Danner, M., Berger, K., Wocher, M., Mauser, W. & Hank, T. (2021). "Efficient RTM-based training of machine learning regression algorithms to quantify biophysical & biochemical traits of agricultural crops". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*: Official Publication of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), 173, 278-296. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.01.017

Domínguez-Haydar, Y., Velásquez, E., Carmona, J., Lavelle, P., Chávez, L. F. & Jiménez, J. J. (2019). "Evaluation of reclamation success in an open-pit coal mine using integrated soil physical, chemical and biological quality indicators". *Ecol. Ind.*, 103, 182-193. URL: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.015. doi:10.1016/j.ecolind.2019.04.015

FAO, IFAD, Unicef, WHO (2019). *The state of food security and nutrition in the world, Safeguarding against economic slowdowns and downturns*. The Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. URL: http://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf

Geisseler, D. & Scow, K. M. (2014). "Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms. A review". *Soil Biol. Biochem.*, 75, 54-63. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.023

González-Orozco, C. E., Porcel, M., Alzate Velásquez, D. F. & Orduz-Rodríguez, J. O. (2020). "Extreme climate variability weakens a major tropical agricultural hub". *Ecological Indicators*, 111, 106015. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X19310118. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106015

Guo, L., Fu, P., Shi, T., Chen, Y., Zhang, H., Meng, R. & Wang, S. (2020). "Mapping field-scale soil organic carbon with unmanned aircraft system-acquired time series multispectral images". *Soil & Tillage Research*, 196(104477). https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104477

Jha, K., Doshi, A., Patel, P. & Shah, M. (2019). "A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence". *Artif. Intell. Agric.*, 2, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.05.004

Jian, J., Lester, B. J., Du, X., Reiter, M. S. & Stewart, R. D. (2020). "A calculator to quantify cover crop effects on soil health and productivity". *Soil Tillage Res.*, 199, 104575. https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104575

Jiang, M., Xu, L., Chen, X., Zhu, H. & Fan, H. (2020). "Soil quality assessment based on a minimum data set: A case study of a county in the typical river delta wetlands". *Sustainability*, 12. URL: https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/9033. doi:10.3390/su12219033

Jung, J., Maeda, M., Chang, A., Bhandari, M., Ashapure, A. & Landivar-Bowles, J. (2021). "The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems". *Curr. Opin. Biotechnol.*, 70, 15-22. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958166920301257. doi:https://doi.org/10. 1016/j.copbio.2020.09.003

Khanal, S., Fulton, J., Klopfenstein, A., Douridas, N. & Shearer, S. (2018). "Integration of high resolution remotely sensed data and machine learning techniques for spatial prediction of soil properties and corn yield". *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 213-225. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.016

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S. & Bochtis, D. (2018). "Machine learning in agriculture: a review". *Sensors* (Switzerland), 18, 1-29. https://doi.org/10.3390/s18082674

Singh, A. (2018). "Managing the salinization and drainage problems of irrigated áreas through remote sensing and GIS techniques". *Ecol. Ind.*, 89, 584-589. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.041

Vallejo, V. E., Afanador, L. N., Hernández, M. A. & Parra, D. C. (2018). "Efecto de la implementación de diferentes sistemas agrícolas sobre la calidad del suelo en el municipio de Cachipay, Cundinamarca, Colombia". *Bioagro*, vol. 30, pp. 27-38. URL: http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612018000100003&script=sci_arttext

Veettil, B. K., Ward, R. D., Lima, M. D. A. C., Stankovic, M., Hoai, P. N.& Quang, N. X. (2020). "Opportunities for seagrass research derived from remote sensing: A review of current methods". *Ecol. Ind.*, 117, 106560. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106560

Wang, A., Zhang, W. & Wei, X. (2019). "A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques". *Comput. Electron. Agric.*, 158, 226-240. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.02.005

Wang, C., Zheng, M., Song, W., Wen, S., Wang, B., Zhu, C. & Shen, R. (2017). "Impact of 25 years of inorganic fertilization on diazotrophic abundance and community structure in an acidic soil in southern China". *Soil Biol. Biochem.*, 113, 240-249. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.06.019

Capítulo

3

# Caracterización de la cadena de suministro del plátano. Desafíos y oportunidades en su producción, distribución y comercialización


## Leonel Gonzalo Briceño de los Santos

Fundación Universitaria Compensar (lgbriceno@ucompensar.edu.co).
Ingeniero industrial, magíster en Seguridad y Salud Ocupacional.
Doctorando en Gerencia Avanzada. Actualmente, coordinador académico de los programas de Administración Logística y Administración de Empresas de la sede Meta.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1192-7990
Google académico:
https://scholar.google.com/citations?view_op=list_works&hl=es&user=xY36ZXsAAAAJ

## Faizully Andrea Barbosa Moreno

Fundación Universitaria Compensar (fabarbosam@ucompensar.edu.co).
Profesional en Mercadeo y Publicidad. Especialista en Alta Gerencia.
Especialista en Informática Educativa. Magíster en Gestión de la Tecnología Educativa.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4673-4053
Google académico:
https://scholar.google.com/citations?view_op=new_articles&hl=es&imq=Faizully+Andrea+-Barbosa+Moreno&authuser=3#

## Resumen

La cadena de suministro es un proceso crítico en la producción agrícola, ya que esta permite el envío de productos desde el campo hasta los consumidores finales. Consiste en una serie de etapas que incluyen: producción, cosecha, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización, entre otros. Para el caso en estudio, se analiza el proceso logístico del plátano; este requiere acciones de mejora en términos de valor agregado, impacto en el trabajo, capacidad tecnológica y otros aspectos. Es por esto que, en el siguiente proyecto de investigación, se busca revisar el proceso de cultivo de las plantas de plátano del municipio de Castilla La Nueva en el Departamento del Meta. La investigación se desarrolla bajo la premisa de tres objetivos específicos: el primero es la identificación de las condiciones reales en las que se ejecutan las actividades dentro del cultivo, cosecha y postcosecha del producto, continuando con las oportunidades de mejora que se pueden identificar y su impacto en la productividad; con el desarrollo de este proceso se persigue articular acciones que logren ofrecer una estrategia de innovación a productores, vendedores, operadores, transformadores y consumidores, que forman parte del ciclo de trabajo del producto, finalizando con la caracterización de las actividades que conforman la cadena de suministro del plátano y las ventajas que ofrece la incorporación de tecnología en cada uno de sus eslabones. La investigación se desarrollará bajo un enfoque mixto: cualitativo, analizando los elementos que forman las etapas (cosecha, almacenamiento, distribución y ventas), estas variables determinan las condiciones de las actividades y su impacto, y cuantitativo, revisando el registro de la producción de plátano en el municipio a través de los costos implicados por cada etapa. Para ello, se propone un tipo de investigación descriptiva, que permita dar cumplimiento a los objetivos planteados.



## Palabras claves

Cadena de suministro, transporte, marketing, distribución, caracterización



## *Abstract*

*The supply chain is a critical process in agricultural production, it allows the shipment of products from the field to the final consumers. It consists of a series of stages including; production, harvesting, transportation, storage, distribution and marketing, among others. For the case study, the logistics process of bananas is analyzed, this requires improvement actions in terms of added value, impact on work, technological capacity and other aspects. That is why, in the following research project seeks*

*to review the process of cultivation of banana plants in the municipality of Castilla La Nueva in the department of Meta. The research is developed under the premise of three specific objectives; The first with the identification of the real conditions in which the activities are executed within the cultivation, harvest and post-harvest of the product, continuing with, the opportunities for improvement that can be identified and their impact on productivity, with the development of this process it is pursued to articulate actions that manage to offer an innovation strategy to; producers, sellers, operators, processors and consumers, who are part of the product work cycle, ending with the characterization of the activities that make up the banana supply chain and the advantages offered by the incorporation of technology in each of its links. Research will be conducted under a mixed approach. Qualitative, analyzing the elements that form the stages (harvest, storage, distribution and sales), these variables determine the conditions of the activities and their impact. Quantitative, reviewing the record of banana production in the municipality, through the costs involved for each stage. For this, a type of descriptive research is proposed, which allows to comply with the objectives set.*

## *Keywords*

*Supply chain, transportation, marketing, distribution, characterization.*

## Identificación de la investigación

Este capítulo es el resultado del proyecto de convocatoria llevado a cabo en la Fundación Universitaria Compensar, el cual se denomina "Monitoreo de la logística en cultivos de plátano incorporando drones para la vereda San Lorenzo, municipio de Castilla La Nueva". Las actividades de investigación se desarrollan dentro de los programas de Administración Logística y de Mercadeo y Publicidad de la sede Meta, los cuales forman parte de la Escuela de Negocios y del grupo de investigación de Estudios en Gestión Empresarial (EGE). Este proyecto tiene como objetivo principal fortalecer las actividades agrícolas correspondientes al cultivo de plátano en el municipio de Castilla La Nueva, ubicado en el Departamento del Meta. Los resultados de la investigación resaltan una metodología para la caracterización de la cadena de valor, destacando las fases del proceso (siembra, cultivo, cosecha, distribución y comercialización), luego de la incorporación de tecnología en las diferentes etapas. El desarrollo de este capítulo sirve como herramienta para que los agricultores tengan más alternativas al momento de planear su cultivo y que esto genere un incremento en la productividad del proceso.

## Introducción

La caracterización de la cadena de suministro es importante para comprender los desafíos y oportunidades que enfrenta esta industria y para identificar posibles mejoras en términos de eficiencia y sostenibilidad (Afanador y Villalba, 2020). El sistema logístico de plátano es un proceso complejo que involucra a diversos actores desde el aprovisionamiento con la compra de la semilla hasta la etapa de distribución del producto. Este proceso incluye la producción, transporte, almacenamiento, procesamiento y entrega del plátano. En este artículo, se explorarán los diferentes aspectos que conforman esta etapa logística y su impacto en los actores involucrados.

El plátano es una de las frutas más consumidas en Colombia y su cultivo es una importante fuente de ingresos para los agricultores del país. Ocupa un lugar protagónico en la economía de muchos países de América Latina, incluyendo Colombia. No solo es un alimento básico en la dieta de muchas personas, sino que también es una fuente importante de ingresos para los agricultores y la economía en general (Hirsholmen, 2023). Si está interesado en aprender cómo cultivar plátano, has llegado al lugar indicado. En este capítulo, se presentarán los pasos claves para su producción, con el fin de obtener una cosecha efectiva, desde la preparación del suelo hasta la comercialización.

La cadena de valor del plátano es un tema de gran importancia en la industria agrícola. En esta actividad se deben cumplir diferentes etapas que van desde la siembra hasta la comercialización del producto final (Briceño *et al.*, 2020). La caracterización de esta cadena de valor es esencial para comprender los diferentes procesos que se llevan a cabo en cada una de las etapas y así identificar posibles mejoras que permitan optimizar el proceso y mejorar la calidad del fruto (Afanador y Villalba, 2020). Este documento tiene como finalidad realizar una revisión detallada de cada una de las fases de la cadena de suministro del plátano con el objetivo de identificar amenazas y debilidades en el proceso, efectuar una ponderación de los impactos en cada eslabón de la cadena y lograr identificar oportunidades que permitan mejorar los resultados (García y Escobar, 2016).

## Revisión de literatura

La logística se refiere a la planificación, implementación y control del flujo de bienes, servicios e información, desde el punto de origen hasta el punto de destino. En el contexto de la cadena de suministro, la logística incluye el transporte del producto desde el campo hasta los centros de acopio, seguido del

almacenamiento, la conservación en las diferentes fases del proceso, la distribución dependiendo de las exigencias de los consumidores (Mora y Herrera, 2018). La gestión de las actividades logísticas busca optimizar la coordinación y colaboración entre los diferentes actores involucrados en la producción y el suministro de bienes y servicios (Afanador y Villalba, 2020).

En el caso de la cadena de suministro de plátanos, la gestión eficiente requiere la integración de los productores, los proveedores de insumos, los transportistas, los almacenistas, los exportadores y los minoristas (Hirsholmen, 2023). La sostenibilidad se refiere a la amplitud de las actividades para satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias exigencias (Quintero *et al.*, 2022).

La sostenibilidad implica la adopción de prácticas agrícolas y de gestión que minimicen el impacto ambiental, social y económico (Robinson y Galán, 2011). Los diferentes cambios que experimentan las diferentes actividades económicas obligan a sus empresarios a tener que adoptar nuevas tecnologías dentro de sus actividades; en un mundo cada vez más competitivo, los diferentes procesos de trabajo deben ofrecer condiciones óptimas, eficientes y eficaces dentro de cada una de sus fases; las empresas que logran mayores niveles de competitividad tienden también a ser las que presentan una mayor participación en el mercado (Pardo *et al.*, 2023). Partiendo de esa premisa, la presente investigación persigue realizar una caracterización de las actividades que conforman el proceso de siembra, cultivo, recolección y distribución de plátanos en el Departamento del Meta, específicamente en el municipio de Castilla La Nueva.

A través de la historia, el plátano ha ocupado un lugar muy representativo dentro de los alimentos más importantes en la dieta de los colombianos, siendo uno de los frutos más consumidos en las épocas donde los pueblos originarios protagonizaban la mayor parte de las actividades de la región (Martínez, 2017). Pasando al ámbito económico, gracias a este rubro se logra generar más de un millón y medio de empleos, de los cuales más de la mitad son en empleos indirectos para cultivos con producción tecnificada (Robinson y Galán, 2011). Hace algunos años, Colombia se convirtió en el segundo país importador de plátano, lo que resulta preocupante teniendo en cuenta que los suelos tropicales de las distintas regiones pueden producir lo suficiente como para cubrir la demanda nacional, solo que el sector platanero se ve afectado por la falta de tecnología y programas pertinentes.

## Metodología

Las fuentes que apoyarán esta investigación serán en una primera fase secundarias, mediante la revisión bibliográfica de información básica de estudios e informes del sector. En una segunda fase, serán primarias, ya que se trabajará con instrumentos como encuestas, entrevista en profundidad y observación.

El enfoque de esta investigación es mixto: cualitativo, porque se necesita información profunda y detallada captada a través de entrevistas y observación de campo para realizar el diagnóstico, y cuantitativo, obtenida a través de encuestas con procesamiento y análisis estadístico.

Se trabajará una investigación descriptiva, esto con el propósito de caracterizar la cadena en su contexto natural, vinculando la relación de los actores con el objeto de atender el desarrollo del diagnóstico con los integrantes de la comunidad, permitiendo generar estrategias que contribuyan a mejorar la productividad del plátano.

### Diseño muestral

***Definir población:***

- Elemento: habitantes del municipio de Castilla La Nueva
- Unidad muestral: habitantes relacionados con actividades agroturísticas del municipio
- Alcance: Castilla La Nueva.
- Tiempo: marzo del año 2023

***Establecer marco muestral:***

- Habitantes relacionados con actividades agroturísticas del municipio Castilla La Nueva.

***Tamaño de la muestra:***

18 elementos, teniendo en cuenta la población objeto de estudio.

***Procedimiento y método de muestreo:***

Procedimiento probabilístico, método aleatorio simple.

***Selección de la muestra:***

Se aplicarán los instrumentos con 86 habitantes del municipio de Castilla La Nueva en el mes de marzo de 2023.

## Tipo de variables

Dentro del proceso de investigación, se analizan una serie de variables que forman parte del sistema operacional seleccionado; para ello, se realizó una delimitación del proceso, tomando en consideración los parámetros de estudio. La cadena de suministro del plátano cuenta con un sinfín de elementos que la componen y forman parte esencial de su funcionamiento.

Las variables seleccionadas en el proceso de análisis están orientadas a destacar los atributos de cada eslabón de la cadena de suministro del plátano, logrando ofrecer un panorama claro de cómo se desarrollan las actividades.

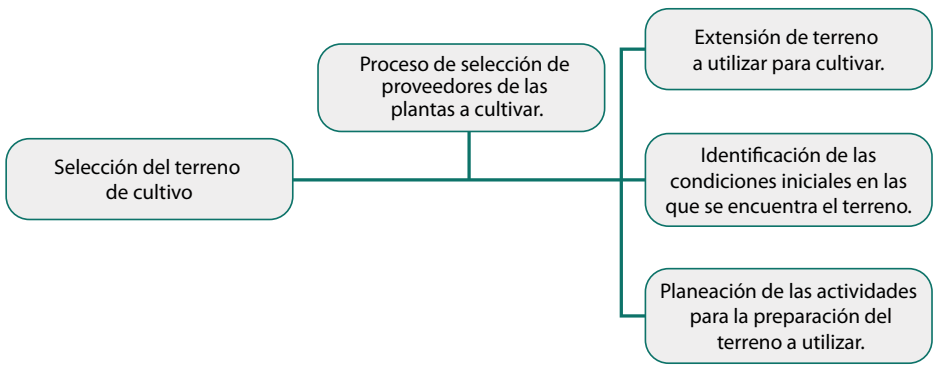
Se inicia con una variable cuantitativa, la cual tiene un enfoque discreto y se encuentra orientada a la cantidad de producto que se siembra en el espacio destinado para tal fin. Partiendo de esta información, se pueden definir algunos otros elementos de interés en el proceso, como la cantidad de fertilizante a utilizar; este dato es fundamental, pues permite realizar un sondeo del producto que se utiliza en el campo durante el periodo de cosecha (Briceño y Ospina, 2023b). Así mismo, se emplea una variable cualitativa, con un enfoque policotómico, la cual se orienta al análisis de la planta y sus características, tomando en consideración el fruto que se genera; este luego debe ser seleccionado para otros procesos de trabajo que van a depender del alcance que tenga la actividad, pero que ocupa un papel determinante.

## Caracterización de la cadena de suministros del plátano

La variedad de plátano se siembra según las condiciones climáticas y del suelo; en temperaturas más cálidas se cultiva el hartón, mientras que en temperaturas más bajas se cultiva el banano y el bocadillo. Otros factores determinantes son los gustos, la cultura de cada región, la calidad agronómica, que en su mayoría tiene gran potencial, y la tolerancia a problemáticas fitopatológicas, que generalmente son efecto de plagas y de la cercanía con la cordillera, siendo necesario intervenir y teniendo en cuenta que sea económicamente viable y que se reduzcan los riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Según el número de hectáreas cultivadas, se puede evidenciar que, de acuerdo con el volumen producido, un gran porcentaje del cultivo se comercializa en el mercado local y nacional, mientras que el restante, que generalmente es de menor calidad, se dedica al autoconsumo y a la alimentación animal.

**Figura 1. Fase de selección del terreno a cultivar**




Aunque existen asociaciones, es necesario generar un sistema de información actualizado que permita fortalecer la cadena de suministro, promocionando y fortaleciendo su desarrollo estratégico, con el apoyo de entes gubernamentales, de tal forma que se establezca una ventaja competitiva en el mercado.
Como resultado de la internacionalización, se ha incrementado la producción y se demandan métodos de tecnificación respaldados por estudios confiables, con el fin de identificar las causas que generan inconvenientes en la eficiencia de la producción en la obtención de semillas y en la protección contra plagas y reducción de costos a los productores; estas causas generalmente están asociadas a pérdidas que le siguen a la cosecha, entre ellas, por la mala manipulación, deficiente embalaje, generando daños en el producto final y restándole valor (Hirsholmen, 2023). Otra problemática son los intermediarios, quienes afectan el precio del producto, ya que son los productores los que invierten, pero los que más utilidades reciben son los distribuidores debido a las distancias y los estados de las vías, conllevando a ofertar el producto a comercializadores que lleven los frutos desde las áreas productoras hasta el mercado local o nacional.

**Figura 2. Proceso de distribución del plátano**



Compra del producto a los pequeños productores.



Proceso de selección del producto para exportación y distribución nacional.



Distribución del producto a nivel nacional e internacional.

El potencial que tiene este cultivo requiere activar la producción en todos los municipios siendo más eficientes, sin dejar atrás la importancia de abrir nuevos mercados, consolidándose con una gran relevancia en el mercado nacional.

La adecuación del campo arranca con la realización de estudios de suelo, quitando maleza para finalmente realizar actividades como ahoyado y abonado. Este proceso se desarrolla de manera artesanal y está poco tecnificado. Para el caso de la siembra, se colocan las semillas certificadas en el terreno acondicionado. En esta etapa y con el fin de garantizar la calidad del producto, se despeja la maleza como mínimo tres veces en los primeros meses y antes de iniciar con la cosecha para evitar que se pierdan los nutrientes de la planta por la maleza; también es importante la fertilización y el retiro de las hojas dañadas, todo de manera artesanal. La cosecha inicia desde que salen los racimos, aproximadamente nueve meses después de la siembra, hasta ser cosechados, etapa crítica donde las plantaciones se ven afectadas por problemáticas fitopatológicas.

## Caso de estudio: vereda San Lorenzo, Castilla La Nueva

### *Factores claves en la cadena de suministro para el cultivo de plátano en Castilla La Nueva*

El plátano es un alimento básico en Colombia y una fuente importante de ingresos para los agricultores. El cultivo y la comercialización exitosos requieren seguir pasos específicos. Para ello, se realizó un trabajo de campo orientado a identificar las condiciones actuales de las actividades logísticas en los cultivos de plátano en el municipio de Castilla La Nueva en el Departamento del Meta. Para ello, se propone una serie de pasos que conforman la cadena de suministro del cultivo y que aseguran un adecuado desenvolvimiento de las actividades que se llevan a cabo a lo interno del proceso pero que ocupan un papel importante para su correcto desarrollo.

La actividad se llevó a cabo con el objetivo principal de analizar los factores claves que influyen en la eficiencia y efectividad de la cadena de suministro para el cultivo de plátano, dentro de los cuales se pueden identificar la calidad del producto, el transporte y almacenamiento adecuados, teniendo presentes también otros aspectos de importancia como son la planificación de la producción y la coordinación entre los diferentes actores. Para el desarrollo del proceso, se contó con la participación de un equipo de trabajo conformado por estudiantes del programa de Administración Logística de la Fundación Universitaria Compensar, docentes investigadores y cultivadores del municipio de Castilla La Nueva, siendo estos últimos una población total de 18 predios que formaron parte de la población y la muestra del proceso de investigación.

**Figura 3 Identificación del cultivo objeto de estudio**



*Fuente: trabajo de campo en Castilla La Nueva.*

Una vez identificadas las variables de estudio, el equipo procede a realizar un análisis detallado de la cadena de suministro del plátano, iniciando en el cultivo del producto, donde se pueden identificar algunas actividades de relevancia.
El cultivo del plátano es el primer paso dentro de la cadena de suministro; este eslabón de la cadena lleva intrínsecas varias actividades que juegan un papel importante para su correcto desempeño:

- *Selección de la semilla a utilizar.* Este proceso consiste en realizar una selección detallada del brote que se va a sembrar, de él dependerá en gran parte la calidad del producto que se obtenga al final del proceso. Dentro de las mejoras que se proponen se encuentra la incorporación de un programa de selección de proveedores, el cual permita al agricultor contar con una base de datos correspondiente a vendedores que le puedan ofrecer un brote de calidad a un precio justo.

- *Preparación del terreno.* Las condiciones del terreno donde se siembra el plátano forma parte preponderante del proceso, pues es ahí donde el fruto va a formarse y a tomar relevancia; es por ello por lo que el área a utilizar debe encontrarse en condiciones óptimas. Teniendo en cuenta la fase analizada, se propone una revisión detallada de las propiedades del terreno, incorporando agricultura de precisión mediante monitoreo con drones, de manera tal que se pueda tener un panorama real de las variables nutricionales que están presentes y cómo pueden afectar el desarrollo del cultivo.

**Figura 4. Preparación del terreno antes de realizar la siembra**



*Fuente: visita de campo.*

Una vez cumplidas estas fases del proceso, se lleva a cabo la siembra del plátano. Este proceso cuenta con diferentes fases internas, dentro de las cuales tenemos:

1. *Aplicación de fertilizantes.* Este proceso consiste en realizar la colocación de cantidades específicas de nutrientes a la planta o al terreno donde esta se encuentra; coloquialmente, esta actividad se realiza de manera empírica: el agricultor realiza la colocación del producto siguiendo un proceso manual que consiste en colocar determinada cantidad de fertilizante dependiendo de las características que presente la planta. Luego de analizado el proceso, se realiza una propuesta de mejora, la cual plantea la incorporación de tecnología que permita obtener información de las condiciones reales en las que se encuentre el terreno, lo que se verá reflejado en las características del cultivo. La actividad consiste en incorporar drones que monitoreen todo el cultivo y logren identificar los puntos reales donde se deben aplicar los fertilizantes y las cantidades en las que se deben colocar. Esto representará mejoras en la eficiencia del producto y contratación de personal para revisión del cultivo, generando mayor productividad y, en consecuencia, mejor eficiencia en cuanto al uso de productos químicos.

La cosecha del producto forma parte del segundo eslabón de la cadena, teniendo incursa dentro de sí una serie de actividades que aseguran un correcto funcionamiento de los procesos internos.

**Figura 5. Preparación del fruto luego del proceso de supervisión del cultivo**



*Fuente: visita de campo.*

- *Proceso de floración y formación del racimo.* Durante este periodo se desarrolla el fruto, razón de ser de todo el proceso de trabajo, por lo que se debe tener un seguimiento constante de las condiciones en las que se desarrollan las actividades que dan paso al racimo de plátano. El proceso fluye desde la aparición de la corona, la cual se viste con un escapo pubescente, el cual posee un diámetro aproximado entre 5-6 cm, que finaliza en un racimo colgante de 1 a 2 metros de largo. A lo largo del racimo se pueden encontrar muchas brácteas ovaladas cubiertas de un polvillo blanco harinoso. En cada grupo de flores pertenecientes a una bráctea se aglutinan los frutos, llamados popularmente "mano", porque suelen reunirse entre 3 a 30 frutos que parecen dedos colgantes.

- *Supervisión del racimo.* Durante su proceso de formación, el fruto se va doblando según el peso hasta que someten por completo al pedúnculo; en cada racimo se puede encontrar un número elevado de frutos, siendo esto una de las fortalezas más grandes que tiene este cultivo. Una vez formado el racimo, este se encuentra expuesto a diferentes plagas que pueden afectar su calidad; desde ahí se propone la colocación de bolsas ecológicas, de manera que no contaminen el medio ambiente al momento de ponerse en contacto con este. La propuesta de mejora consiste en mantener el monitoreo constante del cultivo aplicando agricultura de precisión, ya que esto permitirá identificar plagas de manera temprana y poder tomar los correctivos correspondientes antes de que el cultivo se vea afectado.

Con el proceso de comercialización se completa la cadena de suministro del plátano, teniendo presente que las actividades que se desarrollan a lo largo del proceso logístico pueden tener un punto en común dependiendo de la fase que se desarrolle:

- *Postcosecha.* Consiste en el proceso de recolección del fruto una vez cumplido su proceso de formación. En esta actividad se conjuga una serie de actividades que forman parte esencial del proceso logístico. Una vez que el racimo logra estar en su punto, se procede a la recolección de este; para ello, se pueden tener varias fases; la actividad consiste en extraer el fruto de la planta sin alterar sus condiciones iniciales, por lo que se propone desarrollar esta actividad de manera organizada, aplicando estrategias de mejora que permitan asegurar las condiciones de calidad del producto.

- *Almacenamiento.* Luego de recolectado el fruto de la planta, se puede contar con un espacio de almacenamiento del plátano para su posterior comercialización. En este punto puede darse la convergencia de varias actividades: selección del mejor producto, el cual puede ser utilizado

para ser distribuido a nivel nacional o internacional; producto de segunda mano, que puede ser utilizado en otros procesos derivados de la actividad principal (venta a nivel regional, venta a empresas manufactureras), y por último, se puede tener el producto fuera de norma, que puede ser utilizado en otras partes del proceso, incluyendo la creación de viveros para producir nuevas semillas.

Durante todo este proceso, el producto se debe almacenar en espacios destinados para tal fin, por lo que la propuesta ofrece la incorporación de un lugar que debe tener una ubicación estratégica de manera que ofrezca las mejores condiciones al agricultor al momento de realizar el traslado a diferentes puntos.

Se debe tener presente que, dependiendo del análisis que se realice de la cadena de suministro, esta puede tener variaciones en el proceso, ofreciendo una diversidad de puntos de vista que se pueden tener en cuanto a las actividades y estableciendo un innumerable abanico de posibilidades de mejora continua.

**Figura 6. Resumen de la cadena de valor del plátano**



*Fuente: Google.*

## Resultados

Las actividades de campo se establecieron dentro de toda la población objeto de estudio, lo que permitió tener un panorama más amplio de las condiciones en las que se desarrollan las actividades de la cadena de suministro del plátano en el municipio de Castilla La Nueva del Departamento del Meta.

Este proceso de investigación permite ofrecer una serie de oportunidades de mejoras a las condiciones existentes en el proceso, teniendo presente que los cambios propuestos dentro de la metodología de trabajo permiten al dueño del cultivo ir avanzando de acuerdo con sus posibilidades de actualización e incorporando mejoras en los puntos donde considere la relevancia pertinente y su capacidad económica le permita invertir.

Las mejoras que ofrece el proceso permiten un incremento considerable dentro de la calidad del producto, lo que se traduce en una oportunidad de establecer propuestas para incorporar, dentro de sus objetivos, la participación en el proceso de exportación del producto, logrando incrementar de manera considerable sus ganancias.

## Conclusiones

Luego de analizadas las fases del proceso de investigación, se identificaron diferentes fases que permitieron dar cumplimiento a los objetivos planteados, los cuales nos llevaron a las siguientes conclusiones:

- Generar un plan de acción orientado a mantener la calidad del fruto mediante el control del proceso de maduración de la cosecha.

- Optimizar los procesos de embalaje que estén orientados a la reutilización como estrategia que apunte al cumplimiento de los ODS.

- El proceso de *packing* debe garantizar dimensiones estandarizadas mejorando la estabilidad y seguridad en el proceso de almacenamiento, distribución y comercialización.

- En la cadena de suministro del plátano, es un factor cada vez más importante la integración vertical; esta debe apuntar a que los eslabones de distribución y venta trabajen sincronizadamente apuntando a que el producto mantenga las propiedades organolépticas en el punto de venta.

- Es prioritario invertir en tecnología y capacitación con el propósito de optimizar el sistema logístico mediante la automatización de algunos procesos, disminuyendo la carga física y, por tanto, el monto de inversión.

- Realizar procesos eficientes de fertilización que contribuyan con la huella de carbono y reduzcan los residuos sólidos aportando a la sostenibilidad ambiental.

## Recomendaciones

Generar alianzas con el sector empresarial para fortalecer el proceso de transformación, incentivando la innovación de productos derivados del plátano, aumentando y adaptando de esta forma la oferta a las necesidades y tendencias del mercado.

Realizar capacitación constante y certificación a través de entidades como el ICA para aquellos productores que se adapten a las necesidades del mercado mediante la implementación de tecnologías que faciliten y aumenten la producción.

Generar apoyo gubernamental debido a que un gran porcentaje de los cultivos se realiza en propiedades arrendadas y adicionalmente las condiciones de deterioro de la malla vial impactan negativamente al productor.

La etapa final de la cadena primaria inicia con la recolección y termina con el embarque en los diferentes medios de transporte para ser distribuido a los comercializadores, minoristas, transformadores y consumidores.

Motivar a los agricultores de Castilla La Nueva para que participen de manera activa en los procesos de mejora, teniendo para ello la incorporación de tecnología en sus actividades y, de esta manera, resaltar su participación en la economía regional y nacional.

## Referencias bibliográficas

Afanador, J. & Villalba, F. (2020). *Sistemas logísticos sostenibles en redes de valor*. Primera edición. Vol. 1. Fundación Universitaria Panamericana - Compensar. https://repositoriocrai.ucompensar.edu.co/handle/compensar/4940

Baldoceda, A. (2012). *Propuesta de mejora de los procesos de planificación y desarrollo de sistemas en una empresa de soluciones tecnológicas* (Trabajo de suficiencia profesional, Universidad del Pacífico). https://repositorio.

up.edu.pe/bitstream/handle/11354/3223/BaldocedaAngie_Tesis_Licenciatura_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Briceño, L. & Ospina, D. (2023a). *Aplicación de la agricultura de precisión para mejorar las actividades de la cadena de valor en cultivos de plátano*. Editorial TEINCO. https://www.researchgate.net/profile/Leonel-Gonzalo-Briceno-De-Los-Santos/publication/371005035_Capitulo_de_investigacion_sobre_cultivo_de_platano/links/646e3de8cde97a39292d3e36/Capitulo-de-investigacion-sobre-cultivo-de-platano.pdf

Briceño, L. & Ospina, D. (2023b, mayo). "Aplicación de la agricultura de precisión para mejorar las actividades de la cadena de valor en cultivos de plátano". *V Congreso Internacional de Investigación TEINCO 2022. La Ciencia, Tecnología y Arte al Servicio de la Vida*, *VI*, 47.

Briceño, L., Patiño, Y. & Barbosa, F. (2020). *Redes de valor del sector ecoturístico, caracterización del municipio de Vista Hermosa, Meta*. Fundación Universitaria Panamericana - Compensar. https://repositoriocrai.ucompensar.edu.co/handle/compensar/4940

Caviedes, M. (2018, agosto). "El banano sigue abriéndose a nuevas áreas comerciales". *El Tiempo*, *1*(1). https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/el-banano-sigue-abriendose-a-nuevas-areas-comerciales-261202

CropLife (2021, enero). "Procedimiento operativo estándar para la aplicación de plaguicidas con drones". CropLife Latin America. https://www.croplifela.org/es/actualidad/articulos/uso-de-drones-en-la-agricultura#:~:text=Los%20drones%2C%20o%20Veh%C3%ADculos%20A%C3%A9reos%20No%20Tripulados%20%28VANT%29%2C,irrigaci%C3%B3n%2C%20y%20la%20aplicaci%C3%B3n%20de%20plaguicidas%2C%20entre%20otros

Eguren, M. & Castán, J. (2011). *La cadena de valor bajo un enfoque sistémico y sus implicaciones en el análisis de la creación de valor en la empresa*. Universitat de Barcelona. Facultad d'Economia i Empresa. https://www.researchgate.net/publication/282979618_La_cadena_de_valor_bajo_un_enfoque_sistemico_y_sus_implicaciones_en_el_analisis_de_la_creacion_de_valor_en_la_empresa

García, R. & Escobar, J. (2016). *Caracterización de las problemáticas de la cadena de abastecimiento*. 11. http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v83n198.44532

Guerrero, J. (2015). *Sistema de visión para agricultura de precisión: identificación en tiempo real de líneas de cultivo y malas hierbas en campos de maíz*. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Informática. extension://elhekieabhbkpmcefcoobjddigjcaadp/https://eprints.ucm.es/id/eprint/30145/1/T36062.pdf

Henríquez, C., Guzmán, J. & Montes, B. (2018, mayo). *Utilización de drones para la evaluación de diferentes variables agronómicas en el cultivo de banano*. https://www.researchgate.net/publication/325828549

Hirsholmen (2023, marzo). *Nuestra propia producción de banana orgánica*. https://hhk.as/es/produccion-propia-de-banana/

Martínez, R. (2017). *Respuesta económica del cultivo de banano al riego por goteo subterráneo. 5*. https://rcta.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/672

Monsalve, S. (2021). *Los drones, una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología*. (Tesis de grado, Universidad de Antioquia). https://hdl.handle.net/10495/20593

Montoya, A., Rosales, M., Ruiz, E. & Vargas, M. (2022). *Plan de negocio para determinar la viabilidad económica financiera para la comercialización de mermelada de aguaymanto endulzado con cabuya*. Tesis de grado. ESAN Graduate School of Business.

Mora, Y. & Herrera, L. (2018). *Diagnóstico y caracterización de la cadena productiva del plátano en Casanare*. Tesis de grado, Nacional Abierta y a Distancia UNAD. https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/20884/40393734.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pardo, O., Navarro, D. & Moreno, V. (2023). "La competitividad de las empresas manufactureras en Colombia (2008-2018): una estimación de sus factores más influyentes". *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, *30*(2), 13. https://doi.org/10.18359/rfce.6181

Pedraza, J. (2017, 3 de octubre). "Nosotros inventamos, los militares lo aprovechan (y viceversa)". *El País*, *1*(1). https://elpais.com/elpais/2017/09/07/talento_digital/1504735775_608262.html#?prm=copy_link

Perilla, C. & Oyola, C. (2018). *Proyecto de innovación tecnológica para fincas bananeras de C.I. Técnicas Baltime de Colombia S.A.* Tesis de grado, Universidad del Rosario. https://repository.urosario.edu.co/items/b5a06b2c-8a2c-4190-9098-71662ab548e0

Pino, E. (2019). "Los drones, una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología". *Idesia (Arica)*, *37*(1), 10. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019005000402

Quintero, S., Giraldo, D. & Orjuela Garzón, W. (2022). "Analysis of the Specialization Patterns of an Agricultural Innovation System: A Case Study on the Banana Production Chain (Colombia)". *Sustainability*, *14*, 8550. https://doi.org/10.3390/su14148550

Robinson, J. & Galán, V. (2011). *Plátanos y bananas*. Mundiprensa. https://books.google.com.co/books?id=mAv3EQAcgZ8C&lpg=PP1&hl=es&pg=PA1#v=onepage&q&f=false

Rodríguez Franky, F., Catumba Arias, J. & Arias Jiménez, L. (2020). *Negocios verdes*. Fundación Universitaria Compensar.

Rodríguez Franky, F., Arias Jiménez, L., Rivera Alonso, J. & Rodríguez Escobar, G. (2023). "Sostenibilidad del modelo empresarial verde: una evaluación al funcionamiento sostenible de las pymes ecológicas". Fundación Universitaria Compensar.

Capítulo

4

# Costos asociados al personal comparando el uso del método de cultivo tradicional y el uso de agricultura de precisión


## Daniel Felipe Ospina Cárdenas

Fundación Universitaria Compensar (dfospina@ucompensar.edu.co).
Ingeniero industrial, especializado en Seguridad y Salud en el Trabajo,
magíster en Gerencia de la Cadena de Abastecimiento, docente tiempo completo en el programa de Administración Logística de la sede Meta.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5090-5401.
Google académico:
https://scholar.google.es/citations?user=Cs9lwUQAAAAJ&hl=es&authuser=1

## Leonel Gonzalo Briceño de los Santos

Fundación Universitaria Compensar (lgbriceno@ucompensar.edu.co).
Ingeniero industrial, magíster en Seguridad y Salud Ocupacional.
Actualmente, coordinador académico del programa de Administración Logística y Administración de Empresas de la sede Meta.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1192-7990.
Google academic:
https://scholar.google.com/citations?view_op=list_works&hl=es&user=xY36ZXsAAAAJ

## Resumen

En el siguiente trabajo se abordará la problemática que involucra los costos asociados a la agricultura tradicional. Para ello, se realizará una comparación de las actividades agrícolas de manera tradicional con el uso de vehículos aéreos no tripulados (drones). El análisis se realizará en los cultivos de plátano ubicados en la vereda San Lorenzo del municipio de Castilla La Nueva. El desarrollo de la investigación estará orientado a la aplicación de una metodología mixta, iniciando con un enfoque cuantitativo, el cual persigue la identificación de las condiciones actuales en las que se desarrollan las actividades, pasando por el levantamiento de información de fuentes primarias (encuesta), logrando identificar variables de interés, las cuales darán paso a un enfoque cuantitativo, el cual estará dado por información procedente de la aplicación de vuelos no tripulados en el cultivo, el cual permitirá conocer los parámetros en los que se encuentran las variables de estudio, ofreciendo la información necesaria para proponer estrategias de mejora. Cada vez se hace más frecuente el uso de drones en conjunción con otras tecnologías para el estudio de los cultivos agrícolas. Basado en la complejidad que tienen los sistemas naturales sujetos de estudio, se efectuará un análisis comparativo de los beneficios que aporta la incorporación de tecnología en el campo colombiano.

## Palabras claves

Agricultura de precisión, cultivos, drones, imágenes, ingeniería agronómica, prevención de plagas, tecnología, monitoreo.

## *Abstract*

*In the following work, the problem that involves the costs associated with traditional agriculture will be addressed, for this, a comparison of agricultural activities will be made in a traditional way, with the use of unmanned aerial vehicles (DRONES), the analysis will be carried out in banana crops located in the village of San Lorenzo in the Municipality of Castilla La Nueva. The development of the research will be oriented to the application of a mixed methodology, starting with a quantitative approach, which pursues the identification of the current conditions in which the activities are carried out, going through the gathering of information from primary sources (survey). , managing to identify variables of interest, which will give way to a quantitative approach, which will be given by information from the application of unmanned flights in the crop, which will allow knowing the parameters in which the study variables are found, offering the necessary information to propose improvement strategies. The use of drones in conjunction with*

*other technologies for the study of agricultural crops is becoming more frequent. Based on the complexity of the natural systems under study, a comparative analysis of the benefits provided by the incorporation of technology in the Colombian countryside will be carried out.*

## *Keywords*

*Precision agriculture, crops, drones, images, agronomic engineering, pest prevention, technology, monitoring.*

## Identificación de la investigación

Este capítulo es el resultado del proceso investigativo articulado al proyecto para el año 2022 de la Fundación Universitaria Compensar, sede Meta, donde participan docentes del programa de Administración Logística, docentes de la Universidad Central de Bogotá y la Corporación de Alta Tecnología para la Defensa (CODALTEC) con el proyecto titulado "Monitoreo de la logística en cultivos de plátano incorporando drones para la vereda San Lorenzo, Municipio de Castilla La Nueva", dentro del cual se desarrollan cuatro objetivos específicos, siendo el cuarto: "reconocer los costos asociados al personal con el uso del método de cultivo tradicional comparado con el uso de drones", tomando para esta investigación la vereda San Lorenzo, municipio de Castilla La Nueva.

## Introducción

En el año 2020, el Gobierno regional, representado por el Consejo Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres, buscó mejorar la eficiencia y la precisión de los procesos de evaluación de daños (Redacción *PDM*, 2020). Para ello, se realizó una revisión de las condiciones en las que se encontraban algunos predios del área, teniendo como resultado el reporte de afectaciones en 65 granjas del municipio de El Dorado.

Estas afectaciones fueron evaluadas a través de un proceso manual, que requirió de una gran cantidad de tiempo y recursos (Redacción *PDM*, 2020). Luego de analizados lo atributos que ofrece el uso de tecnología en todas las actividades operativas, se planteó una revisión del uso de drones en las actividades agrícolas, lo que permitirá realizar una revisión más rápida y precisa de los cultivos afectados (Briceño y Ospina, 2023). Estos equipos tienen la capacidad de capturar imágenes y videos de alta resolución en cualquier superficie y pueden ser utilizados para identificar los daños de forma más detallada en sectores específicos del área analizada, lo que ofrece un mejor panorama de la situación en la que se encuentra el terreno (Baldoceda, 2012)

Además, los drones pueden utilizarse para recopilar datos geográficos, como la ubicación de los cultivos afectados, el tipo de cultivo y el nivel de afectación. Estos datos pueden ser utilizados para tomar decisiones más informadas sobre la gestión de los eventos agroclimáticos.

El Departamento del Meta se convertirá en pionero en el uso de tecnología con drones para monitorear los cultivos afectados por eventos agroclimáticos.

Los drones cada vez se usan más en investigaciones de fauna y caracterización del hábitat, en particular para obtener información acerca de la distribución espacial de los animales en zonas de difícil acceso. Los proyectos pioneros que incorporaron esta tecnología al monitoreo de fauna tuvieron lugar en la primera mitad de la década de 2000, usando drones derivados de aeromodelos (Jones *et al.*, 2006). En la actualidad, los sistemas más usados son pequeños drones de una masa máxima al despegue de 2-25 kg, con alcances generalmente inferiores a 30 km y autonomías de 30 minutos a 4 horas (Mandujano y Valde, s. f.).

En los últimos 15 años, se ha asistido a la incorporación de una nueva herramienta de monitoreo aéreo de fauna silvestre, los denominados "drones" (Anderson y Gastón, 2013; Hardin y Hardin, 2010; Jones *et al.*, 2006; Koh y Wich, 2012), y por su importancia actual se hace una breve descripción de su aplicación al monitoreo de fauna silvestre, además de algunas aplicaciones en México, con el fin de presentar sus ventajas y posibles limitaciones (Mandujano y Valde, s. f.).

El desarrollo de conceptos y aplicaciones en el marco de la agricultura de precisión permite, entre otras técnicas, utilizar sensores para diagnosticar y sincronizar la demanda de fertilizante por parte del cultivo con la aplicación de los fertilizantes en un sitio específico. Sin embargo, esta aún no se difunde masivamente como otras herramientas de agricultura de precisión debido al costo de los equipos, como ha sido señalado por Scharf *et al.* (2012).

Actualmente, la agricultura en todo el mundo aúna sus esfuerzos para garantizar la seguridad alimentaria a futuro, razón por la cual, constantemente, el sector se encuentra en búsqueda de tecnologías que ayuden a mitigar la falta de vigilancia de algunos aspectos en los cultivos que generan gastos innecesarios en el monitoreo de estos.

En la Antigüedad, los productores pecuarios acostumbraban a tener pequeñas fincas; así mismo, los cultivos derivados de estas no eran extensos; de esta manera, no representaba gran problemática recorrer el cultivo de manera

tradicional (a pie o a caballo). Situación contraria a la que se viene presentando en la actualidad, donde la constante demanda de alimentos hace necesarias grandes extensiones de cultivos que se vuelven demasiado problemáticas para lograr vigilar y administrar como se hacía antes. Esto genera que los agricultores no puedan conocer de manera puntual, específica y real la información de los cultivos que manejan, ocasionando la toma de decisiones importantes de manera errónea, al no contar con la información certera, causando, a corto y mediano plazo, pérdidas de carácter económico y físico, generando mayor impacto ambiental por parte de sus cultivos.

Se evidencia que, a partir del uso de los drones, vistos como una herramienta tecnológica innovadora, es posible resolver las problemáticas expuestas en campos de cultivos de gran extensión, ya que con cámaras de alta definición e información geográfica pueden recorrer más de mil hectáreas en menos de una hora. Estos dispositivos para la toma de mediciones y captura remota que sobrevuelan los cultivos con cámaras multiespectrales pueden tomar fotografías y grabar videos de alta resolución que detectan características que se pasan por alto a simple vista, ayudando a respaldar las decisiones para una mejor precisión y productividad del campo (González, Amarillo & Amar, 2016).

## Revisión de literatura

La agricultura de precisión es una técnica que permite la optimización de los procesos agrícolas a través de la recolección y análisis de datos en tiempo real (Briceño y Ospina, 2023a). En comparación con el método tradicional, la agricultura de precisión ofrece una serie de ventajas que pueden ser especialmente beneficiosas para los cultivos de plátano. En un estudio realizado por Jiménez, Trespalacios y Alcaraz (2018), se analizó el efecto de aplicar la agricultura de precisión en el programa de nutrición de una finca bananera. Los resultados mostraron que la aplicación de la agricultura de precisión permitió una reducción significativa en el uso de fertilizantes, lo que se tradujo en una reducción en los costos de producción y una mejora en la calidad del producto final. Por otro lado, la agricultura de precisión también permite una mayor eficiencia en la gestión del riego.

En un estudio realizado por la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua (2018), se desarrolló una guía técnica para el muestreo de suelos en la agricultura de precisión. Esta técnica permite obtener muestras representativas para seleccionar zonas o parches, lo que permite una aplicación más precisa del riego y una reducción en el consumo de agua.

Otra ventaja de la agricultura de precisión es la posibilidad de identificar y controlar enfermedades y plagas de manera más efectiva. En un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia (2023), se identificaron varias revistas indexadas con convocatorias abiertas para publicar en las áreas de hábitat y urbanismo. Estas revistas incluyen artículos sobre la aplicación de la agricultura de precisión en la identificación y control de enfermedades y plagas en los cultivos.

La agricultura de precisión es una técnica que ha ido ganando terreno en los últimos años debido a las ventajas que ofrece en comparación con el método tradicional. En el caso específico de los cultivos de plátano, la incorporación de la agricultura de precisión puede tener un impacto significativo en la productividad y rentabilidad de los cultivos. Sobre la agricultura de precisión, fueron fuente de consulta para esta investigación las siguientes obras y artículos:

- Arreguín, J. G. (2019). *Desarrollo tecnológico en agricultura de precisión*. Tesis IPN. En esta tesis, se realiza una revisión bibliográfica sobre el estado del arte de la agricultura de precisión a nivel mundial. Se destacan las ventajas de esta técnica, como la reducción de costos y la mejora en la eficiencia de los procesos.

- Córdoba, J. A. & Gómez, J. A. (2019). "Agricultura de precisión: una necesidad actual". *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1), e10. En este artículo se destacan los beneficios de la agricultura de precisión, como la mejora en la eficiencia en el uso de recursos y la productividad. Se enfatiza en la importancia de esta técnica en la revolución agrícola.

- Gómez, J. A. & Córdoba, J. A. (2021). "Diseño de un prototipo de agricultura de precisión para cultivo sostenible de plátano hartón (*Musa paradisiaca*) en Casanare". *Revista INNOVA CAFEC*. Este estudio se enfoca en el diseño de un prototipo de agricultura de precisión para el cultivo de plátano hartón. Se destaca la importancia de esta técnica para el cultivo sostenible de plátano.

- Rodríguez, J. A. & Gómez, J. A. (2020). "Agricultura de precisión en el cultivo de plátano". *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(2), 1-10. En este artículo, se aborda la importancia de la agricultura de precisión en el cultivo de plátano. Se destacan las ventajas de esta técnica, como la mejora en la eficiencia en el uso de recursos y la reducción de costos.

En conclusión, la agricultura de precisión ofrece una serie de ventajas en comparación con el método tradicional. En el caso de los cultivos de plátano, la aplicación de la tecnología puede permitir una reducción en los costos de producción, una mejora en la calidad del producto final, una mayor eficiencia en la gestión del riego y una identificación y control más efectivo de enfermedades y plagas. Es importante que los agricultores consideren la implementación de nuevas técnicas de trabajo en sus procesos agrícolas y se capaciten adecuadamente para su uso efectivo.

## Beneficios de los drones vs. otras metodologías y tecnologías existentes

Los drones pueden proporcionar imágenes en alta resolución y, a diferencia de las imágenes satelitales, se ven mucho menos afectados por las nubes. Esto les permite detectar con mayor precisión plagas, enfermedades, malezas, evaluar la emergencia de cultivos y detectar otros problemas en el campo. Los drones no solo pueden tomar imágenes de alta resolución, sino que es posible que trasladen contenedores, los cuales pueden contener pesticidas y fertilizantes foliares. Con esta característica adicional, además de permitir la vigilancia, se suma el control de plagas y enfermedades, así como la aplicación de fertilizantes foliares. Los pesticidas y fertilizantes se pueden aplicar específicamente a zonas en el campo donde el dron detectó una deficiencia de nutrientes, una plaga o una enfermedad, dándole de esta manera una característica específica y tal vez única o por lo menos difícil de alcanzar: gran precisión para la aplicación del químico necesario para cada área del cultivo (Parody Zuleta y Zapa, s. f.).

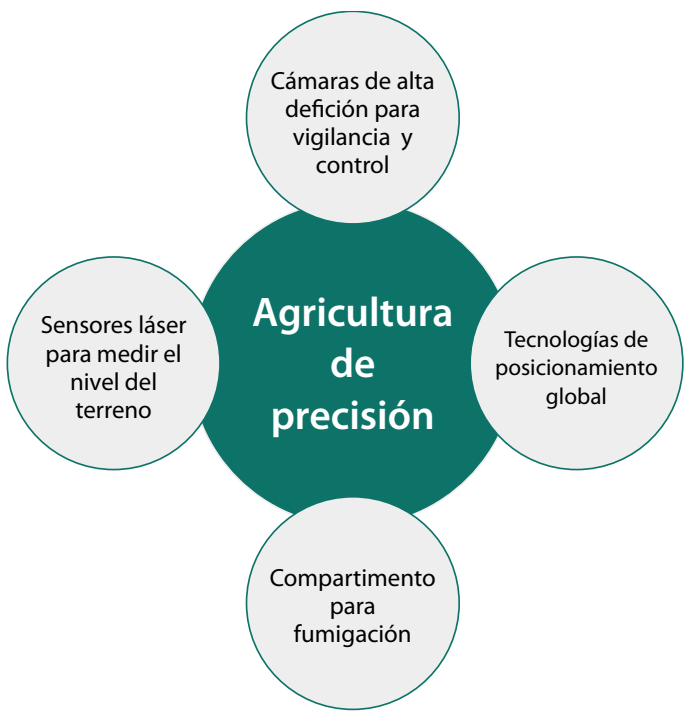
Con base en lo anterior, la adopción del uso de drones en el sector agro ha llegado para quedarse, ya sea solamente para la vigilancia y control o como herramienta para la aplicación de coadyuvantes para plagas y enfermedades. Los agricultores tienen una gran responsabilidad para las futuras generaciones: garantizar la producción, por lo que se deben adoptar tecnologías y herramientas que ayuden a cumplir el objetivo, lo cual convierte al uso del dron en una excelente tecnología para la automatización de los cultivos (Montoya *et al.*, 2022).

El sector agropecuario no debe sentirse ajeno a la revolución digital, a la adopción y uso de tecnologías que se viene desarrollando en la actualidad. Según un estudio de Goldman Sachs, se prevé que el sector agro sea el segundo mayor usuario de drones del mundo en los próximos cinco años. Solo en China, se estima que el número de drones agrícolas se duplicó entre 2016 y 2017, llegando a 13 mil aeronaves. Este cambio ya se está impulsando

rápidamente en Asia en países como China, Corea y Japón, donde el uso de drones brinda nuevas posibilidades para abordar los desafíos apremiantes de seguridad alimentaria (García, 2021).

Teniendo en cuenta lo anterior, es indiscutible que América Latina adoptará el uso de drones para sus cultivos, pues es bien sabido que Latinoamérica, y más específicamente "Colombia, se encuentra de 4 a 6 años atrasado de avances tecnológicos comparados con los países líderes en Asia" (Portafolio, 2021). Con base en lo anterior, si se habla de la adopción a gran escala de uso de drones (en Asia fue entre 2016 y 2017), la revolución agropecuaria estará próxima a llegar y para ello se debe contar con las herramientas necesarias y con la sensibilización de los implicados.

**Figura 1. Herramientas de la agricultura de precisión**




*Fuente: (González, Amarillo y Amarillo, 2016).*

En la ilustración anterior, se muestran las principales herramientas que ofrece la agricultura de precisión a los agricultores, resaltando en primer lugar que el país donde se implementen debe contar con un sistema de información geográfica, robusto y enriquecido; de no ser así, no se podrá usar al 100 % estas herramientas. Con base en lo anterior, se encuentra una problemática

para la adopción y funcionamiento del uso de drones en Colombia, pues las zonas rurales tienen déficit de conectividad a internet y mapeo inexacto de terrenos, con lo cual se retrasaría el aprovechamiento.

Otra herramienta importante, referente al uso de drones, son los mapas de producción, útiles en la agricultura de precisión; estos se realizan a través de herramientas tecnológicas, permiten definir las áreas de cultivo que tienen más potencial para una producción óptima y, así mismo, permiten identificar las áreas que necesitan un análisis especial y los correctivos que deben realizarse al terreno para lograr el cultivo deseado (González, Amarillo y Amarillo, 2016).

Se estima que entre un 80 a un 90 % del mercado de los vehículos aéreos no tripulados en los próximos 10 años se van a adquirir para desarrollar labores en la agricultura; los drones empleados como herramienta facilitadora, tecnológica e innovadora tiene gran probabilidad de resolver problemáticas en distintos campos de la agricultura, sobre todo en grandes extensiones de tierra, ya que con cámaras de alta definición e información geográfica pueden recorrer más de mil hectáreas en menos de una hora (Koh y Wich, 2012). La agricultura de precisión con drones supone múltiples ventajas, desde el seguimiento detallado y pormenorizado del cultivo hasta una mejora en el consumo de agua y una fumigación precisa a un bajo costo (Ríos Hernández, 2021).

Ahora, analicemos la situación a la cual se enfrentan los agricultores que usan herramientas tradicionales. Ellos deben contratar personal con conocimiento y experiencia en el cultivo de plátano; estos serán los encargados de analizar y controlar los niveles de agua, temperatura, luz, entre otros, y tener que presentarse físicamente en la zona donde se ubica el cultivo para realizar la revisión, generando gastos en transporte y tiempo. Muchas veces el sistema utilizado no permite detectar a tiempo riesgos en los cultivos que más tarde afectan en la cantidad de cosecha. Dadas las condiciones anteriores, la no adopción de tecnología genera impactos que van desde desplazamientos de la mano de obra hasta gastos como: hospedaje, alimentación, transporte, entre otros, teniendo en cuenta además que el tiempo utilizado para el desarrollo de las actividades va a ser más amplio que el requerido con el uso de tecnología.

Además, si los actores que integren el uso de la tecnología en la agricultura aprovechan los beneficios que esta les provee, como la reducción de los riesgos de pérdida de capital por falta de un meticuloso monitoreo y control de las condiciones climatológicas del cultivo, se garantizará una mejor producción. Esto es posible sacando provecho a la disponibilidad de conexión a internet que hoy está llegando a casi todos los rincones del país mediante la telefonía móvil (Mamani, Villalobos y Herrera, 2017).

## Metodología

Investigar es una actividad de la cual se obtiene conocimiento, si bien no en todos los casos será conocimiento nuevo, sino conocimiento actualizado con base en algunos parámetros que el investigador planteará. Se pone en práctica una metodología científica en la cual, por medio del desarrollo de subactividades, como seleccionar fuentes de información fiables, actualizadas (Grajales, s. f.), se busca detallar el diseño metodológico usado en la presente investigación.

El objetivo principal fue *identificar los costos asociados al personal con el uso del método de cultivo tradicional vs. los costos asociados al método de cultivo con el uso de drones* (agricultura de precisión), para luego evaluar la aceptación por parte de agricultores ubicados en la vereda San Lorenzo, municipio de Castilla La Nueva. Para lo anterior se desarrolló un enfoque mixto. En primer lugar, se efectuó el levantamiento de información en bases de datos secundarias, buscando textos, investigaciones, noticias, tesis, que incluyen información acerca del uso de drones en agricultura a nivel internacional, nacional y departamental, con lo cual se pretendió tener conocimientos claros acerca del uso de drones, experiencias significativas, características mínimas para su uso, entre otras. Para el segundo momento de la investigación se decidió realizar de tipo descriptivo, con enfoque cuantitativo, para lo que se consultaron fuentes primarias, enfocadas a los costos asociados al personal con el método de cultivo tradicional, es decir, se estimó el costo real y total para las labores de preparación del terreno, manejo agronómico, plan de fertilización, manejo integrado de plagas y enfermedades, cosecha y postcosecha y asistencia técnica, tanto para ser desarrollados por el personal como por medio del uso de drones, de donde se obtuvieron datos relevantes y significativos. En la última fase de la presente investigación, se aplicaron encuestas a agricultores del municipio de Castilla La Nueva, que permitió identificar su conocimiento respecto a los beneficios de la agricultura de precisión y su opinión al respecto.

A continuación, se presentan los costos asociados al cultivo de plátano, en cuanto a la intervención de personal por el modelo tradicional. La información se recolectó con la visita a predios del municipio de Castilla La Nueva, se entrevistó a dueños de fincas, administradores de cultivos y jornaleros vs. agricultura de precisión y se analizaron cotizaciones a empresas que ofertan el servicio de drones en el departamento del Meta.

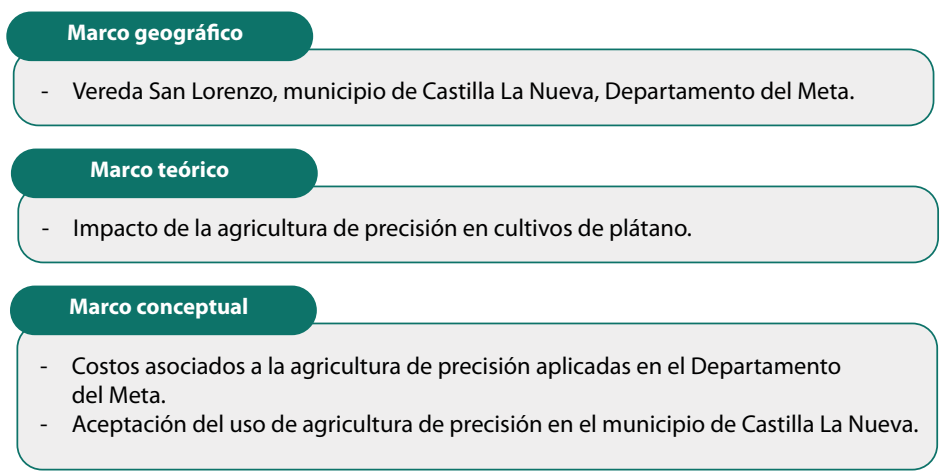
En cuanto al enfoque de la investigación es mixto. Se tuvo en cuenta que el proceso tendrá más de un enfoque, se analizarán distintas variables y se usarán diversos instrumentos, así pues, su enfoque será mixto cuantitativo y

se fundamentará en la aplicación de encuestas como principal herramienta de levantamiento de información; se tabularán y analizarán los datos obtenidos y, en casos puntuales, de ser posible, se utilizará también la observación dentro de los predios. En cuanto al método usado, se aplicará al estado actual y real de los cultivos.

Respecto al tipo de investigación, es aplicada. Se realizó una investigación exploratoria en la primera fase, donde se reunió información respecto al tema a tratar, el entorno, revisión bibliográfica pertinente y actualizada; en la segunda fase, el tipo de investigación fue descriptiva, pues allí, haciendo uso de los conocimientos y experiencia de los autores y el levantamiento de información, se busca hallar el porqué de la situación problema a estudiar. En conclusión, en el segundo momento se realizará una investigación descriptiva, dado que se reúne información cuantificable que se usó para sacar conclusiones respecto a los datos, se describe la situación actual en cuanto a costos actualizados para el cultivo tradicional de plátano vs. costos con uso de agricultura de precisión y, así mismo, se realizó un sondeo sobre la aceptación de dicha tecnología por parte de los dueños de predios de la zona.

En referencia a la población y muestra, el procedimiento de muestreo utilizado es probabilístico, por lo que se tomará una muestra representativa utilizando un método aleatorio simple a las unidades de análisis que tienen el perfil de la población objeto de estudio.

**Figura 2. Diseño metodológico**



Respecto a las herramientas usadas en el proceso de investigación, las cuales permitirán el correcto diseño, recolección, tabulación y análisis de los datos para contextualizar y comprender el sector, se usó la observación directa y las entrevistas como métodos de recopilación de datos.

Con base en la información recolectada de la aplicación de las herramientas descritas anteriormente, se establecieron los costos asociados al personal con el uso del método de cultivo tradicional comparado con el uso de drones y se dará relevancia a la aceptación real y opción de aplicabilidad que observen los dueños de predios, cultivadores y/o administradores de cultivos.

## Costos asociados al personal con el uso del método de cultivo tradicional comparado con el uso de drones

Luego de definir claramente la ruta de investigación a seguir, se hace necesario establecer los costos actuales relacionados con el cultivo tradicional y el uso de drones, para así establecer y poder dar información clara sobre la metodología a las personas a entrevistar en la fase dos de la investigación.

**Tabla 1. Caracterización de los costos asociados tradicional vs. de precisión**

| Mano de obra/hectárea | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Cotización jornalero 1 | Cotización jornalero 2 | Cotización 1 dron (superior a 30 hectáreas) | Cotización 2 dron (superior a 30 hectáreas) |
| **Preparación del terreno** | | | | |
| Fumigación maleza (4 ciclos en 6 meses) | $62.500 | $60.000 + alimentación | $30.000 | $33.000 |
| **Manejo agronómico** | | | | |
| Control de la maleza | $62.500 | $60.000 + alimentación | $30.000 | $33.000 |
| **Plan de fertilización** | | | | |
| Aplicar fertilizante | $62.500 | $60.000 + alimentación | $30.000 | $33.000 |
| **Manejo integrado de plagas y enfermedades** | | | | |
| Fumigación contra plagas | $62.500 | $60.000 + alimentación | $30.000 | $33.000 |
| **Cosecha y postcosecha** | | | | |
| Aplicación insecticida y fungicida | $62.500 | $60.000 + alimentación | $30.000 | $33.000 |
| **Asistencia técnica** | | | | |
| Honorarios | $300.000 | $280.000 | $150.000 | $200.000 |

Pese a que existen empresas que ofertan el servicio de agricultura de precisión y el uso de drones para desarrollar la labor pecuaria en el Departamento del Meta, dichas empresas no se encuentran establecidas, pues aún no cuentan con suficientes clientes. Una de las empresas contactadas se encuentra en Bogotá D.C. y otra de Medellín. Por el momento se debe garantizar que la extensión del cultivo por cliente es de 30 hectáreas o más, para garantizar cubrir los costos de desplazamiento de los drones y los técnicos.

Es bien sabido que, durante los últimos años, se ha dado más valor e importancia a la labor campesina de producción de alimentos, sensibilizando a la población en general de salvaguardar las tradiciones, incentivando sobre todo a los jóvenes, que cada vez están más desinteresados en realizar labores de campo. Si tal vez se dieran a conocer la aplicación de nuevas tecnologías, junto con capacitaciones con el uso de las mismas en el campo agropecuario, sería más factible el fortalecimiento y continuidad del quehacer campesino.

Según el McKinsey Global Institute, los avances tecnológicos juegan un papel primordial para el sector agro y alimentario, porque el ritmo de uso de tecnología en la agricultura no es proporcional al ritmo de la aplicación de tecnología en otros sectores. La agricultura es el sector económico que menos aplica el uso de tecnologías para aumentar su productividad (Vidal, 2020).

Según asegura Arvind Krishna, vicepresidente senior de Cloud y Cognitive de IBM, "Los investigadores de IBM ya están trabajando en soluciones en cada eslabón de la cadena alimentaria. Están ayudando a los agricultores a maximizar los rendimientos de los cultivos y desarrollando formas de frenar la epidemia de desperdicio que destruye el 45 % de nuestro suministro" (*Portafolio*, 2019).

Durante los últimos años, el sector agrícola mostró una capacidad de adaptación en medio de la crisis del coronavirus y algunos retos igualmente importantes con los altos costos de insumos y maquinarias, pero este sector debe impulsarse y ser una opción para invertir en el año 2023.

Son retos que, de acuerdo con especialistas, pueden resolverse mediante la ejecución adecuada de nuevas tecnologías para apuntarle a un agro sostenible, optimizando la producción de los cultivos y la innovación de procesos.

Es una tarea compleja, pues el agro utiliza hoy, según MinAgricultura, solo el 15 % de tecnología de última generación, lo cual evidencia el rezago que vive el campo y que pone en jaque el desarrollo de uno de los sectores económicos más importantes de Colombia en este año (Ganadero, 2022).

Las nuevas tecnologías crearán nuevos empleos; en todo el mundo las personas deberán capacitarse nuevamente en el uso de estas nuevas tecnologías. En el caso puntual del sector agrícola, se cambiará el uso de maquinaria agrícola (vehículos automotores), la cual va siendo lentamente reemplazada por vehículos aéreos no tripulados (drones), y esa nueva incorporación de tecnologías cambiará el panorama en las actividades y oficios demandados:

- Productivas
- Diseñadores de *software*
- Comercialización
- Comerciantes de repuestos
- Piloto de drones
- Fabricantes de repuestos

## Casos de estudio

El objetivo principal de esta investigación es realizar un análisis comparativo entre los costos que incurren los agricultores de plátano utilizando el método tradicional vs. las mejoras que ofrece el uso de tecnología en las actividades agrícolas.

Partiendo de esa premisa, se realiza una revisión de cuáles son los departamentos donde se encuentra mayor presencia de mejoras en las actividades agrícolas.

El costo de personal es uno de los principales costos de producción en el cultivo de plátano. El método tradicional de cultivo de plátano requiere una gran cantidad de mano de obra para realizar tareas como la preparación del terreno, la siembra, el riego, la fertilización, el control de plagas y enfermedades y la cosecha. Por otro lado, la agricultura de precisión utiliza tecnologías avanzadas para recopilar y analizar datos sobre el cultivo. Estos datos se utilizan para tomar decisiones más informadas sobre las prácticas agrícolas, lo que puede conducir a una mayor eficiencia y productividad.

Como resultado, la agricultura de precisión puede reducir los costos asociados al personal en el cultivo de plátano. Esto se debe a que la agricultura de precisión permite a los agricultores realizar tareas de forma más eficiente y precisa, lo que requiere menos mano de obra.

A continuación, se presenta un análisis comparativo del costo de personal en un cultivo de plátano, utilizando el método tradicional y la agricultura de precisión:

**Tabla 2. Comparación de las variables involucradas en el proceso de cultivo de plátano**

| Criterio | Método tradicional | Agricultura de precisión |
|---|---|---|
| Costo laboral | Mayor | Menor |
| Número de trabajadores | Mayor | Menor |
| Eficiencia | Menor | Mayor |
| Productividad | Menor | Mayor |
| Costos totales | Mayores | Menores |

## Comparación del Departamento del Meta con respecto a otros departamentos en referencia al uso de agricultura de precisión en cultivos de plátano

En la tabla 3, se pueden observar los departamentos de Colombia con mayor presencia de agricultura de precisión en cultivos de plátano, lo que permite tener un panorama más amplio al momento de realizar un comparativo de la eficiencia en los cultivos a nivel nacional. El Departamento del Meta viene experimentando un crecimiento acelerado en la incorporación de tecnología en sus campos; esto permite proyectar un crecimiento considerable de la producción departamental para un futuro cercano.

**Tabla 3. Porcentaje de cultivos de plátano en Colombia**

| Departamento | Porcentaje de cultivos |
|---|---|
| Antioquia | 22,40 % |
| Valle del Cauca | 16,90 % |
| Tolima | 13,30 % |
| Córdoba | 10,40 % |
| Huila | 8,80 % |
| Magdalena | 7,70 % |
| Bolívar | 5,90 % |
| Santander | 5,30 % |

| Departamento | Porcentaje de cultivos |
|---|---|
| Nariño | 4,90 % |
| Boyacá | 4,30 % |
| Meta | 3,90 % |
| Cesar | 3,60 % |
| Quindío | 3,40 % |
| La Guajira | 3,20 % |
| Casanare | 2,90 % |
| Cauca | 2,80 % |
| Caquetá | 2,70 % |
| Arauca | 2,60 % |
| Putumayo | 2,50 % |
| Amazonas | 2,40 % |
| Guaviare | 2,30 % |
| Vaupés | 2,20 % |
| Guainía | 2,10 % |

Estos departamentos concentran la mayor parte de la producción de plátano en Colombia y también son los que han mostrado un mayor interés en la adopción de tecnologías de agricultura de precisión.

Antioquia es el departamento con mayor presencia de agricultura de precisión en cultivos de plátano. En este departamento, se concentra aproximadamente el 20 % de la producción nacional de plátano. La adopción de tecnologías de agricultura de precisión en Antioquia se ha impulsado principalmente por la iniciativa "Plátano Antioquia 4.0", liderada por la Corporación de Productores de Banano de Antioquia (Asoban).

Valle del Cauca es el segundo departamento con mayor presencia de agricultura de precisión en cultivos de plátano. En este departamento, se concentra aproximadamente el 15 % de la producción nacional de plátano. La adopción de tecnologías de agricultura de precisión en el Valle del Cauca se ha impulsado principalmente por la iniciativa "Plátano Valle 4.0", liderada por la Corporación de Productores de Banano del Valle del Cauca (Asovan).

Tolima es el tercer departamento con mayor presencia de agricultura de precisión en cultivos de plátano. En este departamento, se concentra aproximadamente el 10 % de la producción nacional de plátano. La adopción de tecnologías de agricultura de precisión en el Tolima se ha impulsado principalmente por la iniciativa "Plátano Tolima 4.0", liderada por la Corporación de Productores de Banano del Tolima (Asobanato).

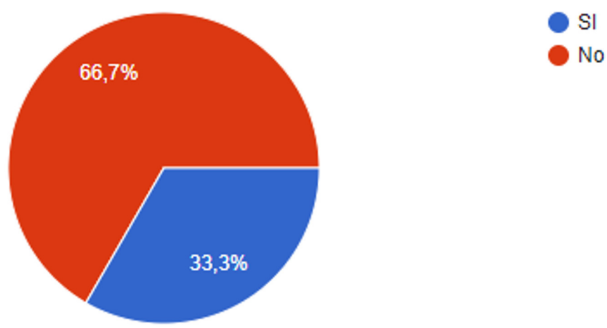
Los demás departamentos mencionados también han mostrado un interés creciente en la adopción de tecnologías de agricultura de precisión en cultivos de plátano. Sin embargo, su adopción aún es relativamente baja, debido a factores como el costo de la tecnología y la falta de capacitación.

Para efectos del proceso de investigación, se realizó un sondeo en una muestra ubicada en el municipio de Castilla La Nueva, el cual forma parte del inicio del proceso de revisión de las condiciones actuales en las que se desarrollan las actividades agrícolas en el departamento. Esta información sirve de prueba piloto para futuras investigaciones.

## Resultados

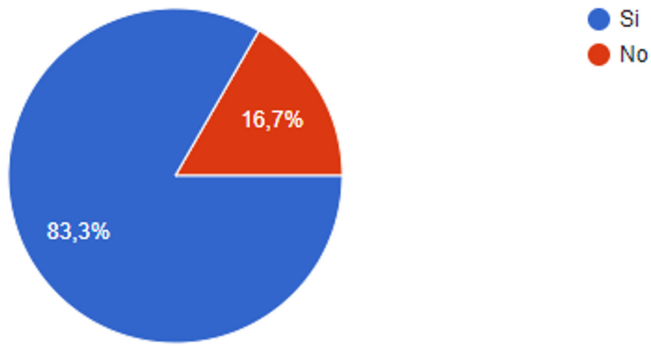
Luego del levantamiento de información respecto a los costos de personal asociados al cultivo, se procedió al diseño de la entrevista a dueños de predios y administradores de cultivos del municipio de Castilla La Nueva, Meta, donde se busca establecer la opinión de los mismos respecto al uso de drones para su proceso de agricultura. Las preguntas establecidas para la herramienta de recolección de información permitió, en primer lugar, crear una relación cercana en la cual, de manera breve, se explicó en qué consiste el uso de drones para cultivos y, en segundo lugar, evaluar la intención de adopción por parte de los mismos.

**Gráfico 1. Respecto al conocimiento que tienen los agricultures sobre la agricultura de precision en el Departamento del Meta**



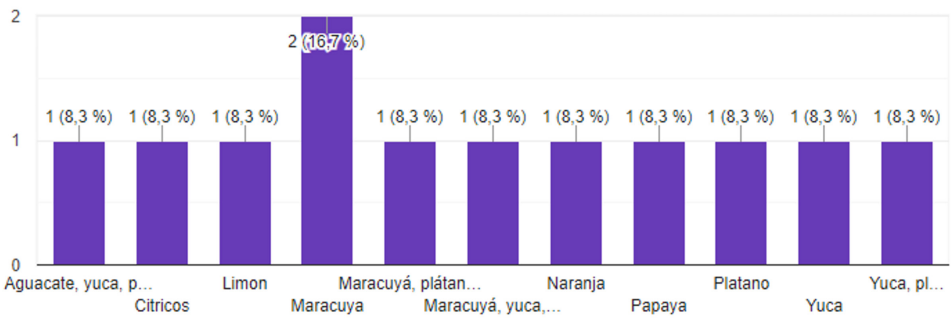
El 67 % de los encuestados afirmaron que no tenían conocimeinto sobre la agricultura de precisión, lo que representa una oportunidad de mejora al momento de incorporar tecnología en las actividades propias del campo.

**Gráfico 2. Respecto si los agricultores entrevistados adoptarían la agricultura de precisión en sus fincas**




Cerca del 90 % de los encuestados asegura que sí estarían dispuestos a implementar la agricultura de precisión en sus fincas para optimizar la productividad de los cultivos.

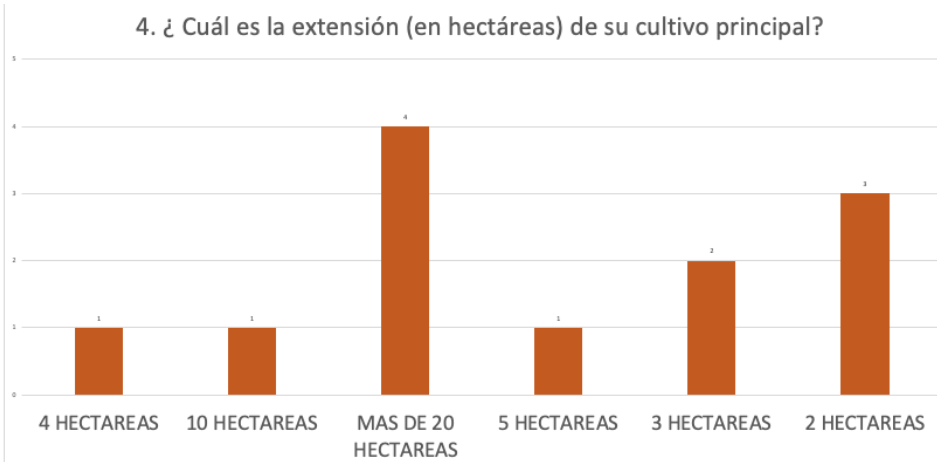
**Gráfico 3. Cultivos que se pueden encontrar en las fincas encuestadas**




*Fuente: Google.*

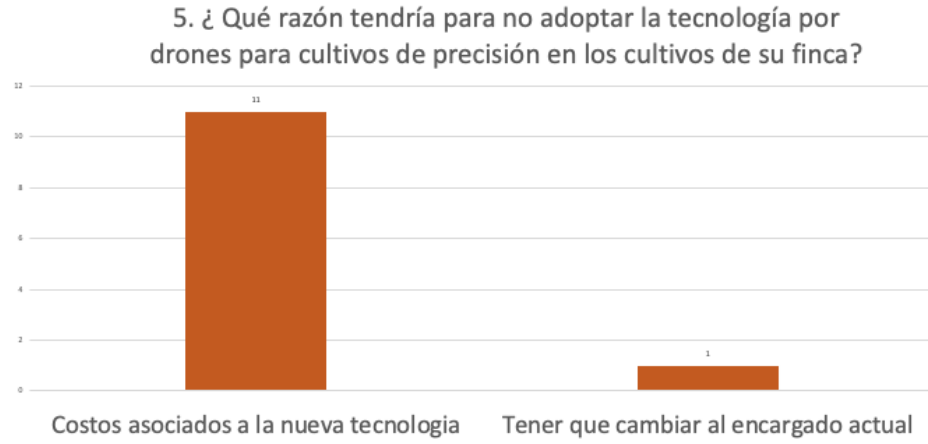
En los predios encuestados durante el proceso de investigación, se pueden evidenciar diferentes tipos de cultivos, los cuales permiten establecer criterios de revisión para futuros trabajos de investigación. Partiendo de esa premisa y según lo analizado en el gráfico anterior, se puede verificar la amplitud de los beneficios que se pueden obtener con la aplicación de agricultura de precisión en diferentes cultivos.

**Gráfico #4. Respecto a qué extensión de tierra se cultiva en el municipio Castilla La Nueva**




Cerca del 30 % de los encuestados manifiestan que tienen áreas de cultivos mayores a las 20 hectáreas y el 70 % de los agricultores tienen cultivos en áreas inferiores a las 10 hectáreas. Esto permite identificar una estrategia de mejora, la cual va orientada a incrementar el trabajo en equipo para cultivadores pequeños, apoyados con agricultores con sembradíos más grandes, quienes pueden apoyar a los pequeños agricultores en el proceso de mejora.

**Gráfico 5. Respecto a las razones de los agricultores para implementar la agricultura de precisión en sus fincas**




.

El 90 % de los encuestados manifiesta que ve inconveniente en la adopción de agricultura de precisión por medio de drones debido a los costos asociados a la implementación de esta nueva tecnología; el 10 % de los encuestados afirma que no la implementarían porque eso ocasionaría tener que despedir al encargado actual de la finca.

## Conclusiones

La gran mayoría de los encuestados afirma no conocer con anticipación el uso de drones como tecnología que ayude a vigilar y gestionar cultivos de manera óptima; así las cosas, se observa gran potencial en cuanto a la implementación y uso, dado que es un sector poco explorado, pero con una buena proyección.

En opinión de las personas inmersas en el sector de la agricultura en el municipio de Castilla La Nueva, Meta, se encuentran interesados en la adopción de la tecnología de uso de drones para desarrollar las labores de cultivos, con un porcentaje del 90 %, lo cual es un excelente indiciador de que los campesinos están dispuestos a adoptar medidas innovadoras que les ayuden a desarrollar sus labores. Como se afirmó anteriormente, se trata de realizar un proceso de sensibilización en el cual se muestren los beneficios.

Inmerso en el proceso de investigación desarrollado, se realizó el levantamiento de información a campesinos (dueños de predios, administradores de cultivos, finqueros) que se ubican en el municipio, los cuales conformaron la muestra, con la cual se logró establecer la opinión acerca de la adopción de tecnologías con uso de drones para desarrollar las labores de apoyo a cultivos. En primer lugar, los investigadores realizaron una contextualización y explicación de los costos y ventajas del uso de drones, para luego, por medio de preguntas tipo entrevista, establecer la aplicabilidad y viabilidad que veía el campesino.

El análisis de la información recolectada durante el proceso investigativo permitió establecer parámetros estratégicos que pueden servir para lograr un campo más eficiente, generando impacto a mediano y largo plazo en las acciones que garanticen la seguridad alimentaria en Colombia, claro está, contando con el apoyo de las entidades gubernamentales, las cuales deben garantizar un campo más tecnológico.

## Referencias bibliográficas


Baldoceda, A. (2012). *Propuesta de mejora de los procesos de planificación y desarrollo de sistemas en una empresa de soluciones tecnológicas*. Trabajo de suficiencia profesional, Universidad del Pacífico. https://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/3223/BaldocedaAngie_Tesis_Licenciatura_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

De los Santos, L. G. B. & Cárdenas, D. F. O. *Aplicación de la agricultura de precisión para mejorar las actividades de la cadena de valor en cultivos de plátano*. Capitulodeinvestigacinsobrecultivodepltano.pdf (researchgate.net)

Departamento del Meta (septiembre de 2020). "Tecnología para evaluar daños en el agro". *Periódico del Meta*. https://periodicodelmeta.com/tecnologia-para-evaluar-danos-en-el-agro/

Ganadero, C. (2022). "Qué hacer ante la baja implementación de tecnología en el sector agrícola". https://www.contextoganadero.com/agricultura/que-hacer-ante-la-baja-implementacion-de-tecnologia-en-el-sector-agricola

García, G. (2021). "Uso de drones en la agricultura: beneficios para el campo". The Food Tech. https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/uso-de-drones-en-la-agricultura-beneficios-para-el-campo/

González, A., Amarillo, G. & Amarillo, M. (2016). "Drones aplicados a la agricultura de precisión". *Revista Especializada en Ingeniería*. https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1585

Grajales, T. (s. f.). *Tipos de investigación*. https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf

Jiménez, J. G., Trespalacios, J. & Alcaraz, J. J. (2018). *La aplicación de la agricultura de precisión en el proceso de fertilización: un caso de estudio para el sector bananero del Urabá antioqueño*. Repositorio Institucional Universidad EAFIT (eafit.edu.co).

Mamani, M., Villalobos, M. & Herrera, R. (2017). "Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola". *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052017000400599

Mandujano, M. P. & Valde, R. (s. f.). "Drones: una nueva tecnología para el estudio y monitoreo de fauna y hábitats". *LJMU Research Online*. http://researchonline.ljmu.ac.uk/id/eprint/8114/

Méndez, A., Vélez, J. P. & Scaramuz, F. (s. f.). "Los drones como herramienta". *Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario*.

Montoya, A., Rosales, M., Ruiz, E. & Vargas, M. (2022). *Plan de negocio para determinar la viabilidad económica financiera para la comercialización de mermelada de aguaymanto endulzado con cabuya*. Tesis de grado. ESAN Graduate School of Business.

Parody Zuleta, A. M. & Zapa, E. D. (s. f.). *Agricultura de precisión en Colombia utilizando teledetección de alta resolución*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7831519

*Portafolio* (2019). "Las tecnologías que podrán «salvar» el agro colombiano". https://www.portafolio.co/negocios/empresas/las-tecnologias-que-podran-salvar-el-agro-colombiano-526281

*Portafolio* (abril de 2021). "El atraso colombiano en ciencia y tecnología". *Portafolio*, 23-25.

Ríos Hernández, R. (2021). "Uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados". *Revista Ingeniería Agrícola*, 11.

Sela, G. (s. f.). "El uso de drones en la agricultura". *Cropaia*. https://cropaia.com/es/blog/el-uso-de-drones-en-la-agricultura/

Toda Colombia (s. f.). *Relieve Departamento del Meta.* https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/meta/relieve.html

Universidad Nacional Agraria de Nicaragua (s. f.). *Guía técnica para muestreo de suelos*. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria (una.edu.ni).

Universidad Nacional de Colombia (2023). "Revistas con convocatorias abiertas para publicar". Recuperado de Universidad Nacional de Colombia: Escuela del Hábitat - Facultad de Arquitectura - Sede Medellín (unal.edu.co).

Vidal, M. (2020). "Los problemas del campo y su imprescindible apuesta tecnológica". https://www.marcvidal.net/blog/2020/2/25/los-problemas-del-campo-y-su-imprescindible-apuesta-tecnolgica

Capítulo

5

# Explorando la viabilidad de los drones en las explotaciones agrícolas colombianas. Caso de estudio: cultivos de plátano en el municipio de Castilla La Nueva del Departamento del Meta


## Leonel Gonzalo Briceño de los Santos

Fundación Universitaria Compensar (lgbriceno@ucompensar.edu.co).
Ingeniero Industrial, magíster en Seguridad y Salud Ocupacional. Actualmente, coordinador académico del programa de Administración Logística y Administración de Empresas de la sede Meta.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1192-7990.
Google academic:
https://scholar.google.com/citations?view_op=list_works&hl=es&user=xY36ZXsAAAAJ

## Daniel Felipe Ospina Cárdenas

Fundación Universitaria Compensar (dfospina@ucompensar.edu.co).
Ingeniero industrial, especializado en Seguridad y Salud en el Trabajo, magíster en Gerencia de la Cadena de Abastecimiento, docente a tiempo completo en el programa de Administración Logística de la sede Meta.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5090-5401.
Google académico:
https://scholar.google.es/citations?user=Cs9lwUQAAAAJ&hl=es&authuser=1

## Resumen

Durante muchos años, las actividades agrícolas se han venido desarrollando de una manera poco tecnificada, lo que genera mucho desconocimiento de las condiciones reales en las que se encuentran los cultivos. Sin embargo, desde hace algunos años, las actividades agrícolas han experimentado cambios en cuanto a la tecnología usada para analizar sus condiciones; es de ahí, que los drones se incorporan al monitoreo de los cultivos, ofreciendo imágenes detalladas, lo que permite ampliar los puntos de vista sobre las condiciones y necesidades en las que se desarrollan las actividades desde un punto de vista más específico, todo esto gracias a la presencia de sensores sofisticados que analizan diferentes variables y ofrecen una información más acertada de las condiciones reales en las que se encuentra el suelo. La presente investigación está orientada al análisis de las ventajas que aporta la incorporación de tecnología dentro del agro colombiano, tomando como caso de estudio los cultivos del municipio de Castilla La Nueva, ubicado en el Departamento del Meta. Para ello, se planteó una metodología mixta, la cual se desarrolla con un enfoque cualitativo, orientado a la caracterización de las actividades agrícolas en diferentes partes de la geografía colombiana, y un enfoque cuantitativo, estableciendo un análisis de los costos que implica la incorporación de nueva tecnología en las actividades agrícolas. Todo este proceso permite establecer estrategias de mejora dentro del seguimiento que se debe tener en los cultivos agrícolas, haciendo énfasis en los cultivos de plátano del municipio de Castilla La Nueva en el Departamento del Meta.



## Palabras claves

Drones, factibilidad, cultivos, agricultura de precisión, seguimiento.



## *Abstract*

For many years, agricultural activities have been developed in a non-technical way, which generates a lot of ignorance of the real conditions in which the crops are found. However, for some years agricultural activities have undergone changes in terms of the technology used to analyze their conditions, it is from there, that drones are incorporated into the monitoring of crops, offering detailed images, which allows, to expand the points of view on the conditions and needs in which the activities are developed from a more specific point of view,  All this thanks to the presence of sophisticated sensors that analyze different variables and offer more accurate information on the real conditions in which the soil is located. This research is oriented to the analysis of the

advantages provided by the incorporation of technology within Colombian agriculture, taking as a case study the crops of the municipality Castilla la Nueva, located in the department of Meta, for this, a mixed methodology was proposed, which is developed with a qualitative approach, oriented to the characterization of agricultural activities in different parts of the Colombian geography and a quantitative approach, establishing an analysis of the costs involved in incorporating new technology into agricultural activities. All this process allows to establish improvement strategies within the monitoring that must be taken in agricultural crops, emphasizing the banana crops of the municipality Castilla la Nueva in the department of Meta.

## *Keywords*

Drones, feasibility, crops, precision agriculture, tracking.

## Introducción

Los avances tecnológicos en la agricultura evolucionan cada día, brindando oportunidades para aumentar la productividad y seguridad de los agricultores. La aplicación de tecnología en diferentes aspectos económicos conlleva la incorporación de nuevas actividades en el desarrollo de las tareas cotidianas. Partiendo de esa premisa, la agricultura de precisión puede dar a conocer brevemente los beneficios que aporta la aplicación de un conjunto de tecnologías para mejorar los procesos de producción en el campo, lo que se puede traducir en impactos positivos desde el punto de vista agronómico, ambiental y económico (Monsalve, 2021).

La cadena de suministro de las actividades agrícolas ha venido experimentando diversos cambios que permiten optimizar sus tareas con el objetivo de incrementar la eficiencia de cada uno de los eslabones del proceso logístico (Briceño y Ospina, 2023). El avance en los últimos años de los sistemas de control y automatización en agricultura ha favorecido la aparición del concepto de Agricultura de Precisión (AP) (Guerrero, 2015). El uso de los drones en agricultura ha crecido, sobre todo en países asiáticos, donde los avances y la regulación dan un marco legislativo y operativo para el uso de los VANT. Los vehículos aéreos no tripulados (VANT) son cada vez más utilizados por los agricultores para una amplia cantidad de actividades agrícolas, incluida la aplicación de plaguicidas, agroquímicos o productos fitosanitarios (CorpLife, 2021).

Las actividades agrícolas involucran una serie de tareas que en muchas oportunidades pasan desapercibidas ante nuestros ojos, pero resultan de suma importancia para lograr alcanzar los objetivos planteados al momento de

poner en funcionamiento la maquinaria humana y tecnología en los cultivos (Briceño et al., 2020). Estas actividades se conocen como logística y son aplicadas a diversas actividades económicas. El objetivo principal de la logística es potencializar cada uno de los parámetros dentro del proceso operacional; para el caso de las actividades agrícolas, se efectúa el análisis desde la adquisición de los insumos, pasando por el monitoreo del cultivo y el seguimiento del fruto al momento de ser comercializado (Afanador y Villalba, 2020). Los drones agrícolas se han evaluado y utilizado para realizar una variedad de procedimientos agronómicos diferentes en lugares de campo y plantación. El mundo agrícola se ha introducido con una variedad de implementos, artilugios, máquinas automáticas, nuevas especies de cultivos, cultivos mejorados y métodos para suministrar insumos, como nutrientes del suelo y agua o aquellos que controlan enfermedades y plagas.

## Revisión de literatura

El uso de drones en la agricultura colombiana es una tecnología emergente que ha despertado el interés de muchos productores del campo. La aplicación de drones en la agricultura colombiana puede brindar diversas ventajas, como la optimización del uso de insumos, la reducción de costos y la mejora de la precisión en la toma de decisiones (Pedraza, 2017). El marco teórico para evaluar la factibilidad de la incorporación de tecnología en actividades del campo se puede dividir en tres aspectos claves: la tecnología de los drones, la agricultura colombiana y el contexto normativo.

En cuanto a la tecnología de los drones, es importante evaluar el estado actual de la tecnología y cómo se puede aplicar en la cadena de valor de los cultivos (Pino, 2019). Se deben considerar aspectos como la duración de la batería, la capacidad de carga, la precisión de los sensores y la capacidad de vuelo autónomo. Además, se deben evaluar los costos de adquisición, operación y mantenimiento de estos aparatos. En cuanto a la agricultura colombiana, se deben evaluar las necesidades y desafíos específicos de los productores agrícolas. Es importante comprender los cultivos predominantes, las prácticas agrícolas comunes y los desafíos específicos que enfrentan los agricultores colombianos. También se deben considerar aspectos como la topografía y la accesibilidad de la tierra. Finalmente, se debe tener presente el contexto normativo en Colombia. Es importante evaluar la reglamentación actual en cuanto al uso de drones en la agricultura y los requisitos legales para operar estos equipos en el país, sin dejar de lado las posibles limitaciones en cuanto a la privacidad y la seguridad de los datos recopilados por los drones. Por otra parte, la evaluación de la factibilidad del uso de tecnología en el campo requiere un análisis cuidadoso de las variables que se involucran en el proceso,

las cuales van de la mano del contexto normativo. Si se implementa de manera efectiva, la aplicación de agricultura de precisión puede brindar beneficios significativos tanto para los productores agrícolas como para el país en general.

La mejora de la viabilidad del uso de tecnología en la agricultura colombiana ha sido significativa en los últimos años. Con los avances tecnológicos, los drones se han convertido en una herramienta cada vez más popular para los agricultores que buscan mejorar su rendimiento y eficiencia (Perilla y Oyola, 2018). Esta técnica permite un seguimiento más preciso de los cultivos y puede identificar posibles anomalías antes de que se conviertan en problemas graves. Como resultado, los agricultores pueden tomar decisiones más informadas y actuar antes, lo que se traduce en un aumento de la productividad y la rentabilidad (Pardo et al., 2023). Los drones están demostrando ser un activo valioso en la industria agrícola y se espera que desempeñen un papel crucial en el futuro de la agricultura.

Los cambios en el campo colombiano son innegables. Los drones tienen el potencial de revolucionar el sector mejorando la eficiencia, reduciendo los costos y aumentando los rendimientos. A través de imágenes aéreas, pulverización de precisión y monitoreo de cultivos, estos equipos pueden proporcionar información valiosa que antes era imposible de obtener. Mientras la agricultura sigue enfrentándose a numerosos retos, como el cambio climático y la seguridad alimentaria, la adopción de la agricultura de precisión podría ser la clave para encontrar soluciones innovadoras (Caviedes, 2018). Está claro que los drones no son solo una tendencia, sino una mejora necesaria para el futuro de la agricultura.

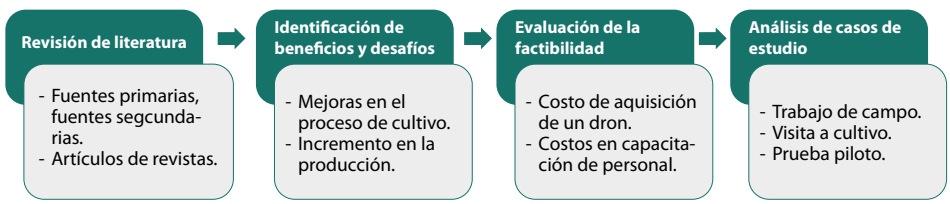
Los agricultores pueden utilizar la agricultura de precisión para controlar la salud de los cultivos, identificar infestaciones de plagas y evaluar la eficacia de los sistemas de riego. El uso de drones en la agricultura está aún en sus primeras fases, pero no cabe duda de que puede reportar importantes beneficios a los agricultores y al sector en su conjunto (Eguren y Castán, 2011). Con la capacidad de supervisar los cultivos, identificar las áreas que requieren atención e incluso ayudar en la fumigación de los cultivos, los drones tienen el potencial de revolucionar la forma en que los agricultores abordan su trabajo. A medida que la tecnología siga avanzando, podemos esperar ver mejoras aún mayores.

## Metodología

El proceso de construcción de este proceso investigativo contó con un modelo metodológico mixto, iniciando con un enfoque cuantitativo, el cual permitió efectuar una revisión detallada de las características que conforman el proceso

de cultivo del plátano, iniciando en su siembra, pasando por el seguimiento del cultivo y finalizando con la recolección de la cosecha. Para elaborar un análisis más detallado del tema, se efectuó un enfoque cuantitativo, el cual contempla la revisión de los beneficios que ofrece la incorporación de la agricultura de precisión dentro de la cadena de valor del plátano, mejorando su productividad, manejo de herbicidas, aumento de la productividad y algunas otras variables de consideración en el proceso (Afanador y Villalba, 2020). Es necesario adherirse a una metodología adecuada para recolectar información relevante y presentarla de manera clara y objetiva. La siguiente es una posible metodología para resolver este problema:

**Gráfico 1. Diseño metodológico de la investigación**




Revisión de literatura: se efectuó una revisión exhaustiva de la literatura disponible sobre el uso de drones en la agricultura, teniendo presente en el proceso la revisión de fuentes primarias, orientadas a proyectos desarrollados en la zona agrícola del Departamento del Meta, donde se encuentra nuestro espacio de trabajo. En esta etapa, se pueden consultar bases de datos secundarias, teniendo presente la revisión de trabajos de investigación en la línea de la tecnología, agricultura de precisión, revistas científicas, disertaciones y otros recursos.

Identificación de beneficios y desafíos: luego de recopilar información relevante, es necesario identificar los beneficios y desafíos asociados con el uso de drones en el cultivo de plátano (Briceño et al., 2020). Los beneficios incluyen reducción de costos, optimización del uso de recursos, detección temprana de enfermedades, entre otros. En cuanto a los problemas, podemos mencionar la necesidad de contar con personal capacitado para operar drones, autonomía de vuelo limitada, entre otros.

Evaluación de factibilidad: es importante evaluar si es económicamente factible usar drones en el cultivo de plátano. En esta etapa, se deben analizar los costos asociados al uso de tecnología, la compra de equipos, capacitación

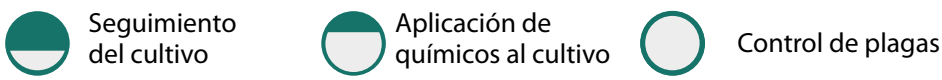
del personal, costos de mantenimiento y otros. Estos costos también deben sopesarse frente a los beneficios esperados para determinar la rentabilidad del uso de drones en los cultivos.

Análisis de casos de estudio: además de la información obtenida en la revisión bibliográfica, se efectuó un análisis de casos de estudio de cultivadores de la zona que han utilizado drones en sus cultivos. Esto proporcionará información de primera mano sobre los beneficios y desafíos en la producción de plátano, así como también identificar las estrategias utilizadas para maximizar los beneficios.

## Tipo de variables

Según los resultados del proceso de investigación, las variables a considerar en la incorporación de agricultura de precisión en cultivos de plátano van orientadas a variables agronómicas. El uso de drones se ha estudiado en cuanto a su capacidad para evaluar variables como la densidad de la plantación, la altura de la planta, el tamaño de la fruta y la salud de la planta en general (Eguren y Castán, 2011) También se ha investigado la utilidad de los drones como técnica de fumigación en plantaciones de banano (Pedraza, 2017). Además, se ha considerado que la agricultura de precisión por medio de drones es la forma más adecuada para implementar el uso de agroquímicos de manera eficiente (CorpLife, 2021).

**Gráfico 2. Identificación de variables**




## Instrumento

Para recolectar información sobre la factibilidad del uso de drones en la agricultura colombiana, se diseñó un instrumento que contemplara las siguientes áreas:

- **Conocimiento del uso de drones:** esta sección del instrumento buscó medir el grado de conocimiento que tienen los agricultores colombianos sobre el uso de agricultura de precisión.

Para el desarrollo de esa actividad, se aplicó una encuesta a pobladores de la zona, quienes aportaron sus conocimientos en el tema para lograr efectuar el levantamiento de la información.

- **Disponibilidad de recursos para adquirir drones:** en esta sección del instrumento, se buscó conocer si los agricultores del Departamento del Meta cuentan con los recursos para adquirir drones.

Durante el desarrollo de esta etapa de trabajo, se efectuó un proceso de capacitación a los pobladores con el objetivo de dar a conocer los atributos que ofrece la agricultura de precisión en diferentes aspectos de la agricultura nacional; el objetivo de la actividad es que los pobladores conozcan los avances tecnológicos que se encuentran disponibles y la forma en la que ellos podrían formar parte de esos beneficios.

- **Beneficios del uso de drones:** en esta sección del instrumento, se buscó medir si los agricultores colombianos conocen los beneficios del uso de drones en la agricultura.

Para ello, se realizó una prueba de campo donde se efectuaron una serie de vuelos con el dron de manera que los pobladores lograran conocer las características del equipo, las aplicaciones que ofrece y los costos que implica la adquisición de la herramienta, así como los beneficios que puede ofrecer la incorporación de esta tecnología dentro de sus actividades cotidianas.

### *Caso de estudio: cultivos de plátano en el municipio de Castilla La Nueva del Departamento del Meta*

El municipio de Castilla La Nueva se encuentra ubicado en la región de la Orinoquia colombiana, en la parte central del Departamento del Meta. El municipio limita al norte con el municipio de San Juan de Arama, al sur con el municipio de El Castillo, al oriente con el municipio de Puerto Gaitán y al occidente con el municipio de Puerto López. Tiene una superficie de 1.600 kilómetros cuadrados y su relieve es predominantemente llano, con algunas zonas de colinas en la parte oriental del municipio. El municipio está atravesado por el río Meta, que es el principal afluente del río Orinoco (MinAgricultura 2021). Se caracteriza por ser un municipio rural, con una población de aproximadamente 15.000 habitantes. El municipio se encuentra ubicado en la región de la Orinoquia colombiana y su economía se basa principalmente en la agricultura, la ganadería y la pesca (DANE, 2018). La imagen 1 muestra un gráfico de la división geográfica del municipio de Castilla La nueva, donde se pueden visualizar las veredas que lo conforman, logrando establecer su importancia dentro del proceso de investigación que se desarrolla.

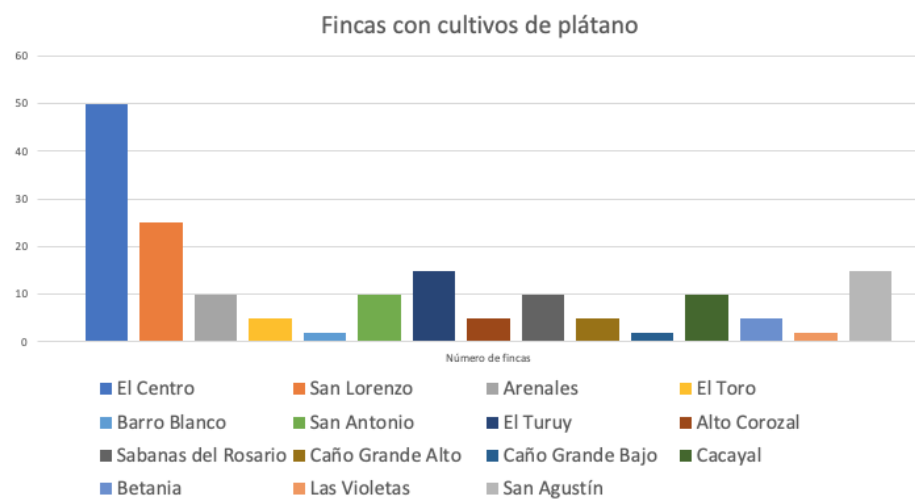
**Imagen 1. Mapa geográfico del municipio de Castilla La Nueva**




*Fuente: datos.gov.co.*

Una vez delimitada el área de estudio, se procedió a realizar un análisis del número de predios que cultivan plátano en la zona, esto con la finalidad de tener claridad en la población y la muestra que será utilizada para el levantamiento de la información. Para ello, se elaboró un gráfico que presenta el número de fincas que tienen cultivos de plátanos en el municipio y donde se puede incorporar agricultura de precisión para mejorar sus actividades y, por consiguiente, su productividad.

**Gráfico 3. Número de fincas que tiene cultivos de plátano en el municipio de Castilla La Nueva**



De acuerdo con el gráfico anterior, se puede constatar que el municipio cuenta con un total de 171 fincas productoras de plátano, por lo que para el proceso de investigación se realizará una revisión de las actividades en los sectores San Lorenzo y El Centro, los cuales representan el 43,85 % del total de la población objeto de estudio. Luego de tener identificada la muestra, se realiza un análisis de la cantidad de cultivos de plátano existentes en cada predio, esto con el objetivo de fortalecer la selección de la muestra utilizada en el análisis de la información.

**Gráfico 4. Número de cultivos de plátano por predio**




El gráfico número 4 permite evidenciar que las dos veredas con mayor cantidad de cultivos son las veredas de San Lorenzo y El Centro, razón por la cual se procedió a realizar el levantamiento de la información en esas zonas.

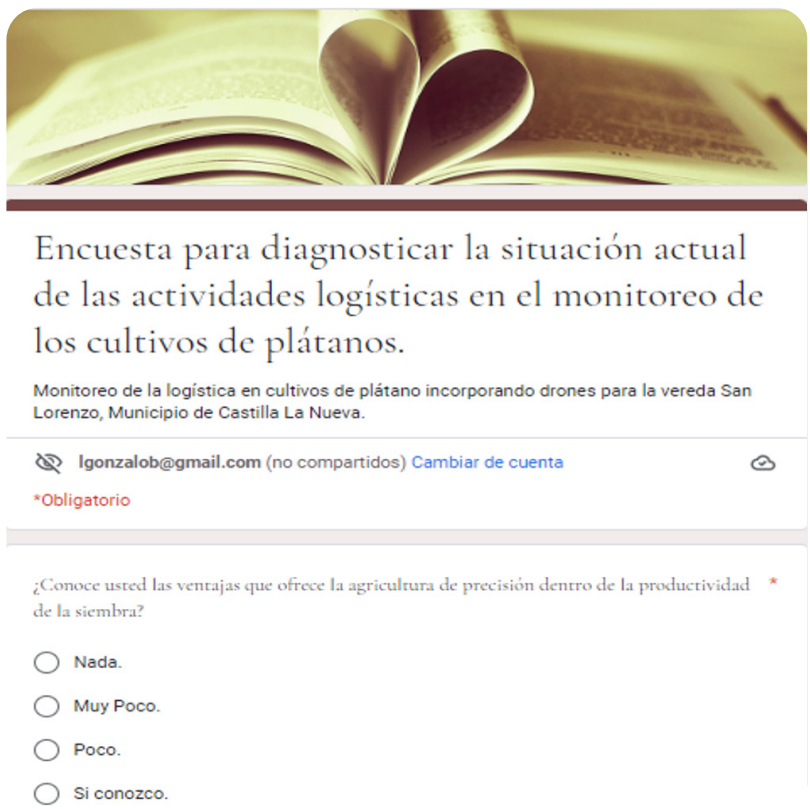
Cabe destacar que, durante el proceso de recolección de información, se realizaron recorridos por todas las zonas del municipio, con el objetivo de conocer de primera mano la situación actual en la que se desarrollan las actividades.

***Resultados: diagnóstico de la situación actual de las actividades logísticas en el monitoreo de los cultivos de plátano***

El proceso investigativo se desarrolló dentro de un ambiente repleto de retos y nuevas experiencias, teniendo presente que los habitantes del municipio d Castilla La Nueva no cuentan con tecnología de punta dentro de sus actividades cotidianas. Teniendo esa variable en consideración, se propuso un

modelo de investigación basado en tres fases, iniciando con la identificación de la situación actual en la que se desarrollan las actividades logísticas para el cultivo de plátano en el municipio de Castilla La Nueva del Departamento del Meta. Esta fase contó con la aplicación de un instrumento de recolección de información primaria, por lo que se aplicó a la población objeto de estudio una encuesta de preguntas cerradas, las cuales se orientaron a conocer el nivel de conocimiento que se tiene sobre los beneficios de la puesta en funcionamiento de la agricultura de precisión en los cultivos de plátano. La población a la que se aplicó la herramienta estuvo constituida por 150 cultivos ubicados en San Lorenzo y El Centro, quienes dentro de sus predios tienen cultivos de plátanos y que en oportunidades los combinan con otros cultivos, lo que nos permite ampliar nuestro conocimiento a futuras investigaciones que permitan continuar analizando los beneficios de la incorporación de tecnología a las actividades agrícolas. La imagen 2 muestra un modelo de las preguntas que formaron parte de la encuesta que se aplicó.

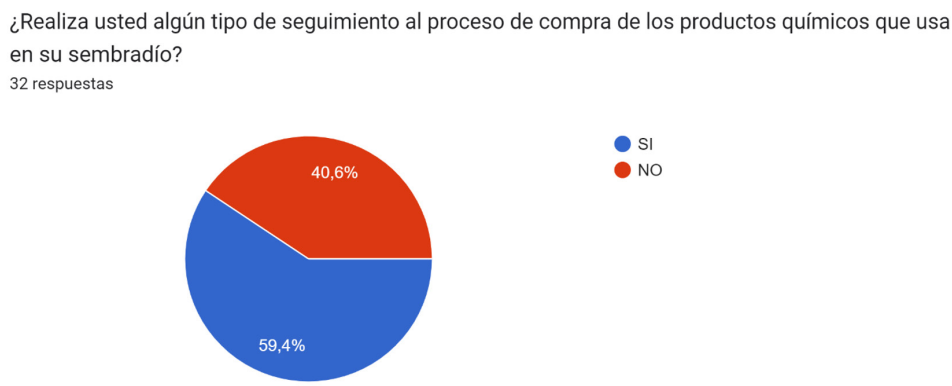
**Imagen 2. Encuesta para diagnosticar la situación actual de los cultivos de plátano**



Una vez efectuado el levantamiento de la información, se realizó un análisis de las respuestas obtenidas para poder identificar las falencias que tienen las actividades de monitoreo en los cultivos de plátano.

Es por ello que la imagen 3 nos permite identificar cómo el **59,4 %** de los encuestados manifiestan no realizar ningún tipo de seguimiento a las actividades de compra de productos químicos utilizados en sus cultivos, lo que en muchos casos genera incurrir en gastos innecesarios que pueden afectar la productividad de la cosecha, por otro lado, el **40,6 %** de los encuestados manifiesta llevar un seguimiento de las compras de productos químicos que son utilizados en sus cultivos, esto nos permite identificar una oportunidad de mejora, la cual intenta organizar a los agricultores.

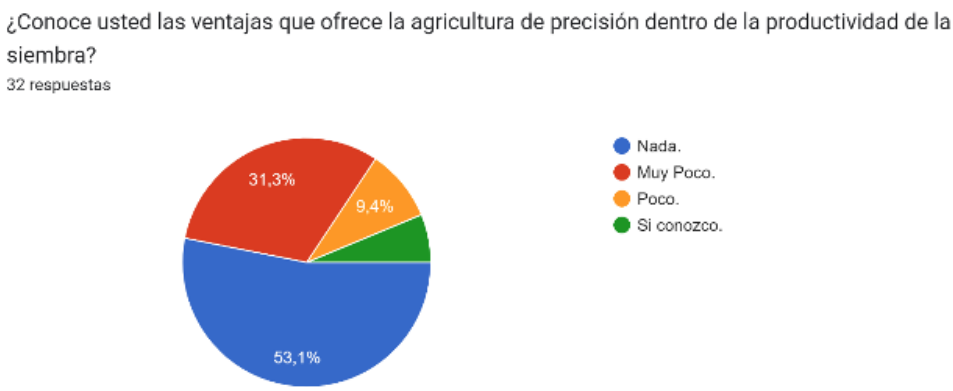
**Imagen 3. Seguimiento al proceso de compra de productos químicos**




Con la propuesta de seguimiento al proceso de compras, se procedió a conocer la opinión que tienen los agricultores sobre la incorporación de tecnología a las actividades que forman parte del proceso de cultivo de plátano, obteniendo una respuesta que constituye el **53,1 %** de los encuestados, quienes manifiestan no tener información correspondiente a los beneficios que ofrece la tecnología en las actividades agrícolas; en otro ámbito de análisis, se encuentra el **46,9 %** de los encuestados, quienes manifiestan conocer de algún modo lo que implica revolucionar la agricultura mediante la aplicación de tecnología.

Esto permite generar una matriz de mejoras, las cuales van orientadas a la formación de los agricultores en temas correspondientes a la agricultura de precisión, beneficios, modo de aplicación, resultados, entre otros, lo que permitirá efectuar modificaciones en la productividad de los cultivos y la incorporación de estas tareas a otros rubros de producción. En la imagen 4 se puede evidencia el comportamiento de las repuestas analizadas.

**Imagen 4. Ventajas que ofrece la agricultura de precisión en la productividad del cultivo**




***Realizar un seguimiento de las redes de valor en los cultivos de plátano del municipio de Castilla La Nueva***

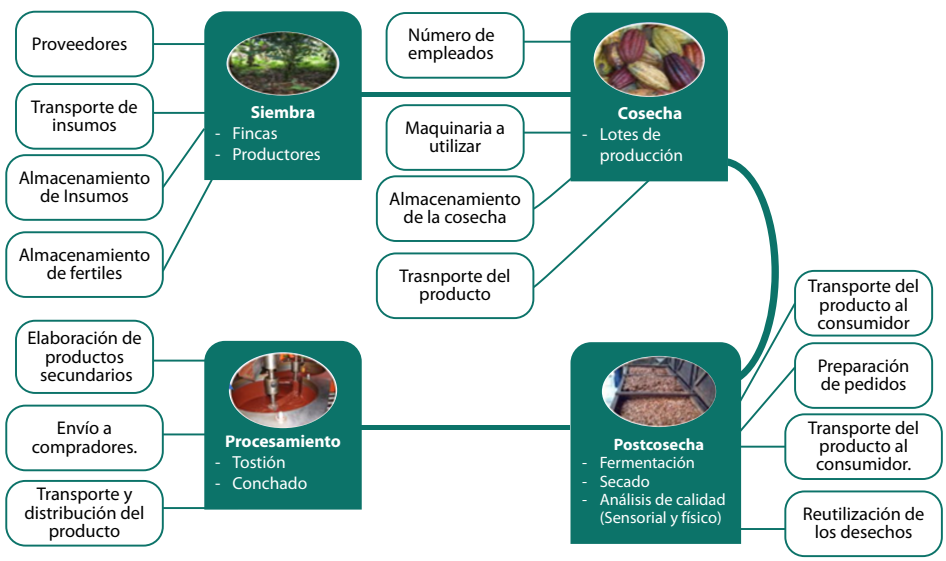
La logística forma parte primordial dentro del desarrollo de los cultivos de plátano; es por ello por lo que, dentro del proceso de investigación, se efectuó un análisis de las actividades de la cadena de suministro, iniciando con el aprovisionamiento, pasando por la cosecha, para finalizar con el proceso de recolección y distribución del producto. La cadena de suministro del plátano no cuenta con una revisión adecuada de las actividades que se desarrollan a lo interno del proceso y que forman parte importante de la actividad.

**El aprovisionamiento:** cuenta con una serie de tareas que se deben cumplir para obtener una semilla de calidad, que permita asegurar un fruto de primer nivel. Se inicia con la selección del proveedor; este debe ofrecer una semilla cuyas condiciones cumplan con todas las especificaciones para un cultivo sano, pasando por el transporte de la semilla hasta el área de cultivo, proceso que consiste en trasladar la semilla desde el punto de entrega por parte del proveedor hasta el área a utilizar en el cultivo; se debe asegurar que las condiciones iniciales de la semilla se mantengan durante todo el proceso de traslado. Otra actividad a considerar en el proceso es el almacenaje de la semilla. En algunos casos, la semilla se debe almacenar por periodos de tiempo hasta poder realizar la siembra de esta; en el caso de efectuar esta actividad, se debe contar con un espacio adecuado para que la semilla pueda mantener sus condiciones iniciales.

**Cosecha:** una vez que se cuenta con las semillas, el agricultor procede a realizar el proceso de siembra, el cual contempla actividades similares al proceso de aprovisionamiento, por lo que, en caso de ser necesario el traslado de la semilla desde el almacén hasta el cultivo, se debe asegurar que la semilla no sufra modificaciones en sus características. Para el proceso de siembra de los plátanos, el agricultor debe realizar la incorporación al proceso de personal, quienes van a ayudar a la siembra de las semillas, asegurando un proceso 100 % confiable. Luego de transcurrido un tiempo prudente, se debe realizar una fumigación al cultivo, esto con el objetivo de evitar la aparición de plagas y otros elementos negativos para la siembra; en este punto, se logra identificar una oportunidad de mejora con la incorporación de drones para realizar la fumigación del sembradío.

**Postcosecha:** esta parte del proceso, al igual que los anteriores, forma parte importante de la cadena de valor del plátano; sus actividades se asemejan a las ya analizadas y se debe tener presente que el nivel de manipulación del producto, desde su recolección, pasando por su almacenamiento y finalizando con su distribución, se debe realizar manteniendo un nivel de calidad elevado, de manera que asegure las condiciones del producto. La imagen 5 ofrece una perspectiva general de la cadena de suministro del cultivo de plátano.

**Imagen 5. Cadena de suministro para cultivos de plátano**



***Efectuar una prueba piloto con el uso de drones para identificar las deficiencias nutricionales en elementos mayores de los cultivos de plátano***

Para completar el proceso de recolección de información, el equipo de trabajo efectuó una prueba piloto; la misma consistió en realizar vuelos con el dron para tomar lecturas de las condiciones en las que se encontraba el cultivo analizado. El cultivo analizado contaba con una extensión de 10 hectáreas y media, con una capacidad de 2.100 plantas por hectárea, para un total de 22.000 plantas distribuidas en todo el predio.

La imagen 6 nos muestra una panorámica aérea del cultivo, logrando realizar tomas programadas de algunos puntos para poder analizar el estado actual del terreno.

**Imagen 6. Imagen aérea del cultivo**



*Fuente: imagen tomada por el dron.*

La actividad contó con la presencia del dueño del cultivo y el equipo investigador, quienes realizaron tomas en diferentes puntos del cultivo, las cuales permiten obtener una panorámica más amplia de las condiciones nutricionales en las que se encuentra el terreno y las mejoras que se pueden proponer para mejorar la productividad.

**Imagen 7. Vista aérea de las condiciones del terreno donde se encontraba el cultivo**



*Fuente: imagen tomada por el dron.*

## Conclusiones

Tras una exhaustiva investigación y análisis, se ha determinado que la viabilidad del uso de drones en la agricultura colombiana es muy prometedora. El potencial de mejora en el rendimiento y la eficiencia de los cultivos es significativo, pues el uso de agricultura de precisión puede reducir drásticamente el tiempo y la mano de obra necesarios para tareas como la supervisión de los cultivos y la aplicación de pesticidas. Con el rápido avance de la tecnología y el aumento de la demanda de prácticas agrícolas sostenibles, la integración de drones en la agricultura colombiana puede ser un cambio de juego.

Tomando en consideración la factibilidad del uso de mejoras en las actividades agrícolas, se puede pronosticar una perspectiva prometedora para mejorar el rendimiento y la eficiencia de los cultivos. Con el auge de la tecnología, los drones son cada vez más accesibles y rentables, lo que los convierte en una opción atractiva para los agricultores. A través de las imágenes recolectadas por estos equipos, los agricultores pueden supervisar los cultivos e identificar rápidamente las áreas que requieren atención, lo que les permite tomar las medidas necesarias con prontitud (Henrríquez et al., 2018). Además, el uso de drones puede reducir significativamente la necesidad de mano de obra y los gastos asociados a las prácticas agrícolas tradicionales. En esencia, estas nuevas formas de trabajo dentro de la agricultura pueden suponer una mejora significativa de la productividad y de los márgenes de beneficio de los agricultores.

La viabilidad del uso de drones en la agricultura colombiana es innegable. Con su capacidad para realizar estudios aéreos, controlar la salud de los cultivos e incluso distribuir pesticidas, los drones han demostrado ser una herramienta indispensable para los agricultores que buscan mejorar sus rendimientos y beneficios. A medida que la tecnología sigue avanzando y la normativa se hace más laxa, podemos esperar ver una adopción aún más generalizada de la tecnología en la agricultura, lo que conducirá a mejoras significativas en la calidad y cantidad de los cultivos.

El potencial de mejora en la supervisión de cultivos, la optimización del rendimiento y el control de plagas es inmenso. La capacidad de identificar y responder rápidamente a los problemas en tiempo real puede cambiar las reglas del juego para los agricultores. Con la inversión y la formación adecuadas, los drones pueden ofrecer una solución rentable y eficaz a los retos a los que se enfrenta la industria agrícola. No cabe duda de que los drones son el futuro de la agricultura y debemos adoptar esta tecnología para garantizar un crecimiento sostenible a nuestros agricultores.

## Referencias bibliográficas

Afanador, J. & Villalba, F. (2020). Sistemas logísticos sostenibles en redes de valor. Primera edición. Vol. 1. Fundación Universitaria Panamericana - Compensar. https://repositoriocrai.ucompensar.edu.co/handle/compensar/4940

Baldoceda, A. (2012). Propuesta de mejora de los procesos de planificación y desarrollo de sistemas en una empresa de soluciones tecnológicas. Trabajo de suficiencia profesional, Universidad del Pacífico. https://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/3223/BaldocedaAngie_Tesis_Licenciatura_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Briceño, L. & Ospina, D. (2023a). Aplicación de la agricultura de precisión para mejorar las actividades de la cadena de valor en cultivos de plátano. Editorial TEINCO. https://www.researchgate.net/profile/Leonel-Gonzalo-Briceno-De-Los-Santos/publication/371005035_Capitulo_de_investigacion_sobre_cultivo_de_platano/links/646e3de8cde97a39292d3e36/Capitulo-de-investigacion-sobre-cultivo-de-platano.pdf

Briceño, L. & Ospina, D. (2023b, mayo). "Aplicación de la agricultura de precisión para mejorar las actividades de la cadena de valor en cultivos de plátano". V Congreso Internacional de Investigación TEINCO 2022. La Ciencia, Tecnología y Arte al Servicio de la Vida, VI, 47.

Briceño, L., Patiño, Y. & Barbosa, F. (2020). Redes de valor del sector ecoturístico, caracterización del municipio de Vista Hermosa, Meta. Fundación Universitaria Panamericana - Compensar. https://repositoriocrai.ucompensar.edu.co/handle/compensar/4940

Caviedes, M. (2018, agosto). "El banano sigue abriéndose a nuevas áreas comerciales". El Tiempo, 1(1). https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/el-banano-sigue-abriendose-a-nuevas-areas-comerciales-261202

CropLife (2021, enero). Procedimiento operativo estándar para la aplicación de plaguicidas con drones. CropLife Latin America. https://www.croplifela.org/es/actualidad/articulos/uso-de-drones-en-la-agricultura#:~:text=Los%20drones%2C%20o%20Veh%C3%ADculos%20A%C3%A9reos%20No%20Tripulados%20%28VANT%29%2C,irrigaci%C3%B3n%2C%20y%20la%20aplicaci%C3%B3n%20de%20plaguicidas%2C%20entre%20otros

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2018). . Colombia - Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) 2018 (dane.gov.co).

Eguren, M. & Castán, J. (2011). La cadena de valor bajo un enfoque sistémico y sus implicaciones en el análisis de la creación de valor en la empresa. Universitat de Barcelona. Facultat d'Economia i Empresa. https://www.researchgate.net/publication/282979618_La_cadena_de_valor_bajo_un_enfoque_sistemico_y_sus_implicaciones_en_el_analisis_de_la_creacion_de_valor_en_la_empresa

García, R. & Escobar, J. (2016). Caracterización de las problemáticas de la cadena de abastecimiento. 11. http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v83n198.44532

Guerrero, J. (2015). Sistema de visión para agricultura de precisión: identificación en tiempo real de líneas de cultivo y malas hierbas en campos de maíz. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Informática. extension://elhekieabhbkpmcefcoobjddigjcaadp/https://eprints.ucm.es/id/eprint/30145/1/T36062.pdf

Henrríquez, C., Guzmán, J. & Montes, B. (2018, mayo). Utilización de drones para la evaluación de diferentes variables agronómicas en el cultivo de banano. https://www.researchgate.net/publication/325828549

Hirsholmen (2023, marzo). Nuestra propia producción de banana orgánica. https://hhk.as/es/produccion-propia-de-banana/

Martínez, R. (2017). Respuesta económica del cultivo de banano al riego por goteo subterráneo. 5. https://rcta.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/672

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2021, 30 de junio). Registro de cultivos de plátano en el municipio Castilla La Nueva, Meta. Cifras sectoriales. (minagricultura.gov.co).

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). Mapa delimitación de las veredas del municipio Castilla La Nueva, Meta. Datos Abiertos Colombia.

Monsalve, S. (2021). Los drones, una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. Tesis de grado, Universidad de Antioquia. https://hdl.handle.net/10495/20593

Montoya, A., Rosales, M., Ruiz, E. & Vargas, M. (2022). Plan de negocio para determinar la viabilidad económica financiera para la comercialización de mermelada de aguaymanto endulzado con cabuya. Tesis de grado. ESAN Graduate School of Business.

Mora, Y. & Herrera, L. (2018). Diagnóstico y caracterización de la cadena productiva del plátano en Casanare. Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/20884/40393734.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pardo, O., Navarro, D. & Moreno, V. (2023). "La competitividad de las empresas manufactureras en Colombia (2008-2018): una estimación de sus factores más influyentes". Revista Facultad de Ciencias Económicas, 30(2), 13. https://doi.org/10.18359/rfce.6181

Pedraza, J. (2017, 3 de octubre). "Nosotros inventamos, los militares lo aprovechan (y viceversa). El País, 1(1). https://elpais.com/elpais/2017/09/07/talento_digital/1504735775_608262.html#?prm=copy_link

Perilla, C. & Oyola, C. (2018). Proyecto de innovación tecnológica para fincas bananeras de C.I. Técnicas Baltime de Colombia S.A. Tesis de grado, Universidad del Rosario. https://repository.urosario.edu.co/items/b5a06b2c-8a2c-4190-9098-71662ab548e0

Pino, E. (2019). Los drones, una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. Idesia (Arica), 37(1), 10. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019005000402

Quintero, S., Giraldo, D. & Orjuela Garzón, W. (2022). "Analysis of the Specialization Patterns of an Agricultural Innovation System: A Case Study on the Banana Production Chain (Colombia)". Sustainability, 14, 8550. https://doi.org/10.3390/su14148550

Robinson, J. & Galán, V. (2011). Plátanos y bananas. Mundiprensa. https://books.google.com.co/books?id=mAv3EQAcgZ8C&lpg=PP1&hl=es&pg=PA1#v=onepage&q&f=false

# Conclusiones del libro

En el transcurso de este libro, hemos recorrido un emocionante camino a través de la agricultura de precisión aplicada al cultivo de plátano en los Llanos Orientales de Colombia. Cada capítulo ha sido un ladrillo en la construcción de un nuevo paradigma agrícola, donde la tecnología se fusiona con la sabiduría ancestral para cultivar un futuro más prometedor y sostenible.

Iniciamos el recorrido trazando el perfil agrícola de los Llanos Orientales colombianos y su relación con el plátano hartón. Los resultados obtenidos no solo proporcionan una base sólida para comprender el contexto de este cultivo, sino que también destacan la importancia de considerar las condiciones regionales en cualquier estrategia de desarrollo agrícola.

Seguidamente, nos sumergimos en el mundo del suelo, donde la tecnología de teledetección y la inteligencia artificial se convierten en aliados poderosos. Los resultados de este capítulo nos han proporcionado una metodología robusta para caracterizar los suelos, lo que tiene implicaciones significativas en la optimización de la fertilización y el manejo de tierras.

Nuestra exploración de la cadena de suministro en el tercer capítulo arrojó oportunidades de mejora sobre los desafíos y las oportunidades que enfrenta la producción, distribución y comercialización del plátano en Colombia. Los hallazgos resaltan la necesidad de una colaboración más estrecha entre todos los actores de la cadena de valor para mejorar la eficiencia y la calidad del producto.

Dentro del recorrido de análisis, tenemos una evaluación económica comparativa entre la agricultura tradicional y la de precisión. Los resultados demuestran de manera concluyente que la tecnología de precisión no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce los costos, lo que representa un avance significativo en la gestión económica de las explotaciones agrícolas.

Por último, nos sumergimos en un caso de estudio concreto, donde los drones se convirtieron en herramientas esenciales en la producción de plátano. Los resultados revelan cómo esta tecnología puede mejorar el monitoreo, la toma de decisiones y la eficiencia en el campo, brindando una visión valiosa sobre su viabilidad en las explotaciones agrícolas colombianas.

En su conjunto, este libro representa un hito en la investigación agrícola de precisión en Colombia. Cada capítulo es un testimonio del poder de la tecnología y la innovación en la agricultura. Los resultados obtenidos tienen un impacto intelectual significativo al proporcionar conocimientos, metodologías y herramientas que pueden transformar la forma en que cultivamos plátanos y otros rubros en nuestro país.

A medida que concluimos este viaje, es importante destacar que el camino hacia la agricultura de precisión en Colombia está en su infancia. Los desafíos son reales, pero también lo son las oportunidades. La tecnología continuará avanzando y la colaboración entre agricultores, investigadores y la industria será clave para maximizar el potencial de estas innovaciones.

Este libro no marca el final de la historia, sino el comienzo de un nuevo capítulo en la agricultura colombiana. Es un llamado a la acción, a la implementación, a la adaptación y a la creación de un futuro agrícola más sostenible, rentable y próspero para todos los involucrados.

En este libro, nos adentramos en un viaje fascinante a través de la agricultura de precisión y su aplicación en el cultivo del plátano, específicamente en la región de los Llanos Orientales de Colombia.

La agricultura de precisión ha transformado la forma en que cultivamos, cosechamos y administramos nuestras tierras. Colombia, con su biodiversidad y terrenos diversos, no ha sido inmune a esta revolución agrícola. En la última década, ha surgido un movimiento hacia la adopción de tecnologías de vanguardia para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la producción agrícola en el país. Los avances en teledetección, inteligencia artificial y drones han abierto un nuevo horizonte de posibilidades para los agricultores colombianos.

Este libro es una ventana a ese horizonte, una exploración profunda y detallada de cómo la agricultura de precisión y el uso de drones están transformando la industria del plátano en los Llanos Orientales de Colombia y en el resto del país. A través de cinco capítulos cuidadosamente elaborados, nos embarcamos en un viaje de descubrimiento, análisis y reflexión.


***Autores***

Leonel Gonzalo Briceño de los Santos
Daniel Felipe Ospina Cárdenas
Faizully Andrea Barbosa Moreno
Franz Esteban Rodríguez Franky
Óscar Leonardo Herrera Sandoval
Freddy Alexander Díaz González
Duván Ricardo Gamboa Hernández
Juan Camilo Vega Sierra



ISBN: 978-958-792-665-1






compensar | fundación universitaria

EGE