La importancia de la tecnología en la agricultura. Una propuesta para el mejoramiento de la productividad del sector agrícola del municipio de El Santuario, Antioquia.

The importance of technology in agriculture.
A proposal to improve the productivity of the agricultural sector
in the municipality of El Santuario, Antioquia.

Autores Principales:

Juan Pablo Atehortúa Quintero

Estudiante de Ingeniería Industrial, Universidad Católica de Oriente
juan.atehortua4060@uco.net.co

Coautor Corresponsal:

Oscar Mauricio Castañeda Valencia, Msc(c)

Docente e Investigador Universidad, Católica de Oriente
Grupo de Investigación en Ingeniería Multidisciplinar (UCO)
ocastaneda@uco.edu.co

Resumen

El creciente aumento de la población mundial ha incrementado considerablemente la demanda de alimentos, generando muchas presiones sobre la actividad agrícola para aumentar su productividad. No obstante, existe una problemática, y es la constante disminución en la fuerza de trabajo en Colombia y en el mundo. Uno de los factores que impactan negativamente la economía agrícola son la sobreoferta de un mismo producto, los tratados de libre comercio, los aranceles en los insumos agrícolas, los problemas fitosanitarios, el cambio climático y la poca ayuda gubernamental, lo que hace que los agricultores migren a las ciudades, buscando nuevas oportunidades y para mejorar su calidad de vida. En el municipio de El Santuario, la agricultura se practica de forma rudimentaria y sin estrategias de planeación, lo que hace que muchos agricultores presenten pérdidas constantes en sus labores. Inicialmente, se realizó una revisión de la literatura donde se presentan los diferentes desarrollos tecnológicos para aumentar la productividad en el campo y responder eficientemente a las necesidades emergentes. Se exponen los principales obstáculos que tienen los países menos desarrollados para avanzar hacia una implementación tecnológica agrícola. Se hizo uso del diagrama de Pareto para identificar a la zanahoria como el principal producto agrícola cultivado en el municipio. Se diagnosticó el estado de la oferta y la demanda de este producto, con base en el análisis de precios históricos de venta por kilogramo; además, se visualizó y analizó el comportamiento del precio y, con ayuda de los mapas de procesos, se identificaron los recursos e insumos necesarios para la producción de zanahoria. Finalmente, se desarrolló una herramienta en Excel, la cual permite una planeación del cultivo, al integrar los precios históricos y los recursos e insumos utilizados en un ciclo productivo de este producto agrícola; esta puede ser consultada y adaptada para otros cultivos.

Palabras clave

Tecnología en la agricultura; Buenas prácticas agrícolas; Cultivo de la zanahoria.

Abstract

World population has increased and the demand for food has generated many pressures on agricultural activity to increase its productivity. One of the factors that negatively impact the agricultural economy is the oversupply of the same product, free trade agreements, tariffs on agricultural inputs, phytosanitary problems, climate change and little government aid in which farmers migrate to the cities looking for improve their quality of life. In the municipality of El Santuario, agriculture is practiced in a rudimentary way and without planning strategies, which means that many farmers present constant losses in their work. Initially, a review of the literature is carried out where the different technological developments are presented to increase productivity in the field and respond efficiently to emerging needs. Pareto chart was used to identify the carrot as the main agricultural product grown in the municipality. The state of supply and demand for this product was diagnosed based on the analysis of historical sales prices per kilogram, the behavior of the price is visualized and analyzed and with the help of the process maps, the resources and supplies necessary for the production were identified. Finally, an Excel tool is developed, which allows crop planning by integrating historical prices and the resources and inputs used in a production cycle of this agricultural product, which can be consulted and adapted for other crops.

Key words

Technology in agriculture; Good agricultural practices; Carrot cultivation.

Introducción

A lo largo del tiempo, la agricultura ha desempeñado un papel de trascendental importancia en la historia de la humanidad, tanto para su desarrollo económico como social (Bhatia y Rana, 2020). Desde épocas antiguas, los seres humanos han cultivado tierras para obtener una fuente de alimentos, indispensable para su supervivencia, y hasta el día de hoy se sigue dependiendo en gran parte de este sector (Zhai et al., 2020). Sin embargo, los agricultores se deben enfrentar a una difícil decisión al momento de elegir qué sembrar en su cultivo; elección que toman, en el caso de regiones poco desarrolladas tecnológicamente, sin tener en cuenta factores determinantes como la oferta y la demanda, el clima o el tipo de tierra, entre otros elementos, generando un desequilibrio de la producción agrícola, y ocasionando una alta incertidumbre y volatilidad en los precios, escasez o sobreproducción y desperdicios que se traducen, muchas veces, en pérdidas económicas y deserción de la mano de obra rural dedicada a esta labor.

Gran parte de la población rural colombiana depende económicamente de los ingresos provenientes de la agricultura, y según estudios realizados sobre la pobreza, en la publicación "Superando barreras: el impacto del crédito en el sector agrario en Colombia", los hogares más pobres del campo son los que dependen, casi en su totalidad, de los ingresos netamente agrícolas (Echavarría et al., 2018).

Desde una mirada más local, en el Oriente antioqueño, dentro de las actividades del campo, la agricultura ha sido la actividad más importante, ya que más de 71.227 hectáreas en promedio se han dedicado a la producción agrícola durante la primera década de los 2000 pero, actualmente, es común observar propiedades abandonadas y familias desplazadas (Cardona Buitrago, 2016).

Así las cosas, uno de los municipios que ha sido gran productor de hortalizas, leguminosas y cereales es El Santuario, en el cual, desde su poblamiento el 11 de marzo de 1765, sus habitantes se han dedicado a la agricultura. Inicialmente, los agricultores santuarianos no producían para la comercialización, sino para la subsistencia familiar, ya que los terrenos eran agrestes, boscosos y montañosos, además de ser tierras pobres y poco fértiles.

Asimismo, para el año de 1838, cuando El Santuario fue erigido como municipio, los habitantes estaban ligados al trabajo agrícola y dependían exclusivamente de la explotación del suelo, pero sin producir a gran escala; además, los cultivos correspondían a los de clima frío: maíz, papa, frijol, arveja, batata, arracacha, col, zanahoria, entre otros (Quintero et al., 2020). Es de anotar que el trabajo agrícola en El Santuario siempre se ha caracterizado por ser rudimentario y minifundista, aprendido por descendencia familiar y de for-

ma empírica; además, el espíritu religioso de los agricultores santuarianos llenaba esta labor de misticismo.

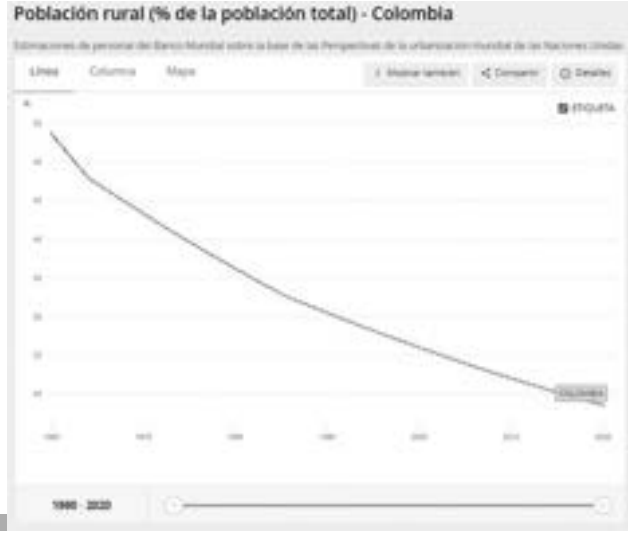
Esa justificación llevaba a tener confianza en que la cosecha sería abundante; así la baja producción no estaría en los problemas del suelo ni en las circunstancias climáticas, sino en la voluntad divina. En la actualidad, se comercializan diariamente entre 320 y 340 toneladas, denotando una reducción de la producción agrícola en más del 48 %, en menos de 20 años (Valencia, 2021).

Esta reducción se da por varios factores, entre ellos el costo de producción en contraposición a la comercialización, la poca planeación para las siembras, y la carencia de herramientas mecanizadas, de nuevas tecnologías y de políticas gubernamentales que creen estímulos con el fin de que las nuevas generaciones encuentren atractivos para la permanencia en el campo.

Sumado a lo anteriormente descrito, la fuerza de trabajo en este sector en Colombia y en el mundo se ha visto reducida, debido a muchos factores que impactan negativamente la economía de estos hogares, como son la sobreoferta de un mismo producto, los tratados de libre comercio, los aranceles en los insumos agrícolas, los problemas fitosanitarios, la deserción, el cambio climático, entre otros (Vargas Gaitán, 2016).

En vista de estas dificultades, la vocación agraria ha ido desapareciendo, al punto de que las fincas se han convertido en pastizales para la labor pecuaria, o simplemente se adaptan como fincas de veraneo, obligando a los campesinos a emigrar para las ciudades y cambiar su vocación de agricultor a comerciante, buscando nuevas oportunidades de mejorar su calidad de vida. En la Figura 1, emitida por el Banco Mundial (s.f.), es posible observar cómo ha disminuido drásticamente el porcentaje de esta población agricultora en el país, pasando de un 53.7%, en 1960, a un 18.57%, en el 2020.

Figura 1
Porcentaje de la población rural en Colombia



Nota. Tomada de Banco Mundial (s.f.).

Las dificultades esbozadas con anterioridad han hecho que la producción se reduzca; además, porque la labor del campo en la región se continúa desarrollando rudimentariamente a punta de azadón y máquina de riego manual ya que no se cuenta con tecnología para una buena planeación de las siembras ni tampoco con una política de Estado que le ayude a los campesinos a minimizar los gastos de producción para que sea rentable el trabajo del campo.

De otro lado, es importante reconocer que, para la reducción de costos en la agricultura, se debe contar con una buena planeación, así se garantizan productos de primera calidad y rotación, y se evita que el terreno esté el menor tiempo posible sin producción, buscando garantizar una mejor forma de comercialización, porque se tienen, con mayor precisión, los tiempos de suministro a los potenciales clientes para cada producto. De esta manera, se alcanzan los objetivos de las siembras y, por ende, se puede mejorar el rendimiento económico.

Por todo lo anterior, se plantea el desarrollo, en Excel, de una herramienta de planeación, que sea de fácil acceso y manejo por parte de los productores agrícolas. Inicialmente, se realiza una investigación que describe la importancia de la agricultura para la subsistencia humana, y la importancia de implementar herramientas tecnológicas que faciliten y aumenten la productividad de estas labores agrícolas. Posteriormente, se identifican los productos que más se producen en el municipio de El Santuario, seleccionando a la zanahoria larga vida como el producto más comercializado.

De esta manera, se quiere aportar a este sector con alto impacto social, pero olvidado por el Gobierno. Además, se busca beneficiar al productor, al darle un cierto grado de certeza con la información suministrada, de que el producto que vaya a sembrar contará con una cosecha equilibrada que supla eficientemente la demanda y que genere buenos ingresos para sus intereses y sostenimiento. Con esto se elevaría la calidad de vida de los agricultores, se incentivaría el trabajo en el campo, se potencializaría la comercialización intermunicipal, al tener una producción equilibrada, y se disminuiría la migración de la zona rural a la zona urbana.

Debido a la escasez de información y la falta de planeación, en cuanto al proceso de algunos productos agroalimentarios en las diferentes veredas del municipio de El Santuario, se pueden presentar varios escenarios con respecto a la oferta y la demanda que generan incertidumbre y que pueden afectar la economía de los agricultores y de las familias santuarianas.

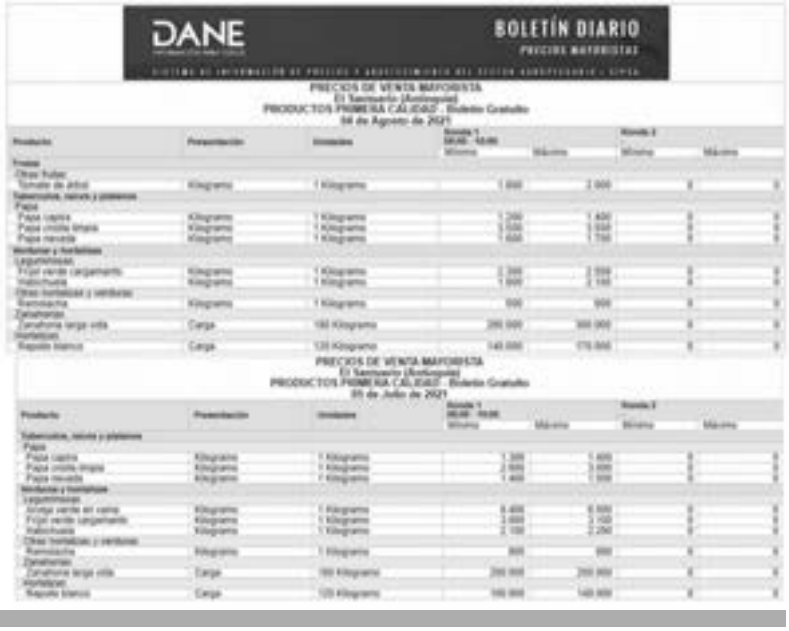
Un primer escenario es cuando hay escasez en la oferta. Cuando hay poca oferta de un producto agrícola, su precio sube considerablemente, lo que, en cierto modo, representa un beneficio económico para el productor agrícola, al generar más ingresos por sus productos vendidos; por otro lado, la canasta familiar de los consumidores finales se ve afectada. El segundo escenario es cuando hay producción excesiva de un mismo producto. Cuando hay una sobre oferta de algún producto agrícola, el producto pierde valor de manera considerable, lo que para la canasta familiar es beneficioso,

pero es un duro golpe para la economía de los agricultores; puede llegar a ser tanta la devaluación del producto que muchos productores se ven forzados a enterrar nuevamente sus cultivos, porque el precio de venta no alcanza a cubrir los costos de la producción, perdiendo el tiempo, los insumos y elementos agrícolas, y la mano de obra que se invirtió en el proceso de producción.

Teniendo en cuenta las estadísticas que presenta el DANE, bajo la investigación del Sistema de Información de Precios del Sector Agropecuario (SIPSA, s.f.), sobre las cotizaciones de los precios de los alimentos agrícolas, se evidencia que las transacciones en las plazas de mercado de las diferentes regiones del país, y específicamente en el municipio de El Santuario tienden a representar un margen bastante amplio entre precios mínimos y máximos de los alimentos agrícolas, en diferentes épocas de cosecha, como se puede evidenciar en la Figura 2, donde se muestra la variación del precio de los diferentes productos que se comercializaron en la plaza de mercado del municipio, en el lapso de julio a agosto de 2021. Es así como se presenta un incremento abrupto del precio de la carga de zanahoria, pasando de $ 200.000 a $ 280.000.

Como se pueden presentar alzas en los precios en períodos cortos, también pueden los precios devaluarse significativamente, afectando así la economía de los agricultores, cuando por falta de información para la planeación, a la hora de la siembra y recolección, hay sobreoferta, impactando desfavorablemente el precio del producto al momento de su venta y, por consiguiente, no supliendo los costos de la producción.

Figura 2
Boletines diarios precios Mayoristas. DANE



Nota. Sistema de Información de Precios del Sector Agropecuario - SIPSA- (s.f.).

El problema se describe sobre la base de que a un agricultor se le hace difícil elegir el producto agroalimentario que debería sembrar, a causa de que no tiene conocimiento sobre cuántos productores están por delante de él sembrando el mismo producto y en qué cantidad; en consecuencia, no tiene la certeza de que su producto al momento de la recolección va a generar los ingresos suficientes para recuperar la inversión. A esto se le suma que la mayoría de los terrenos destinados para la siembra en el municipio de El Santuario son de características minifundistas, toda vez que las fincas no cuentan con grandes extensiones de tierra, además de tener altos grados de inclinación, lo que dificulta el acceso de maquinaria agrícola que facilite todo el proceso de preparación del terreno para la producción.

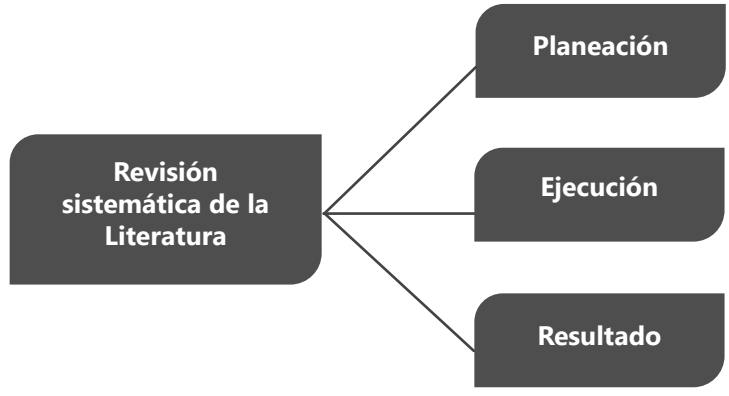
Por tanto, la propuesta que se plantea en este trabajo es construir una herramienta digital amigable que le permita a los campesinos planificar su cultivo en cuanto a los recursos que debe utilizar, además de poder ver en que época del año es más factible que haya una escasez de producción, basados en datos históricos de los precios de los productos. Así se tendrá una mejor planeación en la producción, y de esta forma se podría mejorar la rentabilidad económica.

Materiales y métodos

Revisión sistemática de la literatura

Para la búsqueda de información se recurrió a la metodología de revisión sistemática de la literatura, propuesta por Barbara Kitchenham (2004) Esta consta de las siguientes fases (ver figura 4):

Figura 4
Fases de la Revisión sistemática de la literatura basado en Barbara Kitchenham



*Nota***.** Elaboración propia

Planeación

En esta fase se define una o varias preguntas de investigación que son las que van a encaminar el proyecto; posteriormente, se definen unas ecuaciones de búsqueda con palabras clave que se consideran más relevantes para la búsqueda de la información; y, finalmente, se valida la pertinencia de la información con base en unos criterios de inclusión y exclusión de los resultados de la búsqueda.

Pregunta de investigación

Debido a la escasez de información y la falta de planeación, en cuanto a la producción de algunos productos agroalimentarios en las diferentes veredas del municipio de El Santuario se pueden presentar varios escenarios con respecto a la oferta y la demanda que generan incertidumbre y que pueden afectar la economía de los agricultores y de las familias santuarianas. Según lo anterior, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Por qué es importante la implementación de la tecnología en el campo y cómo desarrollar una herramienta que permita planificar y optimizar la producción de este sector en el municipio de El Santuario?

Ecuaciones de búsqueda

Se formularon tres ecuaciones, y las bases de datos a las que se recurrió para la búsqueda de la información fueron: ScienceDirect, Scopus, Google academic y Sci-Hub. El resultado de la búsqueda permitió encontrar un total de 330 artículos y documentos relacionados con el tema de investigación.

- all (*farming*) and all *(information systems*) and all (*database*) (170 documentos).
- all (database) and all (crop planning) and all (farming) (36 documentos).
- all (farming) and all (diversifications) and all (information system) (124 documentos).

Criterios de inclusión y exclusión

Luego de recopilar los artículos que arrojaron las ecuaciones de búsqueda, se plantearon unos criterios de inclusión y exclusión, los cuales ayudaron a acceder a esa información que realmente era pertinente para la investigación y hacer una depuración de los artículos que no tenían que ver con la temática definida.

Criterios de inclusión

- Material bibliográfico que incluyera conceptos como agricultura, sistemas de información, bases de datos o planeación y diversificación de cultivos.
- Artículos publicados entre 2011 y 2021.
- Artículos en los que se evidenciaran trabajos similares de lo que se buscaba implementar.
- Material que incluyera metodologías para implementar sistemas de información en la labor de la agricultura.

Criterios de exclusión

- Material bibliográfico duplicado.
- Material bibliográfico que no incluyera en su título palabras como agricultura, sistemas de información, bases de datos o planeación y diversificación de cultivos.

.

Material bibliográfico que, en su resumen y palabras clave, no incluyera relación entre las pa-

labras definidas en las ecuaciones de búsqueda. En el transcurso del desarrollo del proyecto se emplearon diferentes herramientas técnicas que, a la luz de la ingeniería industrial, permitieron los diferentes análisis para el cumplimiento del desarrollo de los objetivos. A continuación, se describe cada una de ellas:

El diagrama de Pareto se basa en análisis realizados por Vilfredo Pareto, los cuales determinan que el 80% de las consecuencias de un fenómeno se pueden solucionar con el 20% de sus causas. Este diagrama es una adaptación del histograma tradicional, en donde los datos se ordenan de mayor a menor por su frecuencia. Dentro de lo que se denominan técnicas gráficas de calidad, aparece este diagrama como una de las siete herramientas básicas que se utilizan para solucionar problemas concernientes a la calidad (Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar, 2013).

El procedimiento para elaborar este diagrama consta de los siguientes pasos:

1. Seleccionar aspectos para analizar.
2. Agrupar los datos.
3. Ordenar los datos.
4. Añadir valores porcentuales.
5. Agregar los porcentajes acumulados.
6. Construir el diagrama de Pareto (Izar y González, 2016).

En el desarrollo de este proyecto, el diagrama de Pareto permitió definir el producto agrícola más representativo, en cuanto a su producción en el municipio, demostrando que la mayor parte de agricultores siembra y cosecha este producto.

Por otro lado, el mapa de proceso es un diagrama que permite representar claramente las fases y nexos de un sistema, especificando, en cada proceso, las entradas y salidas, los indicadores y el tiempo de medición para obtener una visión holística y detallada de la relación y las interacciones existentes en cada proceso (Quiroa, 2021). Estos diagramas permitieron, después de su debida investigación, plantear una información clara y precisa de los recursos necesarios que se debían utilizar en un ciclo productivo agrícola.

También, a partir del mapa de proceso, se construyó el diagrama de flujo que consiste en una representación gráfica de una idea, proceso, sistema de información, entre otros, que permite conocer, interpretar y analizar información de forma simple y esquematizada (Rus, 2020).

De otra parte, y para el desarrollo de los objetivos, se planteó el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Intervenir-Mejorar y Controlar); una metodología que pertenece a los principios de *Six Sigma*, con la que se busca mejorar procesos continuamente, persiguiendo siempre la calidad. Corresponde al acrónimo de la secuencia de la metodología: Definir, medir, analizar, mejorar y controlar (Minetto, 2019). Esta metodología está implícita en todo el desarrollo del proyecto:

Definir: Introducción, estado del arte, objetivos.

Medir: Análisis estadístico de las gráficas (Líneas de tendencia, mapa de procesos, diagrama de Pareto).

Análisis: Se utiliza toda la data de las variables intervenidas para la toma de decisiones.

Mejorar: Propuesta de mejora (Herramienta de planeación agrícola).

Implementar: Poner en funcionamiento la propuesta de mejora, teniendo en cuenta y parametrizadas las variables de producción.

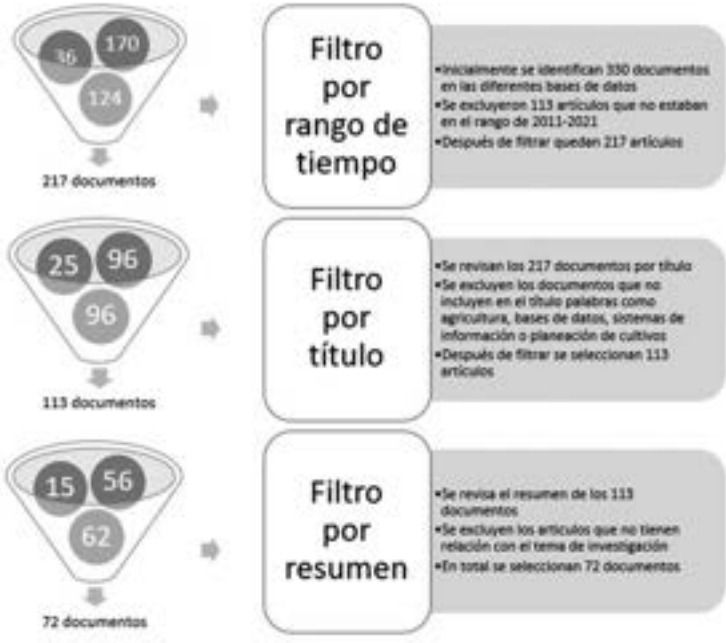
La metodología DMAIC debe llevar a la estandarización del proceso, el cual se entiende como el resultado de elaborar parámetros o normas para realizar procedimientos con características uniformes para la elaboración de un producto o prestación de un servicio (Coll, 2020). Así, se elaboró un procedimiento para el ciclo productivo de un cultivo.

Resultados

Resultados de la Revisión Sistemática de la Literatura

Con un enfoque más claro de la investigación a realizar, se procedió con la búsqueda en la literatura, basada en los procedimientos de la fase de planeación. El resultado de la búsqueda arrojó 330 artículos con los que se buscó dar respuesta a la pregunta de investigación. Posteriormente, se procedió con la depuración de estos artículos (ver Figura 5), basados en los criterios de inclusión y exclusión. Al finalizar esta etapa, se seleccionaron un total de 72 documentos utilizados para realizar el estado del arte de este documento.

Figura 5
Selección y depuración de los artículos



Nota. Elaboración propia.

Síntesis de la información

En esta fase se realizó la síntesis de la información encontrada.

Informe

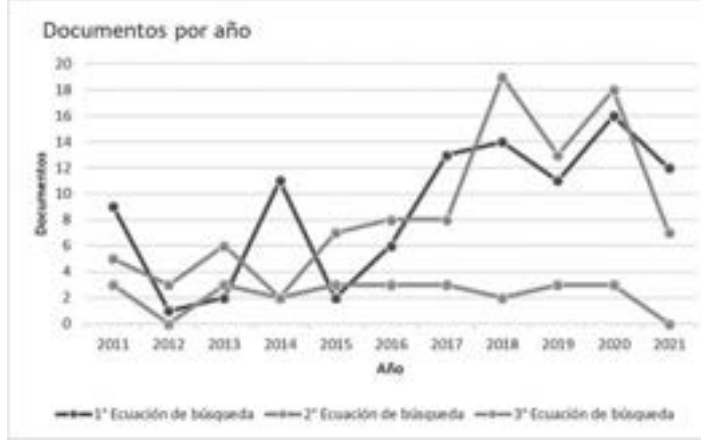
Después de efectuar el análisis de la información, se realizó un informe de la investigación; además, se encontró que este tema de investigación ha despertado el interés de muchos investigadores. A continuación, es posible ver el resultado de la búsqueda por cada ecuación definida.

Las figuras que se muestran, relacionadas con las ecuaciones de búsqueda, se extrajeron o se elaboraron con referencia en la base de datos SCOPUS.

En la Figura 6, para la primera ecuación de búsqueda "all (*farming*) and all (*information systems*) and all (*database*)", es posible evidenciar que, entre 2011 y 2021, que fue el intervalo que se tomó en cuenta, se presentó un crecimiento en las publicaciones de artículos relacionados con agricultura, sistemas de información y bases de datos, con excepción de los años 2012, 2013 y 2015, en los cuales la cantidad de artículos fue pobre. Asimismo, se vio un aumento en el período que comprende entre 2017 y 2021, lo que deja entrever que actualmente hay un interés particular por este tema de investigación.

De planeación de cultivos, bases de datos y agricultura, es poco lo que se ha escrito durante este mismo período, pero aun así se ha mantenido constante al encontrar al menos 3 publicaciones por año, como se evidencia en la tendencia de la segunda ecuación de búsqueda. Sobre agricultura, diversificación y sistemas de información, palabras clave correspondientes a la tercera ecuación de búsqueda, se observó un crecimiento notable entre 2017 y 2021, teniendo en cuenta que, al momento de realizar la búsqueda, no había finalizado aún el año 2021, por lo que es muy probable que el número de publicaciones aumente.

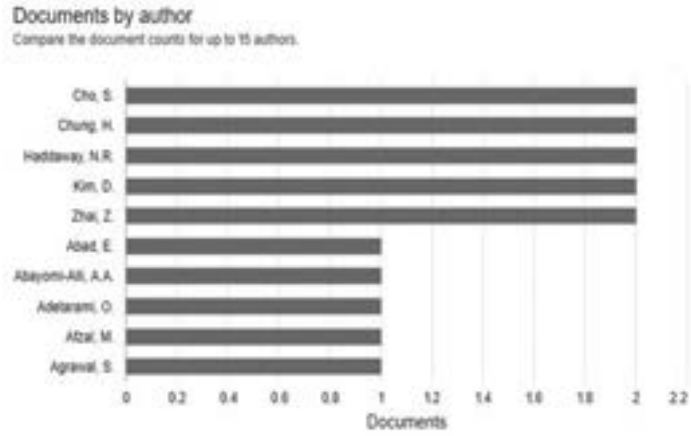
Figura 6
Documentos por año



Nota. Elaboración propia.

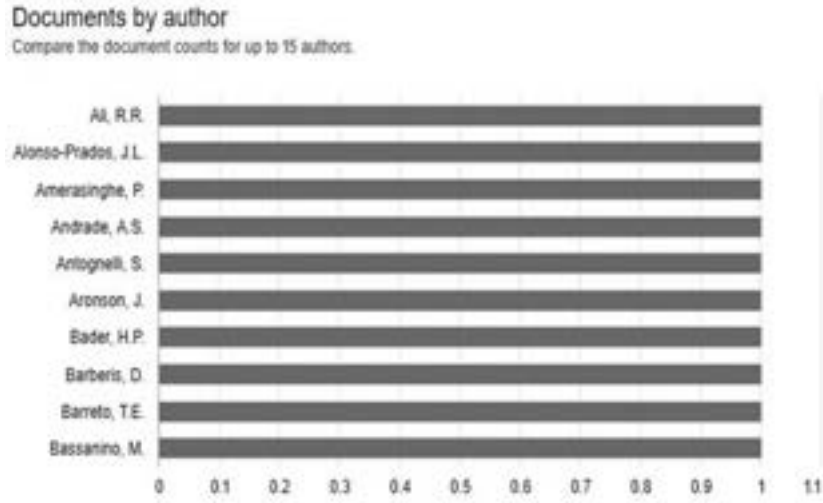
Respecto a la temática de los artículos, se encontró que la relación entre agricultura y sistemas de información, con diversificación y bases de datos, es el tema del que más se ha escrito, con dos artículos por autor, como se puede apreciar en las Figuras 7 y 9, correspondientes a las ecuaciones de búsqueda 1 y 3, respectivamente. Para la segunda ecuación solo se ha publicado un documento por autor (Figura 7 y 8).

Figura 7
Documentos por autor, 1° ecuación



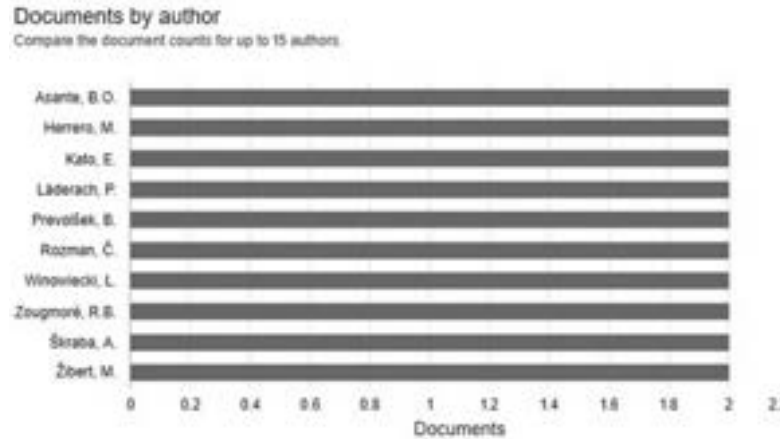
Nota. Adaptada de Scopus.

Figura 8
Documentos por autor, 2° ecuación



Nota. Adaptada de Scopus.

Figura 9
Documentos por autor, 3° ecuación

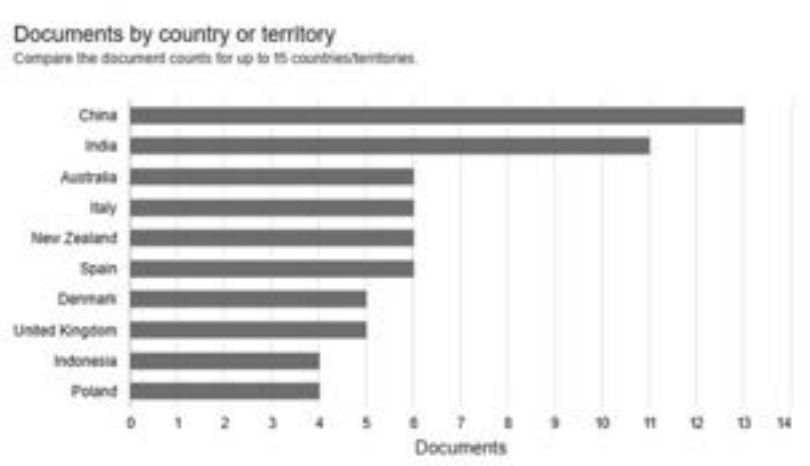


Nota. Adaptada de Scopus.

Los países que más han investigado y escrito en el período de tiempo seleccionado son Estados Unidos, con 23 documentos, y China con 21; países que son potencia a nivel mundial, y en los que el desarrollo tecnológico es mucho más avanzado (Figura 10, 11 y 12).

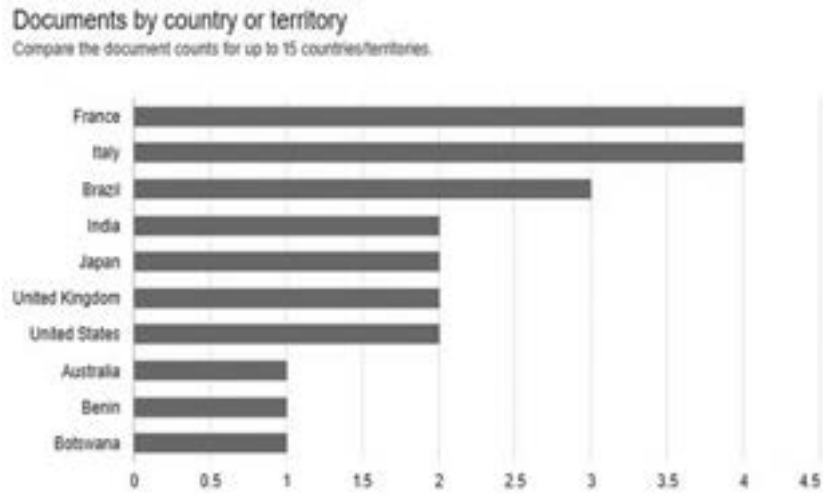
También se pudo evidenciar que predominan los países asiáticos y europeos con una escaza participación del resto de países del continente americano. Brasil es el segundo país de América que ha aportado a la investigación, pero con una diferencia muy grande con Estados Unidos. Esto puede evidenciar el poco desarrollo tecnológico, apoyo e inversión para el sector de la agricultura en estas regiones del continente.

Figura 10
Documentos por país, 1° ecuación



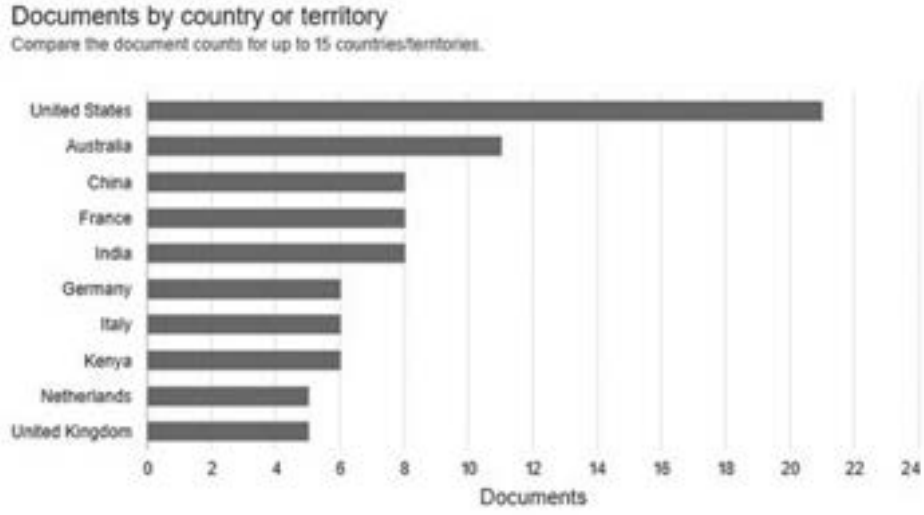
Nota. Adaptada de Scopus.

Figura 11
Documentos por país, 2° ecuación



Nota. Adaptada de Scopus.

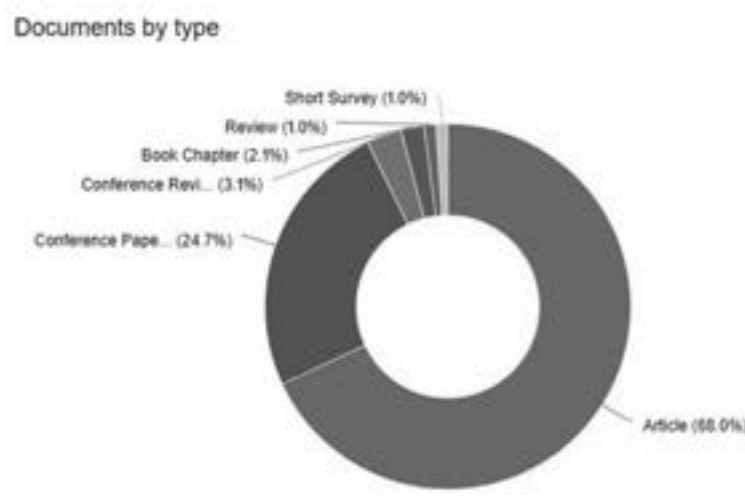
Figura 12
Documentos por país, 3° ecuación



Nota. Adaptada de Scopus.

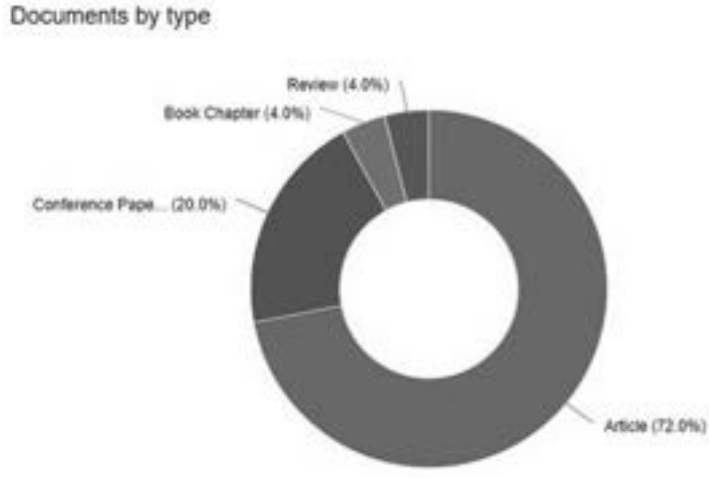
Finalmente, lo que más se ha escrito son artículos de investigación con un porcentaje bastante amplio, con respecto a los temas tratados; las Figuras 13, 14 y 15 arrojan resultados por encima del 68%, predominando este tipo de documento sobre otros como revistas, capítulos de libros o conferencias.

Figura 13
Documentos por tipo, 1° ecuación



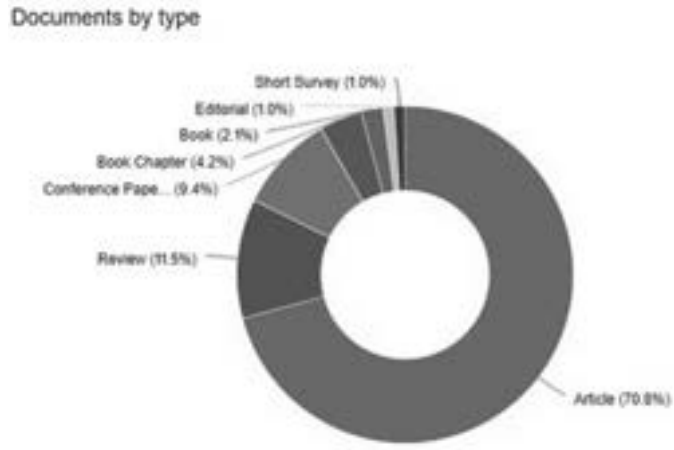
Nota. Adaptada de Scopus.

Figura 14
Documentos por tipo, 2° ecuación



Nota. Adaptada de Scopus.

Figura 15
Documentos por tipo, 3° ecuación

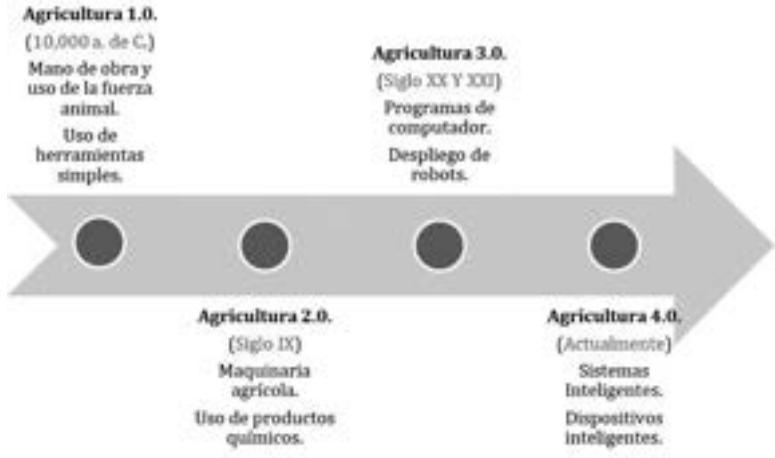


Nota. Elaboración propia.

Importancia de la implementación de la tecnología en la agricultura

La práctica de la agricultura ha atravesado varios cambios progresivos, permitiendo con ello aumentar la eficiencia, además de facilitar la forma de realizar esta labor. Asimismo se ha descrito esta transición como una evolución que va desde la agricultura 1.0 hasta la agricultura 4.0, tal y como se muestra en la Figura 16 y 17.

Figura 16
Evolución de la agricultura a lo largo del tiempo



Nota. Adaptadas de Zhai et al. (2020).

A continuación se describe brevemente cada una de las 4 fases de la agricultura (Kovács y Husti, 2018)

Agricultura 1.0

Agricultura de menor avance tecnológico y mayor esfuerzo; en esta fase se utilizan herramientas tradicionales y manuales, derivando en una baja productividad; se practica desde los ancestros, unos 10.000 a.C., y aún hoy se sigue practicando en muchas regiones de países poco desarrollados o en vía de desarrollo, con la excepción de que en estos tiempos se cuenta con insumos agrícolas que permiten controlar y mejorar la productividad de los cultivos.

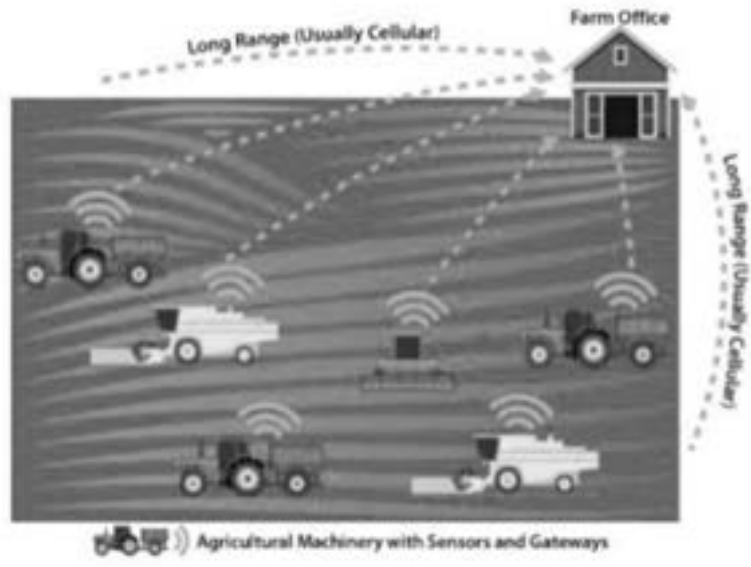
Agricultura 2.0

Sólo hasta el siglo XIX, con la llegada de maquinaria agrícola y pesticidas, se aumentó considerablemente la eficiencia y productividad de los trabajos agrícolas; a esta fase se le denominó "Agricultura 2.0". El uso y la implementación de maquinaria, como tractores tripulados, y el uso de pesticidas facilitó considerablemente tareas que implicaban mucho esfuerzo y gran cantidad de mano de obra o tiempo.

Agricultura 3.0

Para el siglo XXI, con el rápido avance de la informática y la electrónica, surgió la Agricultura 3.0, también llamada "Agricultura de precisión" (ver Figura 17), cuando las señales militares GPS estuvieron disponibles para el público. La automatización de los trabajos permitió, con base en la electrónica, controlar la maquinaria, al equiparlas con monitores de rendimiento con GPS, además de optimizar recursos utilizando solo los insumos necesarios para el riego, al mejorar su precisión.

Figura 17
Agricultura de precisión



Nota. Tomada de Kovács y Husti (2018).

Además, con la aparición de la computadora, la gestión de datos, por medio de software, empieza a ser ampliamente utilizada.

Agricultura 4.0

A principios de la década de 2010, en tanto que evolucionaba la tecnología, la agricultura de precisión tomó un nuevo impulso. La llegada de sensores económicos y mejorados, procesamiento de datos, *Big Data*, sistemas TIC basados en la nube, maquinaria agrícola que incluye tecnología inteligente como característica estándar que permite que la automatización sea más avanzada, son particularidades de esta nueva tendencia de la agricultura.

Esta fase está enmarcada por el aprovechamiento de datos para optimizar el sistema de producción agrícola; además, con el desarrollo de aplicaciones y software los agricultores cuentan con herramientas en la toma de decisiones favorables para sus intereses.

Aunque Latinoamérica es reconocida en el ámbito mundial por ser la mayor exportadora neta de alimentos (el nivel de exportación supera las importaciones de alimentos), la productividad y la eficiencia en los sistemas agrícolas de la región son muy bajos, debido a que no se han adaptado adecuadamente a los cambios y desarrollos del entorno mundial, y a que los métodos de producción siguen siendo rudimentarios, centenarios y anticuados, siendo ineficientes y perjudiciales para los agricultores y, a la vez, el medio ambiente.

Así las cosas, la adopción de metodologías, como la agricultura de precisión y de agricultura inteligente, surgen como oportunidades para complementar este sector, lo que permitiría un uso mucho más eficiente de los recursos, disminución de la pérdida y desperdicios de alimentos, aumentar la productividad y una rápida adaptación y respuesta al cambio climático (Banco mundial, 2020).

La agricultura 4.0 es aplicada, en mayor medida, en países desarrollados y que son potencia en el contexto mundial en este sector, como lo son Estados Unidos, China, India y Rusia; no obstante, Brasil aparece, junto a los 4 anteriores, como uno de los principales productores de alimentos del mundo. Estos países además de ser grandes productores de alimentos cuentan con gran superficie de tierra para cultivarlos.

Potencias agrícolas en el mundo

China es la mayor economía agrícola del mundo; un tercio de su población empleada se dedica a la agricultura, sector que contribuye al 10% de su PIB (Bajpai, 2019). Asimismo, China es el mayor productor de arroz en el mundo y de muchas verduras como el repollo y la cebolla; sin embargo, gran parte de su producción es destinada para el consumo interno, pues debido a que cuenta con una inmensa población, dan prioridad a su seguridad alimentaria interna. Por otra parte, Estados Unidos sigue siendo uno de los países más representativos en la producción agrícola.

Figura 18
Cifras clave de la agricultura de Estados Unidos y el mundo

Sector agroalimentario	La industria agroalimentaria, responsable de alimentar al planeta, supone $7,8 billones y emplea a más del 40% de la población mundial.
FAO	La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura estima que para 2050 se requerirá un 70% más de producción agrícola para satisfacer las necesidades globales del planeta.
McKinsey Global Institute's Digitization Index	De acuerdo con el índice de digitalización de McKinsey la agricultura es la menos digitalizada de todas las industrias principales.
Mercado AgTech 2021	Se prevé que el mercado de la agricultura digital alcance los 15.000 millones de dólares en 2021.
Digitalización	El 80% de las empresas del sector espera obtener ventajas competitivas de la digitalización.
Farm Management Software	En EE. UU. el mercado del software para gestión de granjas puede crecer hasta 1.620 millones de dólares en 2018.
USDA	En 2017 había 122.626 hectáreas bajo cultivo en el país, según el departamento de agricultura estadounidense.
Superficie cultivada en 2017	Los estados con más terreno cultivado durante 2017 en EE. UU. fueron Iowa, Kansas, Dakota del Norte e Illinois, todos ellos con más de 8 millones de hectáreas de superficie cosechada.

Nota. Tomada de Novoa (2021).

Estados Unidos (Figura 18 y 19), es reconocido como una superpotencia en el mercado de los alimentos. Aun cuando solo el 1% de su población laboralmente activa está empleada en esta labor, sigue siendo uno de los principales productores de alimentos, ocupando el tercer lugar a nivel mundial. Pero, además, es el país que mayores ingresos generados con sus exportaciones de alimentos en el mundo. Lo anterior, debido a que su sector agrícola está altamente mecanizado (Simpson, 2021).

Además, es líder en implementación de "Tecnología agrícola" o "Agricultura inteligente", lo cual permite un uso más eficiente de los recursos, aumentando así considerablemente sus rendimientos y sin necesidad de mucha mano de obra. Para esto, se utilizan drones, sensores, satélites y GPS en la maquinaria, además de recurrir a sistemas de información para el análisis y procesamiento masivo de datos *(Big Data),* como herramientas de administración agrícola, que permiten monitorear las diferentes condiciones del suelo (rendimiento de las parcelaciones, nutrientes, humedad), cultivos, (plagas o enfermedades, tasa de crecimiento) y procesar datos suministrados por los sensores en la maquinaria, aplicando lo que se conoce como "agricultura de precisión".

Otro de los desarrollos que contribuyen al aumento de la productividad es el uso de semillas de alto rendimiento que permite reducir el uso de fertilizantes y herbicidas de alto costo, y que además son altamente contaminantes (Simpson, 2021).

Figura 19
Principales actores en el mercado agrícola de Estados Unidos

Nota. Tomada de Novoa (2021).

La mayoría de los países quieren y deben aumentar su producción, pero la incorporación de estas tecnologías pueden resultar altamente costosas y poco asequibles para los pequeños agricultores del mundo; aun así, en varias regiones se han ido incorporado metodologías y estrategias, avanzando en este camino de innovación, lo cual demuestra que una adecuada gestión de la información conlleva a un mejor equilibrio de la oferta y la demanda de productos agrícolas, lo que se traduce en mejores ingresos para los agricultores, a la vez que incentiva el trabajo en el campo y mejora la calidad de vida.

Casos de éxito de implementaciones tecnológicas en la agricultura

Son muchos los casos de éxito de implementaciones tecnológicas que permiten optimizar y facilitar el trabajo agrícola, como es el caso de "*Fruchtfolge*" (Rotación de cultivos) (Pahmeyer et al., 2021) un sistema basado en la web, para apoyar la toma de decisiones, que ofrece recomendaciones sobre qué cultivo plantar y el uso adecuado de fertilizantes. Este sistema desarrollado en Alemania permite, en menos de 5 minutos, gestionar un plan óptimo de cultivo, tomando en cuenta factores como: la localización de la granja y del cultivo, la mano de obra disponible, tipo de suelo y los efectos de la rotación del cultivo, además de las regulaciones del Gobierno. Esta aplicación es posible por la estandarización de la información y las políticas agropecuarias en ese país, que permiten recopilación de información valiosa de cada cultivo.

En Argentina, investigadores desarrollaron un modelo que aborda el problema de planificación de cultivos en condiciones de incer-

tidumbre, teniendo en cuenta información de varios agricultores, lo cual permitió mejorar el margen de ganancia de estos y satisfacer de manera más eficiente la demanda del mercado (Alemany et al., 2021)

De Almeida et al. (2021), por su parte, proponen un modelo matemático que permite planificar óptimamente la producción y el uso adecuado de la tierra para evitar su explotación. Se basa en la capacidad del uso de la tierra para eliminar su uso indebido y optimizar los recursos, evaluando a su vez la demanda concebida de ingresos necesarios para que el cultivo sea rentable.

De otro lado, *AgroDSS* (Rupnik et al., 2019) es otro sistema de apoyo para la toma de decisiones, que ofrece una caja de herramientas, basada en la nube, donde los mismos usuarios proporcionan o cargan sus datos, los cuales son filtrados y procesados en línea. Este sistema proporciona análisis de series de tiempo, explicaciones y modelos predictivos que se integran en sistemas de información agrícola existentes y realizan predicciones y simulaciones que permiten a los agricultores comprender mejor las interacciones dentro de su minifundio.
Otras herramientas desarrolladas en Estados Unidos permiten planificar la temporada de cultivo, al simular las condiciones climáticas que pueden afectar el normal desarrollo del cultivo, previniendo las posibilidades de eventos climáticos extremos (Perondi et al., 2019).

Todas estas herramientas y desarrollos tecnológicos ofrecen a los agricultores apoyo, en aras de tomar decisiones más seguras para su cultivo y su estabilidad económica, a la vez que ayudan a establecer ese equilibrio entre la oferta y la demanda de productos, generando precios más estables; desafortunadamente en países poco desarrollados la implementación de estas mejoras es difícil por factores como la poca digitalización y desarrollo tecnológico, la poca información que se tiene de los agricultores, el tradicionalismo y resistencia al cambio, la infraestructura y el poco apoyo gubernamental; además de esto, inciden otros factores como el tipo de clima o de topografía, o los factores sociales y los conflictos armados, por ejemplo en Colombia, que han afectado constantemente y a lo largo del tiempo el territorio rural (Departamento Nacional de Planeación, 2015).

En este orden de ideas, avanzar hacia esta cuarta evolución de la tecnología agrícola es indispensable para una producción sostenible, rentable y con un uso razonable de los recursos naturales.

Brechas para la implementación de la tecnología en la agricultura

Los pronósticos para los próximos 10 años sugieren que una revolución digital de la agricultura será el más novedoso cambio que podría llevarla a satisfacer las necesidades emergentes; no obstante, todavía existen brechas que se deben atender, si se quiere que esta revolución sea una realidad.

Una de las brechas digitales más grande es la desigualdad entre la zona urbana y rural, pues las zonas urbanas son las que suelen contar con mejores beneficios en cuanto a “ecosistemas digitales”, como redes de internet, recursos, comunicación, en comparación con las zonas rurales, por lo que es indispensable

cerrar esta brecha si se quiere que todos se beneficien de la nueva sociedad digital (Trendov et al., 2019). En ese sentido, Trendov et al. (2019), desde la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en su informe "Tecnologías digitales en la agricultura y las zonas rurales", plantean unas condiciones para la transformación digital, básicas y habilitadoras.

- **Condiciones básicas:** Son los factores mínimos que se requieren para acceder al uso de la tecnología, como son, por ejemplo, la conectividad, capacitación en manejo de tecnologías, subsidios o facilidades de compra de equipos, y políticas gubernamentales para la implementación de estrategias digitales.

- **Condiciones habilitadoras:** Son las condiciones propicias que facilitan el acceso a las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC); tales como el uso de teléfonos móviles, Internet, redes sociales, las aptitudes en cuanto a las plataformas digitales y la actitud para la innovación agroempresarial.

La digitalización en la agricultura, la adopción de tecnologías y prácticas innovadoras es el factor principal para dar ese impulso a la productividad agrícola, y así aumentar el rendimiento, ser más eficiente en el uso de los insumos, adaptarse al cambio climático y conservar, en mayor medida, los recursos naturales; a medida que se implementan nuevas tecnologías y sistemas de información, se pueden recopilar, analizar y procesar gran cantidad de datos agrícolas, como información sobre el clima, demanda del mercado, y condiciones y uso de la tierra, para favorecer y ayudar a los agricultores a tomar decisiones más acertadas y obtener mejores beneficios (Fuglie et al., s.f.).

No obstante, para lograr esto se necesita apoyo del Gobierno y redes de internet en las zonas rurales, además de adopción de hardware (maquinaria agrícola, drones, robots) y software, por lo que el único alcance que se tiene para este proyecto es trabajar en las herramientas digitales que se puedan implementar.

Desde otro punto de vista, en estas regiones con poco avance tecnológico en la industria agropecuaria, los productores se pueden mostrar reacios a ofrecer información, lo que crea escepticismo sobre el valor de la implementación de metodologías y tecnologías que pueden resultar confusas o complejas para personas que no están familiarizadas con estas herramientas (Jakku et al., 2019)

Por ello, es indispensable cerrar estas brechas y buscar ayudas gubernamentales que permitan capacitar y ofrecer mayores apoyos a esta población que ha sido descuidada en este país, para demostrar los grandes beneficios que trae consigo esta nueva era de la tecnología y la información.

Debido a la importancia de la participación en la producción agrícola de los países en desarrollo, los Gobiernos deberían incentivar la inversión en investigación y desarrollo (I+D) para respaldar este sector, que debe aumentar

drásticamente el uso de tecnologías y la innovación en sus procesos si quieren contribuir con la eliminación de la pobreza, además de responder efectivamente a la creciente demanda de alimentos. Aunque el financiamiento de los gobiernos del mundo es el más alto de la historia, en estos momentos, hay un déficit cada vez más alto en el gasto de I+D. En 2011, para los países desarrollados, la inversión en I+D agrícola correspondía al 3,2% del PIB agrícola, y en los países en desarrollo al 0,52% (Banco Mundial, 2019).

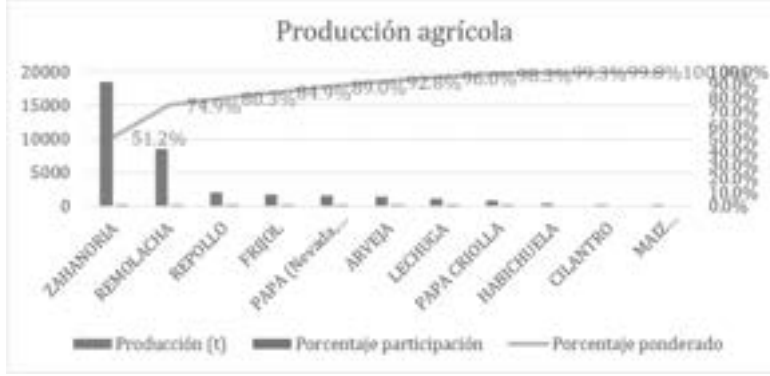
Así las cosas, lo que se quiere lograr con la herramienta propuesta en esta investigación es dar esos primeros pasos hacia la Agricultura 4.0, pues simplemente con el hecho de analizar y medir se estaría generando un cambio de mentalidad en esta región agrícola del oriente antioqueño que siempre ha recurrido al "trabajo pesado". Un buen y correcto procesamiento de los datos obtenidos es el fin principal de este proyecto, por lo que se requiere estructurar una base de datos que permita almacenar la información de forma organizada para su futura consulta, realización de búsquedas y nuevo ingreso de datos.

Así, se pueden disponer de varios software informáticos para diseñar estas bases, entre los cuales, y uno de los más prácticos, es Excel. Con esta herramienta se puede procesar la información recopilada y almacenada, por medio de procesos y fórmulas que facilitan el análisis y la síntesis de datos. Entre las operaciones que se pueden realizar están: ordenar, filtrar, utilizar fórmulas con algún tipo de filtrado, realizar estadísticas y pronósticos, y crear un resumen de los datos que sirven para la toma de decisiones.

Producción agrícola en el municipio de El Santuario

De acuerdo con las bases de datos de las evaluaciones agropecuarias municipales (EVAS), suministradas por la Secretaría de Desarrollo Económico y Social del municipio de El Santuario, correspondientes al segundo semestre de 2020, se puede evidenciar la producción agrícola de este municipio, donde se observa que el producto principal corresponde a la zanahoria larga vida, con una participación del 51,2 % de la producción total, seguido de la remolacha, con un 23,7%, y el repollo blanco con un 5,3% (ver Figura 22).

Figura 22
Diagrama de Pareto de la producción agrícola de El Santuario para el segundo semestre del 2020 (EVAS)



Nota. Elaboración propia.

De otro lado, según datos de la Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano (Agronet), adscrita al Ministerio de Agricultura (2016, 2017) de Colombia, a partir del año 2014 y hasta el 2017 (fecha de publicación del último informe) el municipio de El Santuario ocupaba el primer lugar en la producción de zanahoria a nivel nacional, con una participación del 20,3% y del 15%, respectivamente (ver Figuras 23 y 24).

Figura 23

Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de zanahoria principales municipios productores 2015-2016

Zanahoria

ÁREA SEMBRADA, ÁREA COSECHADA, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ZANAHORIA
PRINCIPALES MUNICIPIOS PRODUCTORES
2014-2015

No.	Municipio	Departamento	Área Sembrada (Ha) 2014	Área Sembrada (Ha) 2015	Variación (%)	Área Cosechada (Ha) 2014	Área Cosechada (Ha) 2015	Variación (%)	Producción (t) 2014	Producción (t) 2015	Variación (%)	Participación (%)	Rendimiento (t) 2014	Rendimiento (t) 2015	Variación (%)
		TOTAL	7.766	7.817	0,6	7.426	7.372	-0,7	222.947	216.179	-3,0	100,0	29,23	29,32	0,3
1	El Santuario	Antioquia	1.085	1.090	0,5	1.085	1.086	0,0	43.400	43.600	0,0	20,3	40,00	40,00	-
2	San Pedro de los Milagros	Antioquia	288	288	-0,7	184	290	76,8	11.480	21.000	83,2	9,7	70,00	72,02	3,0
3	Madrid	Cundinamarca	505	640	26,7	560	550	-5,2	19.596	18.603	-4,6	8,6	33,72	33,91	0,6
4	El Carmen de Viboral	Antioquia	470	470	-	410	460	12,2	13.200	13.800	4,5	6,4	32,20	30,00	-6,8
5	Boyacá	Boyacá	380	380	-	360	360	-	11.520	12.240	6,3	5,7	32,00	34,00	6,3
6	Ventaquemada	Boyacá	700	600	-14,3	600	575	-12,3	13.000	11.400	-12,3	5,3	20,00	20,00	-
7	Marinilla	Antioquia	310	320	3,4	308	315	2,3	9.240	8.979	-2,8	4,2	30,00	28,50	-5,0
8	Samacá	Boyacá	220	218	-0,9	230	221	-5,2	6.071	5.826	-4,0	2,7	26,06	26,36	1,2
9	Funza	Cundinamarca	347	267	-23,1	340	247	-27,4	9.320	5.810	-37,6	2,7	27,41	23,54	-14,1
10	Subachoque	Cundinamarca	185	160	-13,5	160	180	-6,7	6.176	5.760	-6,7	2,7	32,00	32,00	-
11	Sibaté	Cundinamarca	160	135	-15,6	160	150	-6,3	6.800	5.650	-16,9	2,6	42,50	37,67	-11,4
12	Túquerres	Nariño	200	40	-80,0	190	220	15,8	3.610	4.180	15,8	1,9	19,00	19,00	-
13	Tausa	Cundinamarca	98	167	71,3	95	140	46,4	2.735	4.070	48,8	1,9	28,70	29,18	1,8
14	Granada	Cundinamarca	110	110	-	120	100	-16,7	4.800	4.000	-16,7	1,9	40,00	40,00	-
15	Une	Cundinamarca	104	120	15,4	89	102	14,6	2.906	3.780	30,1	1,7	32,65	37,06	13,5

Nota. Tomada de Ministerio de Agricultura (2016).

Figura 24

Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de zanahoria principales municipios productores 2017-2016

Zanahoria

GOBIERNO DE COLOMBIA MINAGRICULTURA

ÁREA SEMBRADA, ÁREA COSECHADA, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ZANAHORIA
PRINCIPALES MUNICIPIOS PRODUCTORES
2016-2017

No.	Municipio	Departamento	Área Sembrada (Ha) 2016	Área Sembrada (Ha) 2017	Variación (%)	Área Cosechada (Ha) 2016	Área Cosechada (Ha) 2017	Variación (%)	Producción (t) 2016	Producción (t) 2017	Variación (%)	Participación (%)	Rendimiento (t) 2016	Rendimiento (t) 2017	Variación (%)
		TOTAL	10.409	10.752	3,3	8.689	10.046	15,7	247.799	306.746	23,8	100,0	28,53	30,54	7,0
1	El Santuario	Antioquia	1.120	1.210	8,0	1.140	1.150	0,9	45.600	46.000	0,9	15,0	40,00	40,00	-
2	Turja	Boyacá	1.005	1.146	14,0	530	1.060	100,0	21.200	42.520	100,6	13,8	40,00	40,00	-
3	Túquerres	Nariño	874	1.210	3,7	538	940	74,7	15.625	28.200	77,1	9,2	29,08	30,00	1,4
4	Madrid	Cundinamarca	611	590	-3,4	619	585	-5,5	21.091	20.279	-3,8	6,6	34,07	34,66	1,7
5	Villapinzón	Cundinamarca	410	425	3,7	210	395	88,1	6.300	19.040	202,2	6,2	30,00	48,20	60,7
6	San Pedro de los Milagros	Antioquia	234	177	-24,4	189	207	9,5	10.602	15.324	43,3	5,0	56,07	74,03	32,0
7	Ventaquemada	Boyacá	500	580	13,3	490	540	10,2	9.800	10.800	10,2	3,5	20,00	20,00	-
8	Sonsá	Boyacá	480	390	-19,6	90	440	388,9	1.700	8.580	405,3	2,8	18,89	19,52	3,4
9	Pasto	Nariño	560	290	-48,7	280	285	1,8	8.400	8.550	1,8	2,8	30,00	30,00	-
10	Boyacá	Boyacá	250	280	12,0	275	250	-9,1	8.975	7.500	-16,4	2,4	32,62	30,00	-8,0
11	Samacá	Boyacá	220	230	4,5	210	230	1,9	5.688	6.360	12,2	2,1	26,33	29,00	10,1
12	Tausa	Cundinamarca	170	270	58,8	155	207	33,5	4.655	6.210	33,5	2,0	30,00	30,00	-
13	Funza	Cundinamarca	144	220	52,8	187	196	4,8	4.190	5.880	40,3	1,9	22,41	30,00	33,9
14	Marinilla	Antioquia	205	257	1,0	273	195	-28,6	7.686	5.850	-23,9	1,9	28,15	30,00	6,6
15	El Rosal	Cundinamarca	40	248	520,0	34	140	311,8	1.283	5.188	310,8	1,7	37,15	37,06	-0,2

Nota. Tomada de Ministerio de Agricultura (2017).

Con base en los anteriores estudios y análisis, para este proyecto se seleccionó la zanahoria como el producto punto de partida, con el fin de analizar todos los factores que influyen en el ciclo de producción y comercialización, y de esta manera desarrollar la herramienta digital que ayude a los campesinos a tener una mejor planeación para la producción de esta hortaliza.

Análisis de precios de la zanahoria

En la Figura 25 es posible observar la variación de los precios que tuvo la zanahoria desde el 2018 hasta el 2020, según información consignada en las bases de datos del DANE.

Figura 25
Variación del precio de la zanahoria larga vida (2018-2020)

Nota. Adaptada del Sistema de Información de Precios del Sector Agropecuario (SIPSA, s.f.).

Según lo que se observa en la Figura 25, el comportamiento de los precios en los meses de enero a diciembre, entre los años 2018 a 2020, tuvo una fluctuación entre los $ 1.390 y $ 244 por kilogramo. Se nota una variación significativa en el 2018, en donde, para los meses de febrero y marzo, el precio fluctuó entre $ 1.390 y $ 1.253 por kilogramo, a diferencia de lo ocurrido entre los meses de abril a noviembre, cuando se desplomó el precio, llegando hasta $ 244 por kilogramo en el mes de junio. De acuerdo con la información registrada en el DANE, esta caída del precio, correspondiente a un 17.55%, se debió a una sobreproducción en los municipios de El Santuario, Marinilla y San Pedro de los Milagros (Agricultura y Ganadería, 2018).

Igualmente, se pudo evidenciar una tendencia alcista entre los meses de noviembre y febrero, a diferencia del comportamiento entre los meses de marzo y octubre, donde se presentó un aumento constante de la producción, lo que ocasionó que el precio se mantuviera con valores bajos. Es posible observar, de igual manera, que los precios no tuvieron un comportamiento estable para los primeros meses del año pero buscaron estabilizarse en el segundo semestre.

Es importante recordar que los productos agrícolas, al igual que cualquier otro producto, obedecen a la ley de la oferta y la demanda; es decir, cuando hay exceso de oferta, la cantidad ofrecida es mayor que la cantidad demandada, y por ello el precio supera el punto de equilibrio, llevando a los oferentes a bajar el precio para aumentar las ventas. Por el contrario, si hay escasez del producto, la demanda es mayor que la cantidad de producto disponible y el precio está por debajo del punto de equilibrio, por lo que los oferentes aumentan el precio, debido a que hay muchos compradores para pocas unidades, y así el número de demandantes disminuye y se establece el punto de equilibrio (Sevilla, 2015).

Así las cosas, es posible decir que la producción es inversamente proporcional al precio del producto. Por ende, es con base en el precio que se determina cuándo hay escasez y cuándo hay sobreoferta, en este caso de zanahoria larga vida.

Caracterización de la zanahoria

Con base en los elementos descritos en el documento publicado por la Cámara de Comercio de Bogotá (2015), denominado “Manual Zanahoria”, se realizó una caracterización de la zanahoria, abarcando su origen, generalidades, ciclo del proceso productivo y tiempos de ciclo para cada proceso.

Principales países productores

En el ámbito mundial, según la FAO (2019), se producen 44.762.859 toneladas de zanahoria, siendo China el principal país productor con 21.482.971 toneladas; seguido por Uzbekistán, con una producción de 2.769.613; estos dos países juntos producen más del 50% del total de zanahorias en el mundo. Estados Unidos ocupa el tercer lugar con una producción de 2.259.000 toneladas, y Colombia se ubica en el puesto 30 con una producción de 257.023 al año (ver Figura 26).

Figura 26
Principales países productores de zanahoria.

Ranking	País	Producción
República Popular China	República Popular China	21482971.00
Uzbekistán	Uzbekistán	2769613.00
Estados Unidos de América	Estados Unidos de América	2259000.00
Rusia	Rusia	1558866.00
Ucrania	Ucrania	869450.00
Reino Unido	Reino Unido	824731.00
Alemania	Alemania	791110.00
Indonesia	Indonesia	698880.00
Polonia	Polonia	678300.00
Turquía	Turquía	666270.00
Países Bajos	Países Bajos	615830.00
Colombia	Colombia	257023.00

Nota. Tomada de FAO (2019).

Generalidades del cultivo de la zanahoria

Condiciones agroclimatológicas

Altura sobre el nivel del mar: 300 a los 2.900 m.s.n.m.

Temperatura: óptima entre 15 ºC y 21 °C. mínima 9 ºC y máxima 28 ºC.

Humedad relativa: 70% al 80%.

Requerimiento Hídrico: mínimo, entre 400 y 800 mm al año.

Tipo de Suelo: arcillosos arenosos, francos, ligeros y aireados, bien drenados, con pendiente inferior al 15%.

Rango de pH: Entre 5.8 y 7.

Observaciones: sensible a cambios de temperatura.(Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

Suelos

Para una buena y rentable producción de la zanahoria se requiere: preparar el terreno pulverizando la tierra, enterrar la maleza a una profundidad de entre 60 a 70 cm y que la pendiente no supere el 15%; el material orgánico debe ser superior al 3.5% y su PH entre el 5.8 y el 7 (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

Exigencias agroecológicas

La zanahoria se puede producir en los climas fríos, templados y cálidos; sin embargo, para un mayor rendimiento y calidad, se aconseja que se produzca en climas de entre 13 °C y 18 °C.

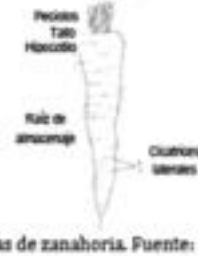
El clima es de vital importancia para la producción, ya que si se siembra esta hortaliza a temperaturas diferentes se corre el riesgo de

no contar con una buena cosecha; si se siembra en temperaturas altas, se obtiene pérdida de coloración y aceleración del grado de madurez, por lo que se producen raíces muy cortas; por el contrario, cuando se siembra en climas muy fríos, se sacan raíces muy largas y descoloridas. También, para el caso del manejo hídrico, en el ciclo de producción de la zanahoria, se requiere precipitaciones entre 400 y 800 mm al año.

Descripción botánica y morfológica

La zanahoria es una planta herbácea, y dependiendo del terreno, el clima y la humedad se cosecha entre tres meses y medio a cuatro meses, si es para consumo, pudiéndose repetir la cosecha en el mismo terreno hasta por un año, tiempo en el cual se debe rotar de producto (ver Figura 27) (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

Figura 27
Descripción botánica y morfológica

Tallo Figura 1. Tallo de zanahoria. Fuente: (Gaviola, 2013)	Durante el ciclo vegetativo se encuentra a ras del suelo. Una vez comienza el ciclo reproductivo, el tallo se alarga y en su ápice se desarrolla la inflorescencia primaria.
Hojas Figura 2. Hojas de zanahoria. Fuente: (Gaviola, 2013)	Son pubescentes, con segmentos lobulados. Los peciolos son largos y expandidos en la base. Aparecen 1 o 2 semanas después de la germinación.
Raíz  Figura 3. Hojas de zanahoria. Fuente: (Gaviola, 2013)	Su forma varía de redonda a cilíndrica; el diámetro varía entre 1 a 10 cm, dependiendo de la variedad. El largo puede llegar a ser entre 5 y 50 cm.
Flores, semillas y frutos Figura 4. Flores y fruto de zanahoria. Fuente: (Gaviola, 2013)	Las flores son pequeñas, blancas y hermafroditas, y formadas por umbelas compuestas. Las semillas presentan un peso que varía entre 0,8 y 3 gramos por cada 1000 semillas.

Nota. Tomada de Cámara de Comercio de Bogotá (2015, p. 12).

Ciclo fenológico del cultivo

Cuando se desea obtener semillas, se deja la producción anual o bianual, siendo esta última la más común, ya que en el primer ciclo se produce el follaje y se deja que la raíz se engrose; y para el segundo ciclo, se generan en el follaje los órganos reproductivos y se termina de desarrollar el tallo (ver Figura 28) (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

Figura 28
Ciclo fenológico del cultivo

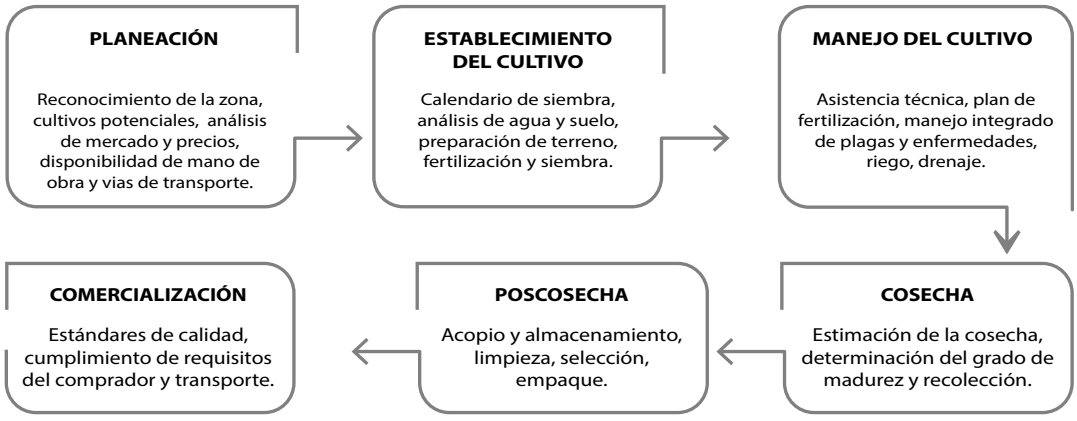
Fase vegetativa desarrollo de raíces absorbentes y hojas: durante esta fase se genera el crecimiento en longitud de la raíz, presentando al final de esta etapa el 80% de la longitud total del producto.	Figura 1. Período de desarrollo de raíces absorbentes Fuente: (Tradecorp, 2014)
Fase vegetativa engrosamiento de la raíz: en esta fase se acumulan carbohidratos; el engrosamiento no cesa mientras las hojas permanezcan. La tuberización empieza en la parte alta del cáliz y termina en la punta.	Figura 2. Engrosamiento Fuente: (Tradecorp, 2014)
Fase reproductiva: la zanahoria es inducida a la floración cuando existe una acumulación de horas frío (temperaturas inferiores a 10° C). Esto ocurre cuando la planta tiene entre 50 y 70 días en plantas anuales.	Figura 3. Fase reproductiva. Fuente: (Tradecorp, 2014)

Nota. Tomada de Cámara de Comercio de Bogotá (2015, p. 14).

Ciclo productivo de la zanahoria

Desde la planeación del cultivo hasta su comercialización, el ciclo productivo de la zanahoria consta de seis fases, tal y como se evidencia en la Figura 29:

Figura 29
Ciclo productivo de la zanahoria



Nota. Tomado de Cámara de Comercio de Bogotá (2015, p. 20).

A continuación, se realiza una descripción de cada una de las fases, para las cuales se le elaboró un mapa de procesos, con sus respectivas etapas y los recursos necesarios para llevar a cabo el ciclo productivo (En el anexo 1 se pueden observar con más detalle los mapas de procesos).

Planeación

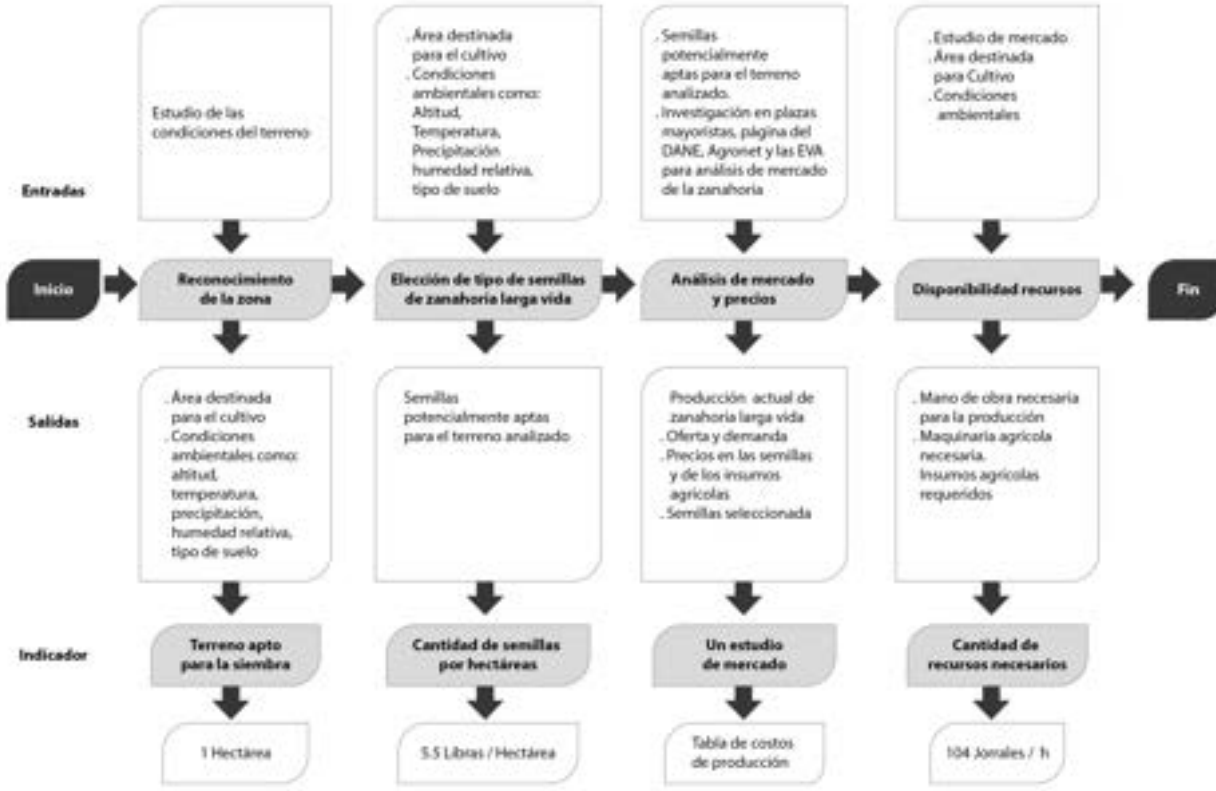
Este es uno de los procesos más importantes en el ciclo productivo de la zanahoria, pues en este se determinan el área y los recursos necesarios para que el cultivo tenga un alto rendimiento y, por consiguiente, una alta rentabilidad.

Inicia con la destinación del área a sembrar y la evaluación de las condiciones fitosanitarias y edafoclimáticas del terreno, así como su pendiente, tipo de suelo, condiciones del pH, condiciones climáticas, humedad relativa, temperatura, altitud y control de malezas, si es necesario.

Destinado el terreno, y de acuerdo con las mediciones anteriores, se selecciona una semilla que sea apta para las condiciones del terreno. Para el caso de El Santuario, Antioquia, en los últimos años se han preferido, tanto por los agricultores como por los comerciantes, los tipos *Berlicum* y la *Bangor f1 larga vida bejo*, que es reconocida por sus altos niveles de productividad, versatilidad y capacidad de postcosecha.

Además de lo anterior, una buena planeación debe tener en cuenta aspectos como mano de obra, maquinaria y equipos, insumos agrícolas, vías de acceso, servicio de transporte y realizar un análisis de mercado, con el fin de disminuir la probabilidad de pérdidas, tanto de la inversión como de la producción (ver Figura 30).

Figura 30
Mapa de proceso de planeación del cultivo de la zanahoria



Nota. Elaboración propia. Adaptada de la Cámara de Comercio de Bogotá (2015).

Establecimiento del cultivo

Preparación del terreno

En la preparación del terreno, el agricultor debe mullir la tierra a una profundidad de 25 a 35 cm, incorporando, si se desea, las malezas o residuos de cosechas anteriores debajo de la tierra. Las camas para la siembra se deben preparar de entre 40 a 90 cm de ancho, y una longitud que varía de acuerdo con el terreno, separadas un de otra entre 40 a 45 cm, lo que permite un buen drenaje y aireación, además de facilitar las demás labores del cultivo.

Siembra

La siembra de la zanahoria se puede realizar con maquinaria agrícola o de forma manual. Para el caso de El Santuario, en la gran mayoría de los predios, se realiza de forma manual, toda vez que las áreas cultivadas no ameritan el uso de la maquinaria agrícola o presentan dificultad de acceso al terreno.

Una vez debidamente preparadas las camas, el agricultor marca los surcos usando como guía una herramienta llamada compás, que es una tabla dentada con una separación entre cada pico de 8 cm, una profundidad de 1cm y una distancia entre surco y surco de 20 cm.

En cada surco se deposita de dos a tres semillas, lo cual puede hacerse manualmente o con un frasco donde la tapa conserva un orificio por donde sale la semilla a cada golpe que el agricultor da al frasco; de esta forma se reduce la pérdida de semillas y se limita, en muchas ocasiones, la actividad del raleo.

Figura 31
Elaboración de surco y siembra de semilla

Nota. Tomada de Secretaría de Desarrollo Económico y Social del Municipio de El Santuario.

En la Figura 31, cuando se depositan las semillas en cada surco, se procede a taparlas de manera muy superficial con abono orgánico, o si la tierra se encuentra bien abonada, se tapan con la misma tierra de la cama.

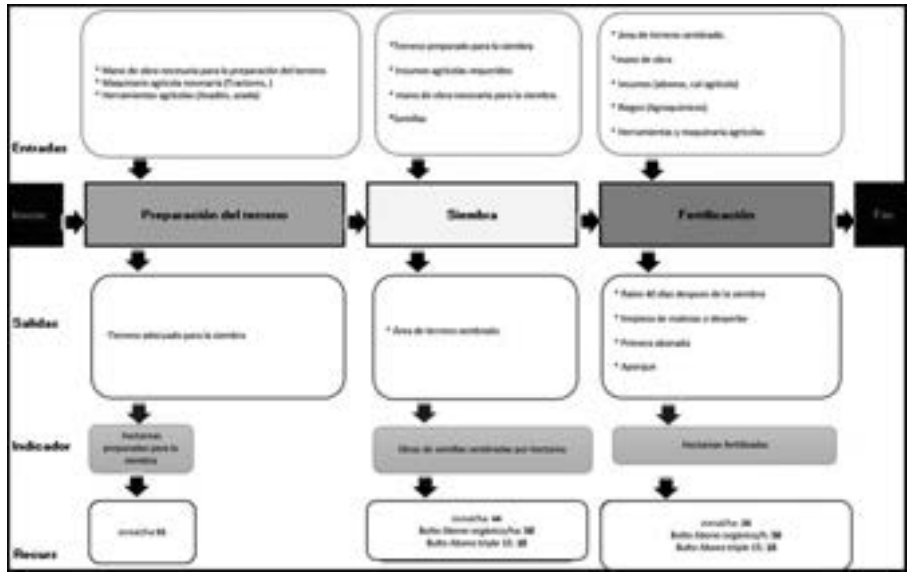
Fertilización

Una vez tapada la semilla, se espera de ocho a diez días a que nazcan las plantas. Desde allí se debe estar vigilante, pues las plántulas deben estar libres de malezas; esta labor se debe realizar manualmente, para evitar que se arranquen las matas de zanahoria. Se espera entre 35 a 40 días para hacer un primer raleo, el cual se debe hacer a mano y arrancando las plántulas de zanahoria, dejando la mejor plántula por surco; se debe conservar el suelo húmedo, para facilitar el arranque completo de la planta (Figura 32). Luego de hacer el raleo, se remueve la tierra, entre surco y surco, para abonar con la mezcla de abono triple 15 o abono fino y abono orgánico, procediendo a tapar el abono con la misma tierra removida. Se debe tener cuidado que la raíz de la zanahoria quede totalmente tapada con tierra, y no expuesta al sol, para evitar que crezca la raíz con color verdoso, tal y como se muestra en la Figura 32 de Raleo y Aporque.

Figura 32
Raleo y Aporque

Nota. Tomada de Tomada de Secretaría de Desarrollo Económico y Social del municipio de El Santuario

Figura 33
Mapa de proceso de establecimiento del cultivo de zanahoria



Nota. Elaboración propia. Adaptada de la Cámara de Comercio de Bogotá (2015).

Manejo del cultivo

Asistencia técnica

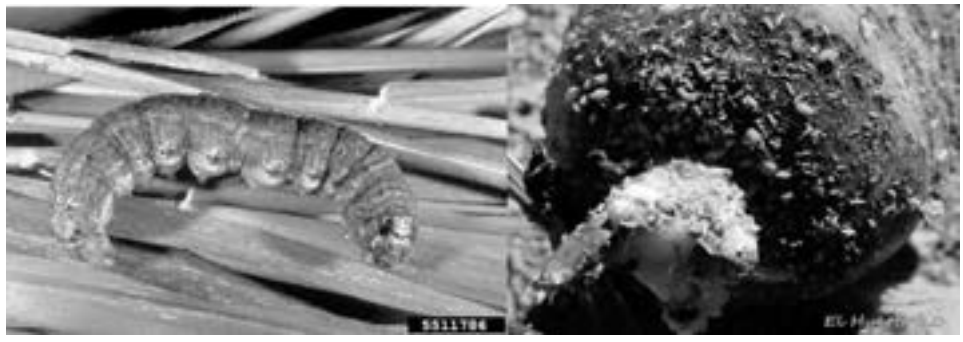
Para la asistencia técnica, se debe contar con un profesional en agronomía (técnico o ingeniero agrónomo) que conozca el manejo de la producción de la zanahoria y los riesgos a los que se expone el producto de no actuar a tiempo. Así las cosas, se requiere visita directa al cultivo, y de acuerdo con el avance, es necesario elaborar un plan de vigilancia y control, ya sea para evitar la exposición al sol de la raíz de la zanahoria o para controlar las posibles plagas o enfermedades.

Manejo integral de plagas y enfermedades

La zanahoria, como todo el tema de producción agrícola, también está expuesta a enfermedades y plagas, por lo que se deben tener en cuenta las recomendaciones hechas en las visitas técnicas, y acatar el plan de control que se haya elaborado, incluyendo el plan de riegos y el manejo de quemazón de la hoja que puede aparecer a los 2 o 3 meses,

y que, si no se actúa a tiempo con los controles o riegos, esta puede morir (Figura 34 y 35). En este tiempo, también se debe realizar otro desyerbe, para evitar que la maleza compita con la zanahoria por los nutrientes del suelo. De igual forma, se debe estar vigilante de las posibles plagas que puedan darse en el cultivo, como los trozadores o tierreros, pulgón de la zanahoria, lorito verde, etc. (Figura 34).

Figura 34
Gusano trozador (Agrotis ipsilon) y Pulgón subterráneo



Nota. Tomadas de Reyes (2015) y El Huerto 2.0 (s.f.).

Figura 35
Mapa de proceso manejo del cultivo de zanahoria.

Nota. Elaboración propia. Adaptada de Cámara de Comercio de Bogotá (2015).

Cosecha

Determinación del grado de madurez

El tiempo ideal para el arranque de la zanahoria es entre los tres y medio a los cuatro meses, cuando se revisa su tamaño, el cual debe oscilar entre los 4 a los 5 centímetros de grosor. No se puede dejar mucho tiempo sin arrancar, ya que la raíz sigue creciendo y se corre el riesgo de obtener un producto muy grueso, marroso y se puede rajar; producto que no es de agrado para los consumidores. Además, se debe realizar un cronograma para el arranque (Figura 36).

Figura 36
Revisión del grado de madurez

Nota. Tomada de 123rf (s.f.).

Estimación de la cosecha

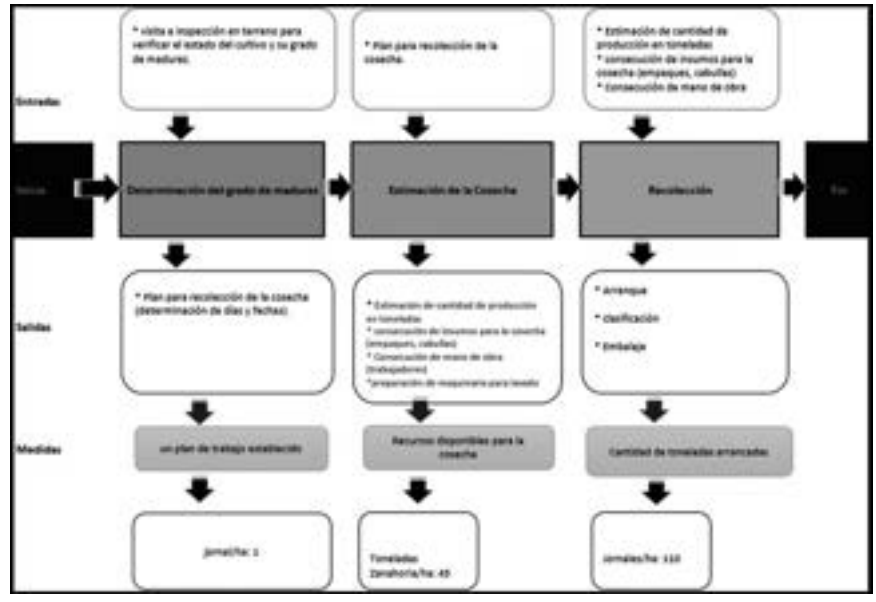
Una vez elaborado el cronograma de arranque, se define un aproximado de la cantidad de toneladas que se van a obtener, en aras de conseguir los insumos necesarios para el empaque y la mano de obra requerida para un buen rendimiento en esta labor; además, para preparar la maquinaria que se utiliza en el lavado (Figura 37).

Recolección

El arranque de la zanahoria se debe hacer manualmente; si se observa la tierra, con antelación, y se ve que está muy compacta, se hace una remoción de esta, para que al

momento de hacer el arranque no se dañe la raíz ni se vaya a quebrar el copo. Una vez se esté realizando el proceso de arranque, se clasifica y se empaca en costales, por productos de buena calidad y producto de rechazo, para acarrearlos y llevarlos al sitio de almacenamiento o lavado.

Figura 37
Mapa de proceso de cosecha del cultivo de zanahoria



Nota. Elaboración propia. Adaptada de Cámara de Comercio de Bogotá (٢٠١٥).

Poscosecha

Almacenamiento

Una vez empacada la producción en el sitio del terreno, se almacena en el punto donde se va a hacer el lavado, separando los bultos de buena calidad con los de rechazo.

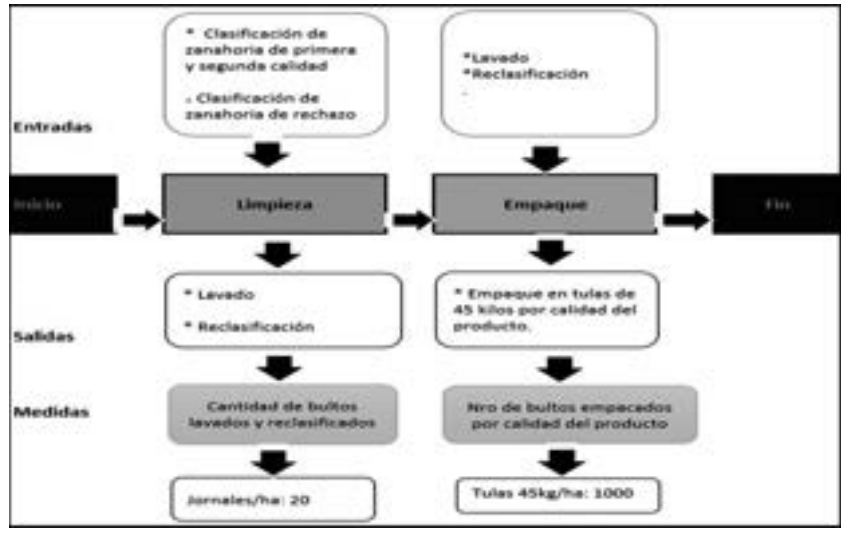
Limpieza

Primero se lava el producto de buena calidad y se vuelve a hacer una reclasificación por tamaños y formas. Es de anotar que, al momento del lavado, los empaques que inicialmente se usaron para el acarreo se deben alejar del sitio de lavado, para no contaminar o volver a ensuciar el producto que se va a empacar.

Empaque

Una vez realizado el lavado del producto de primera calidad, se procede con el empaque en costales limpios, por bultos de 70 kilogramos, de acuerdo con los requerimientos de calidad del cliente.

Figura 38
Mapa de proceso postcosecha del cultivo de zanahoria



Nota. Elaboración propia. Adaptada de Cámara de Comercio de Bogotá (2015)

Comercialización

Estándar de calidad

Teniendo separada la producción, por requerimientos del cliente, se procede a separar los bultos por producto de primera calidad, segunda calidad y de rechazo, tomando nota de la cantidad por calidad que el cliente necesita (Figura 38).

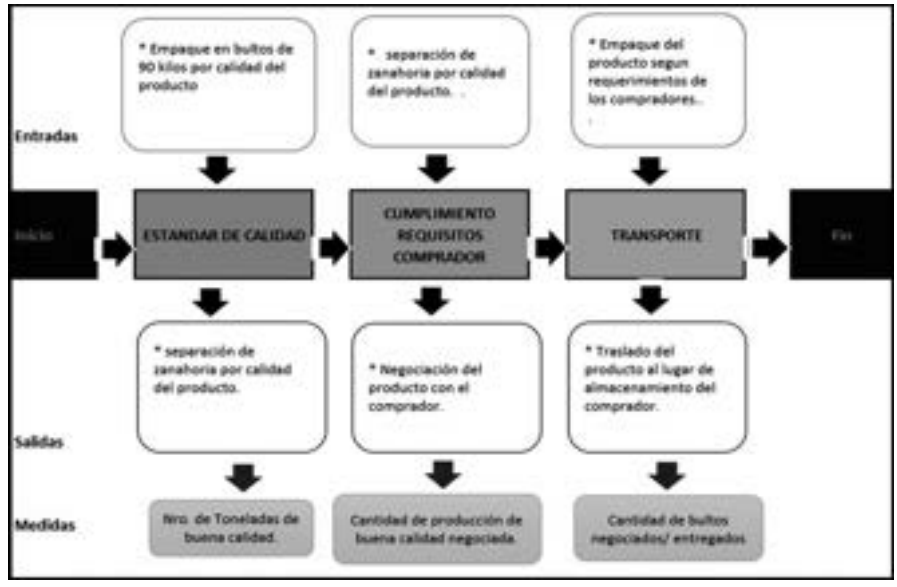
Cumplimiento de requisitos del comprador

Una vez se tenga empacada la producción, por nivel de calidad, se procede a la negociación con el cliente y a tomar el pedido de la cantidad de bultos que requiere por calidad; posteriormente, se hace el respectivo acarreo, en el medio de transporte definido para el traslado al lugar donde el cliente lo solicite.

Transporte

Para el caso de El Santuario, el transporte mayormente utilizado es vehículo tipo camión 3 ½, camionetas y moto cargueros, ya que las carreteras de las veredas son destapadas, y en el caso de la temporada invernal aumenta la dificultad para el tránsito. Una vez se tiene el pedido del cliente, se acarrea en estos vehículos y se traslada a la zona urbana; allí se hace entrega en el sitio donde el cliente lo solicita.

Figura 39
Mapa de proceso de comercialización del cultivo de la zanahoria



Nota. Elaboración propia. Adaptada de Cámara de Comercio de Bogotá (2015).

Diseño de herramienta de planeación

Para el diseño de la herramienta de planeación de cultivos, se utilizó la herramienta ofimática Excel, la cual permitió, por medio de fórmulas, integrar varios procedimientos, además de ser una herramienta fácil de usar y que está al alcance de todos. Dicha

herramienta, consta de seis hojas o módulos, las cuales interactúan entre sí, de acuerdo con los datos suministrados:

- Recursos.
- Cálculo de los costos de producción.
- Estimación Margen automático.
- Estimación Margen manual.
- Lista de insumos.
- Tabla de precios.
-

La herramienta se construyó según los datos obtenidos en los mapas del proceso actual y artesanal, con el fin de realizar una estimación de los recursos necesarios para el desarrollo del ciclo productivo de la zanahoria; además, se alimentó de la tabla de precios que se obtuvo del DANE, para simular la rentabilidad del cultivo en el período que se especifique. Es de aclarar que estos procesos aún requieren de mucha mecanización e implementación de la tecnología, por lo que se tomaron en cuenta las variables actuales, pero, a medida que estas mejoren, se pueden ajustar en el modelo de planeación de la demanda y precios.

Teniendo como referencia 1 hectárea de terreno disponible para sembrar, se dejaron los valores bases, en cuanto a jornales, abonos, cantidad de libras de semillas y empaques; no obstante, el productor debe digitar los precios actuales de cada uno de los recursos, debido a que estos están variando constantemente. Además, se dejó la opción de incluir otra clase de insumos y costos indirectos que se pueden necesitar en el desarrollo del cultivo.

De igual forma, se desarrolló un módulo para que los productores pudieran realizar una estimación manual de los precios de los productos y de los meses de siembra.

En todos los módulos se colocaron unos botones de navegación para que el usuario pudiera desplazarse fácilmente por el informe.

Asimismo, para facilitar su uso, en todos los módulos se protegieron las hojas y solo se dejaron desprotegidas las celdas editables, las cuales se caracterizan por no tener ningún color.

En el Anexo 2 se puede encontrar la herramienta, la cual contiene un instructivo o manual de uso, para lograr que sea de fácil acceso y manejo por parte de los usuarios finales.

Módulos de la herramienta

Recursos

En este módulo se especifican los recursos más importantes para el desarrollo del cultivo, como son: mano de obra (1 jornal es equivalente a un trabajador por día), cantidad de semillas, abonos y cantidad de empaques o costales; este cálculo se realizó para un área de siembra de 1 hectárea. Las cantidades están basadas en la investigación realizada en los documentos que se utilizaron para este proyecto, pero se deja a consideración del productor, para que, si lo ve conveniente, basado en su experiencia, realice los cambios pertinentes en la cantidad de recursos (Figura 40).

Figura 40
Módulo de recursos, de la herramienta digital

CÁLCULO DE MARGEN DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Recursos necesario para sembrar una hectarea de zanahoria

Puede modificar la cantidad de recursos según lo sea conveniente

Descripción de la actividad	Jornales	Libras de semilla	Abono orgánico	Abono triple 15	Cantidad de empaques
Preparación del terreno	55				
Siembra	44	5	50	10	
Fertilización	20		50	10	
Manejo integral de plagas y enfermedades	20				
Determinación del grado de madurez	1				
Estimación de la cosecha					1000
Recolección	100				
Limpieza y empaque	20				
Total	240	5	100	20	1000

Nota. Fuente propia

Al final, se realiza la sumatoria automáticamente y los datos se exportan al siguiente módulo (cálculo de los costos de producción). Para pasar al siguiente módulo, se da clic sobre la flecha naranja ubicada al final.

Los botones de color púrpura que aparecen al lado derecho de la tabla corresponden a cada uno de los módulos de la herramienta digital, y aparecerán en cada módulo, para facilitar el desplazamiento y la navegación por estos.

Cálculo de los costos de producción

El usuario debe digitar el área que destinará para su cultivo en metros cuadrado, así como el tipo de planta a cultivar, el sistema arroja automáticamente la cantidad de recursos que se deberan utilizar para el área destinada. En la Figura 41 se puede ver un ejemplo, donde el área destinada para la siembra sería de 2000 m^2; así, la herramienta hace la conversión calcula la cantidad de recursos necesarios para esa área a cultivar.

Figura 41
Módulo cálculo de costos de producción

Nota. Elaboración propia.

En la tabla "Valor costos de producción", el usuario debe digitar el precio actual de cada recurso o insumo, como se aprecia en el ejemplo; con ello, la herramienta multiplica el valor por la cantidad de recursos que se calcularon, arrojando el costo total de cada insumo. Al final, se realiza la sumatoria de estos valores para calcular el total que debe invertir el productor. Para este ejemplo, el costo de la inversión o de los recursos que debe utilizar es de $ 4.770.000.

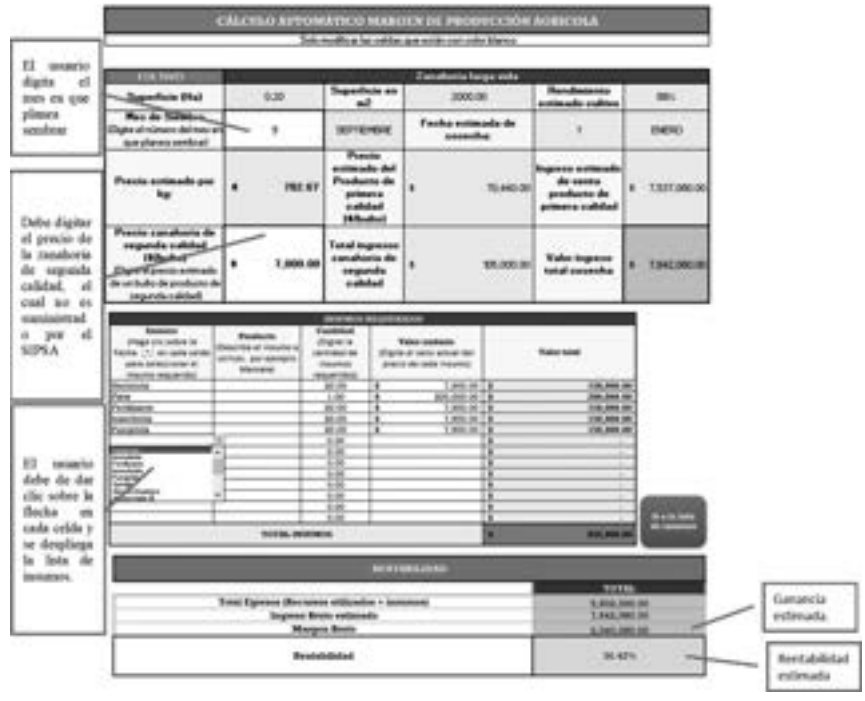
En la tabla "rendimiento estimado", se tienen unos valores base, que corresponden a las toneladas que se estima cosechar para una hectárea; es decir, 55 toneladas de la hortaliza, y el porcentaje de rendimiento del cultivo, esto basado en los documentos de apoyo. Igualmente, las celdas son editables para que el agricultor, según su experiencia, ingrese el valor que mejor se ajuste a sus estimaciones. En el ejemplo, se ve que, con base en las 55 toneladas y un porcentaje de rendimiento del 88 %, para un área de 2000 m^2, las toneladas que se cosecharían serían 11, lo cual corresponde a 122 bultos de 90 kg de zanahoria; además, de acuerdo con el rendimiento del cultivo, de esos 122 bultos, 107 serían de primera calidad y 15 de segunda calidad.

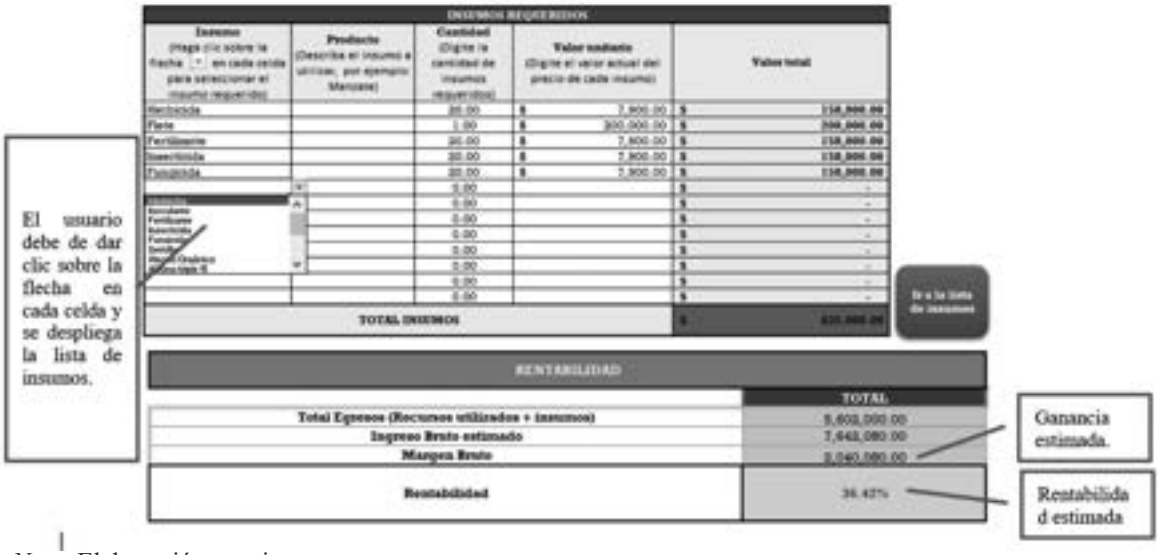
Estimación automática margen de producción

El módulo de cálculo automático de margen de producción agrícola está ligado a la tabla de precios históricos de la zanahoria, y además importa los datos de los módulos anteriores, como la superficie a cultivar (2000 m^2, para el ejemplo) y el rendimiento estimado del cultivo (88%). En la primera tabla, el usuario solo debe digitar el mes en que planea sembrar y el precio a lo que normalmente se vende un bulto de zanahoria de segunda calidad, el cual oscila entre $ 7.000 y $ 10.000. La herramienta importa los datos correspondientes de los otros módulos y realiza el cálculo de los ingresos esperados.

La fecha de cosecha se definió para un período de 4 meses después de la siembra; cuando el usuario digita el mes de siembra, se calcula automáticamente el mes de cosecha y se importa el precio promedio correspondiente para ese mes, desde la tabla de precios. En el ejemplo, se puede apreciar que para la siembra se definió el mes 9, correspondiente a septiembre, por lo que el mes estimado de cosecha sería en enero, y el precio estimado de la zanahoria, para este mes, sería de $ 782.67 por kilogramo o de $ 70.440 para un bulto de 90 kilogramos. Además, el ingreso estimado de venta de producto de primera calidad sería de $ 7.537.060, el ingreso por los bultos de zanahoria de segunda calidad sería de $ 105.000, y sumados estos dos últimos, el ingreso total de la cosecha sería de $ 7.642.080.

Figura 42
Módulo de estimación automática del margen de producción





Nota. Elaboración propia.

La tabla de insumos requeridos se dispone para que el usuario lleve un registro de los agroquímicos que utilizará (el precio de cada insumo lo debe digitar el usuario, debido a su alta variabilidad); además, podrá registrar todos los costos adicionales que puedan surgir. Estos insumos están predefinidos en el módulo "lista de insumos", por lo que el usuario solo debe dar clic en la flecha que aparece en cada celda de la primera columna para que se despliegue la lista de insumos y así seleccionar el insumo que desea costear. En la parte inferior derecha de la tabla se coloca un botón para que, sí se desea, el usuario vaya directamente a la lista de insumos y agregue los que requiera. En el ejemplo anterior se ve que el total de egresos por insumos fue de $ 832.000 (Figura 42).

Finalmente, el margen bruto se calcula restando el ingreso bruto estimado menos la inversión realizada o los egresos (que es la suma de los insumos más los recursos), y la rentabilidad se calcula dividiendo la ganancia sobre la inversión y se multiplica por 100. En el ejemplo, para un agricultor que coseche zanahoria en enero, puede llegar a obtener una ganancia de $ 2.040.080, con una rentabilidad de 36.42%.

De este modo, el productor agrícola puede hacerse a una idea de si su cultivo, al momento de cosechar, podría tener una buena rentabilidad (Figura 42).

Estimación manual margen de producción

Este módulo se dispone de manera opcional para que el usuario haga estimaciones con base en su experiencia (Figura 43); es decir, no está ligado a la tabla de precios, sino que es el mismo usuario el que los propone. Funciona

de una forma similar al módulo de estimación automática, con la diferencia de que, en este, el usuario es el que propone el precio del producto de primera calidad, el de segunda, el mes de siembra y el mes de cosecha. En el ejemplo, se propone que el mes de siembra: septiembre y el de cosecha: enero, que el precio de venta por kilogramo sería de $ 800 y que el bulto de producto de segunda calidad se vendería a $ 7.500, para lo cual el valor estimado de ingresos por la cosecha sería de $ 7.816.500.

Figura 43

Módulo de estimación manual del margen de producción

CULTIVO	Zanahoria larga vida				
Superficie (Ha)	0.20	**Superficie en m2**	2000.00	**Rendimiento estimado cultivo**	88%
Mes de Siembra (Digite el número del mes en que planea sembrar)	9	SEPTIEMBRE	**Mes estimada de cosecha:** (Digite el mes estimado para cosechar)	1	ENERO
Precio estimado por kg: (Digite el precio estimado de venta x kilo de producto de primera calidad)	$ 800.00	**Precio estimado del Producto de primera calidad ($/bulto)**	$ 72,000.00	**Valor estimado de venta**	$ 7,704,000.00
Precio zanahoria de segunda calidad ($/bulto) (Digite el precio estimado de un bulto de producto de segunda calidad)	$ 7,500.00	**Total ingresos zanahoria de segunda calidad**	$ 112,500.00	**Valor ingreso total cosecha**	$ 7,816,500.00

INSUMOS REQUERIDOS				
Insumo (Haga clic sobre la flecha ▼ en cada celda para seleccionar el insumo requerido)	**Producto** (Describa el insumo a utilizar, por ejemplo: Manzate)	**Cantidad** (Digite la cantidad de insumos requeridos)	**Valor unitario** (Digite el valor actual del precio de cada insumo)	**Valor total**
Herbicida		20.00	$ 7,900.00	$ 158,000.00
Flete		1.00	$ 200,000.00	$ 200,000.00
Fertilizante		20.00	$ 7,900.00	$ 158,000.00
Insecticida		20.00	$ 7,900.00	$ 158,000.00
Fungicida		20.00	$ 7,900.00	$ 158,000.00
		0.00		$ -
		0.00		$ -
		0.00		$ -
		0.00		$ -
		0.00		$ -
		0.00		$ -
		0.00		$ -
		0.00		$ -
TOTAL INSUMOS				$ 932,000.00

Ir a la lista de insumos

RENTABILIDAD	
	TOTAL
Total Egresos (Recursos utilizados + insumos)	5,602,000.00
Ingreso Bruto estimado	7,816,500.00
Margen Bruto	2,214,500.00
Rentabilidad	39.53%

Nota. Elaboración propia.

Según el ejemplo anterior, las ganancias por la cosecha serían de $ 2.214.500, con una rentabilidad del 39,53%.

Tabla de insumos

Esta tabla (Figura 44) contiene la lista de los insumos predefinidos que se pueden llegar a requerir para el costeo, en la estimación de los márgenes de producción. Se puede seguir editando según el usuario vea conveniente.

Figura 44
Tabla de insumos

CÁLCULO DE MARGEN DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Digite los insumos que va a requerir para la producción del cultivo

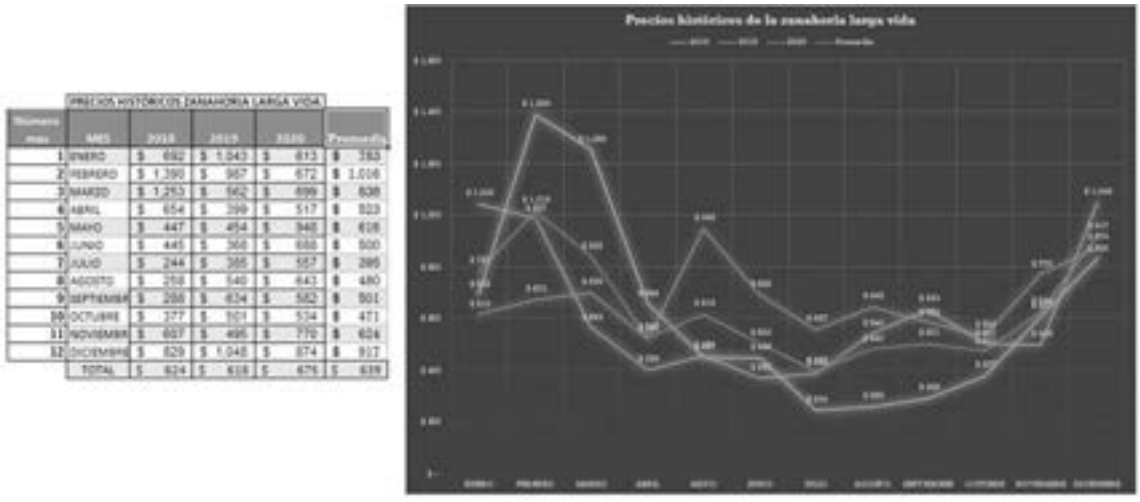
Insumos
Herbicida
Inoculante
Fertilizante
Insecticida
Fungicida
Semilla
Abono Orgánico
Abono triple 15
Empaques
Jornal
Flete
Comisión
Maquinaria
Estudio de suelos
Otros

Nota. Elaboración propia.

Tabla de precios históricos

Contiene la variación del precio de la zanahoria, en el período de 2018 a 2020, y la media móvil para cada mes; esta última es la que se utiliza en la estimación automática del margen de producción. A medida que se tengan más períodos, se pueden ir agregando (Figura 45).

Figura 45
Tabla de precios históricos



PRECIOS HISTÓRICOS ZANAHORIA LARGA VIDA					
Número mes	MES	2018	2019	2020	Promedio
1	ENERO	$ 692	$ 1.043	$ 613	$ 783
2	FEBRERO	$ 1.390	$ 967	$ 672	$ 1.016
3	MARZO	$ 1.253	$ 962	$ 699	$ 638
4	ABRIL	$ 654	$ 399	$ 517	$ 523
5	MAYO	$ 447	$ 454	$ 948	$ 616
6	JUNIO	$ 445	$ 366	$ 688	$ 500
7	JULIO	$ 244	$ 386	$ 557	$ 395
8	AGOSTO	$ 258	$ 540	$ 443	$ 480
9	SEPTIEMBRE	$ 286	$ 634	$ 582	$ 501
10	OCTUBRE	$ 277	$ 101	$ 534	$ 471
11	NOVIEMBRE	$ 657	$ 495	$ 770	$ 624
12	DICIEMBRE	$ 829	$ 1.048	$ 874	$ 917
	TOTAL	$ 624	$ 618	$ 676	$ 639

Nota. Tomada de SIPSA (s.f.).

Conclusiones

Se logra desarrollar una herramienta en Excel, la cual permite realizar una planeación del cultivo, integrando los precios históricos de venta del producto y la previsión de gastos, basados en los recursos e insumos estimados a utilizarse durante el ciclo productivo de la zanahoria. Con esta herramienta, también, se busca ayudar a la previsión de gastos para la producción de la zanahoria, en tanto, desde el momento de la planeación, se pueden observar los recursos económicos a invertir y el posible margen de ganancia al momento de la cosecha y la comercialización.

De acuerdo con el análisis realizado con el diagrama de Pareto, en cuanto a la producción agrícola en el municipio de El Santuario, se evidencia que la zanahoria es el principal cultivo agrícola, con una participación del 51,2% de la producción agrícola total; además, es el primer productor de esta hortaliza en Colombia, convirtiéndose en el producto de mayor movimiento económico entre los campesinos del municipio. Por ello, se define la zanahoria como el producto punto de partida para analizar todos los factores que influyen en el ciclo de producción y comercialización, y de esta manera

desarrollar la herramienta digital que ayude a los campesinos a tener una mejor planeación para la producción de esta hortaliza.

Se diagnostica, además, el estado de la oferta y la demanda de la zanahoria, con base en el análisis de precios de venta por kilogramo en el transcurso de tres años, utilizando la media móvil para suavizar las fluctuaciones y mostrar una tendencia con mayor claridad, para determinar un precio de venta promedio.

Asimismo, se investigan y definen los procesos para el cultivo de la zanahoria, y con ayuda de los mapas de procesos se identifican los factores que influyen en su ciclo productivo; además, se determinan los recursos necesarios para cultivar una hectárea de este producto.

En este orden de ideas, se recomienda, para obtener un buen rendimiento en la producción de la zanahoria, tener un cuidado riguroso, desde el momento de la preparación del terreno hasta la cosecha; toda vez que si no hay una vigilancia permanente pueden presentarse enfermedades fitosanitarias o plagas que ponen en riesgo el desarrollo normal de la producción, generando una alta probabilidad de tener un bajo rendimiento.

Según Novoa (2021), para el año 2050 se deberá producir un 70% más de alimentos para satisfacer las necesidades globales del planeta, lo que obliga al sector agrícola a incrementar su productividad, en aras de cubrir y satisfacer las necesidades emergentes, y para esto la implementación de la tecnología en el sector agrícola es cada vez más indispensable.También, con la metodología implementada desde la revisión sistemática de la literatura, se logra obtener, de forma efectiva, fuentes de información valiosa sobre trabajos e informes a nivel mundial, dentro de la comunidad académica y científica, relacionados con este proyecto; además, se observa que la sistematización en la agricultura es un tema que genera mucho interés en investigadores y científicos, y se ve reflejado en el crecimiento en los artículos publicados.

Aunque la agricultura ha atravesado varias fases, pasando de la agricultura 1.0, donde los trabajos son rústicos y rudimentarios, hasta la agricultura 4.0, donde la mayoría de las labores agrícolas están automatizadas, su aplicación se remite a los países desarrollados y que son potencia a nivel mundial, como China y Estados Unidos, pues aunque Latinoamérica es la mayor exportadora neta de alimentos, la productividad y eficiencia en estos países es muy baja, debido a que no se han adaptado adecuadamente a los cambios y desarrollos del entorno mundial.

Finalmente, la digitalización en la agricultura y la adopción de tecnologías y prácticas innovadoras es el factor principal para dar ese impulso a la productividad agrícola y así aumentar el rendimiento, ser más eficiente en el uso de los insumos, adaptarse al cambio climático y conservar, en mayor medida, los recursos naturales; no obstante, las brechas digitales que existen entre la zona urbana y la zona rural, en cuanto a ecosistemas digitales, impide ese avance de la agricultura, por lo que se hace indispensable un mayor acompañamiento del Gobierno, con subsidios, capacitaciones, facilidades para compra de equipos, y redes de internet en las zonas rurales.

Tabla de anexos

Nombre	Desarrollo (Propio/terceros)	Tipo de archivo	Ubicación
ANEXO 1	Propio	XLSX	https://cutt.ly/xZhXSHW
ANEXO 2	Propio	XLSX	https://cutt.ly/HZhXFTj

Referencias bibliográficas

123rf. (s.f.). *Agricultor asimiento recién cosechada zanahorias maduras*. https://es.123rf.com/photo_45578228_agricultor-asimiento-reci%-C3%A9n-cosechada-zanahorias-maduras-en-el-huerto.html

Agricultura & Ganadería. (27 de agosto de 2018). MERCADOS: Bajan los precios de la cebolla, el tomate y la zanahoria. *Agricultura & Ganadería*. https://www.agriculturayganaderia.com/website/mercados-bajan-los-precios-de-la-cebolla-el-tomate-y-la-zanahoria/

Alemany, M. M. E., Esteso, A., Ortiz, Á., & del Pino, M. (2021). Centralized and distributed optimization models for the multi-farmer crop planning problem under uncertainty: Application to a fresh tomato Argentinean supply chain case study [Modelos de optimización centralizados y distribuidos para el problema de planificación de cultivos de múltiples agricultores bajo incertidumbre: aplicación a un estudio de caso de la cadena de suministro argentina de tomate fresco]. *Computers & Industrial Engineering*, *153*, Article 107048. https://doi.org/10.1016/J.CIE.2020.107048

Bajpai, P. (2019). *Who Produces the World's Food* [Quién produce los alimentos del mundo]. Investopedia. https://www.investopedia.com/articles/investing/043015/who-produces-worlds-food.asp

Banco Mundial. (s.f.). *Población rural (% de la población total) - Colombia* https://datos.bancomundial.org/indicator/SP.RUR.TOTL.ZS?locations=CO

Banco Mundial. (2019). *La innovación agrícola y la tecnología son la clave para reducir la pobreza en los países en desarrollo, según un informe del Banco Mundial*. https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2019/09/16/agricultural-innovation-technology-hold-key-to-poverty-reduction-in-developing-countries-says-world-bank-report

Banco Mundial. (2020). *¿Cuál es el futuro de la agricultura en un mundo pospandemia?* https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2020/11/12/future-of-agriculture-in-a-post-pandemic-world-latin-america

Bhatia, M., & Rana, A. (2020). A mathematical approach to optimize crop allocation – A linear programming model [Un enfoque matemático para optimizar la asignación de cultivos: un modelo de programación lineal]. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, *15*(2), 245-252. https://doi.org/10.18280/ijdne.150215

Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). *Manual Zanahoria*. https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14309/Zanahoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cardona Buitrago, A. (2016). *Agricultura en el Oriente antioqueño, transformación rural contemporánea; para el desarrollo local y regional* [Trabajo de grado de maestría, Universidad Eafit]. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/9169/Amalita_CardonaBuitrago_2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Cartagena, J. (Recop.). (1989). *Paquete tecnológico para zanahoria*. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/11712/60030_59853.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Coll, F. (2020). *Estandarización.* Economipedia. https://economipedia.com/definiciones/estandarizacion.html

De Almeida, L. A., Claudio, J. E., Breda, D. H., Simões, A., dos Santos, R., Fonseca, G., Tassinari, R., Marcattig, G. E., Gonzales, G. E., Martins,

N. L., Santos, P. H., de Almeida, B., & Lopes, M. (2021). When, where and what cultivate: An optimization model for rural property planning [Cuándo, dónde y qué cultivar: un modelo de optimización para la ordenación de la propiedad rural]. *Journal of Cleaner Production*, *290*, Article 125741. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.125741

Departamento Nacional de Planeación. (2015). *El campo colombiano: Un camino hacia el bienestar y la paz.* https://www.dnp.gov.co/programas/agricultura/Paginas/Informe-misi%C3%B3n-FInal.aspx

Echavarría, J., Villamizar, M., & Restrepo, S. (2018). *Superando barreras: el impacto del crédito en el sector agrario en Colombia*. Banco Interamericano de Desarrollo. https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/9362/LBR_2018-07?sequence=5&isAllowed=y

El Huerto 2.0. (s.f.). Pulgón subterráneo. *El Huerto 2.0*. https://elhuerto20.wordpress.com/2017/11/11/pulgon-subterraneo/#:~:text=No%20han%20sido%20unos%20pulgones,zona%20cercana%20a%20la%20superficie.

Fuglie, K., Gautam, M., Goyal, A., & Maloney, W. F. (s.f.). *Technology and Productivity Growth in Agriculture Harvesting Prosperity* [Tecnología y Productividad Crecimiento en Agricultura Cosechando Prosperidad]. Worl Bank Group. https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/32350/9781464813931.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Izar, J. M., & González, J. H. (2016). Capítulo IV. Diagrama de Pareto. En J. M. Izar, & J. H. González, *Las 7 Herramientas Básicas de la Calidad* (pp. 79-86). Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. https://www.researchgate.net/publication/303876853_CAPITULO_IV_41_Diagrama_de_Pareto

Jakku, E., Taylor, B., Fleming, A., Mason, C., Fielke, S., Sounness, C., & Thorburn, P. (2019). "If they don't tell us what they do with it, why would we trust them?" Trust, transparency and benefit-sharing in Smart Farming ["Si no nos dicen qué hacen con él, ¿por qué confiaríamos en ellos?". Confianza, transparencia y distribución de beneficios en Smart Farming]. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, *90-91*. https://doi.org/10.1016/j.njas.2018.11.002

Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, *33*(2004), 1-26.

Kovács, I., & Husti, I. (2018). The role of digitalization in the agricultural 4.0 – how to connect the industry 4.0 to agriculture? *Hungarian Agricultural Engineering*, (33), 38-42. https://doi.org/10.17676/hae.2018.33.38

Minetto, B. (12 de febrero de 2019). ¿Qué es DMAIC? *Qualis. Blog de la Calidad*. https://blogdelacalidad.com/que-es-dmaic/

Ministerio de Agricultura. (2016). *Área sembrada y área cosechada del cultivo de la zanahoria 2015.* https://www.agronet.gov.co/Documents/Zanahoria2015.pdf

Ministerio de Agricultura. (2017). *Área sembrada y área cosechada del cultivo de zanahoria 2017*. http://www.agronet.gov.co/Documents/13-ZANAHORIA_2017.pdf

Novoa, N. (2021). *Smart Agro en Estados Unidos*. https://es.scribd.com/document/505796850/Smart-Agro-en-Estados-Unidos

Osorio Granada, J. A. (2018). *Establecimiento del Proceso de Comercialización del Plátano en la Asociación de Productores de Plátano y Otras Frutas del Municipio de Santuario (ASPROCPLAS)* (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Lasallista).

Pahmeyer, C., Kuhn, T., & Britz, W. (2021). 'Fruchtfolge': A crop rotation decision support system for optimizing cropping choices with big data and spatially explicit modeling [Fruchtfolge': un sistema de apoyo a la decisión de rotación de cultivos para optimizar las opciones de cultivo con big data y modelado espacialmente explícito]. *Computers and Electronics in Agriculture*, *181*, Article 105948. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105948

Perondi, D., Fraisse, C. W., Staub, C. G., Cerbaro, V. A., Barreto, D. D., Pequeno, D. N. L., Mulvaney, M. J., Troy, P., & Pavan, W. (2019). Crop season planning tool: Adjusting sowing decisions to reduce the risk of extreme weather events [Herramienta de planificación de la temporada de cultivo: ajuste de las decisiones de siembra para reducir el riesgo de fenómenos meteorológicos extremos]. *Computers and Electronics in Agriculture*, *156*, 62-70. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.013

Quintero, N., Montoya, Q., Arcila, G., Ramírez, E., Ramírez, C., & Valencia, W. (2020). El Nacimiento de un pueblo. Genealogía: Historia económica

de El Santuario hasta mediados del siglo ELABORACIÓN PROPIA. *Huellas y Senderos*, *1*. https://issuu.com/esneidergonzalez/docs/huellas_y_senderos_pdf

Quiroa, M. (2021). *Mapa de procesos.* Economipedia. https://economipedia.com/definiciones/mapa-de-procesos.html

Reyes, C. (2015). *Gusano trozador (Agrotis ipsilon).* Panorama Agro.com. https://panorama-agro.com/?p=484

Rupnik, R., Kukar, M., Vračar, P., Košir, D., Pevec, D., & Bosnić, Z. (2019). AgroDSS: A decision support system for agriculture and farming [AgroDSS: un sistema de apoyo a la toma de decisiones para la agricultura y la ganadería]. *Computers and Electronics in Agriculture*, *161*, 260-271. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.001

Rus, E. (2020). *Diagrama.* Economipedia. https://economipedia.com/definiciones/diagrama.html

Sevilla, A. (2015). *Ley de oferta y demanda.* Economipedia. https://economipedia.com/definiciones/ley-de-oferta-y-demanda.html

Simpson, S. (2021). *Top Agricultural Producing Countries* [Principales países productores agrícolas]. Investopedia. https://www.investopedia.com/financial-edge/0712/top-agricultural-producing-countries.aspx#:~:text=Key%20Takeaways&text=Of%20the%20major%20cereal%20and,in%20exports%20as%20of%202019.

Trendov, N., Varas, S., & Zeng, M. (2019). *Tecnologías digitales en la agricultura y las zonas rurales*. FAO, https://www.fao.org/3/ca4887es/ca4887es.pdf

Vargas Gaitán, K. (2016). *La agricultura colombiana en el contexto de la globalización*. El Campesino.Co. https://elcampesino.co/la-agricultura-colombiana-en-el-contexto-de-la-globalizacion/

Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., & Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges [Sistemas de apoyo a la decisión para la agricultura 4.0: Encuesta y desafíos]. *Computers and Electronics in Agriculture*, *170*, 105256. https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2020.105256