



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.

Juan Pablo Atehortúa Quintero^a,

Oscar Mauricio Castañeda Valencia^b

^a Estudiante de Ingeniería Industrial, Universidad Católica de Oriente, Rionegro - Antioquia

^b Profesor, Asesor del Trabajo de Grado, Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Católica de Oriente, Rionegro-Antioquia

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, pero existe una problemática y es la constante disminución en la fuerza de trabajo en este sector en Colombia y en el mundo, debido a muchos factores que impactan negativamente la economía de estos hogares dedicados a la agricultura, como son la sobreoferta de un mismo producto, los tratados de libre comercio, los aranceles en los insumos agrícolas, los problemas fitosanitarios, el cambio climático, la poca ayuda gubernamental, entre otros, lo que hace que los agricultores migren a las ciudades buscando nuevas oportunidades y mejorar su calidad de vida.

En este documento se expone el caso del municipio de El Santuario, Antioquia, gran dispensa agrícola de Colombia, pero donde la agricultura se practica de forma rudimentaria, con muy poca tecnificación y sin estrategias de planeación, lo que hace que muchos agricultores presenten pérdidas constantes en sus labores. Implícitamente se utiliza la metodología DMAIC para dar respuesta a los objetivos del proyecto. Inicialmente se realiza una revisión sistemática de la literatura donde se explica la importancia de que la agricultura implemente y se adapte a los diferentes desarrollos tecnológicos para aumentar la productividad en el campo y responder eficientemente a las necesidades emergentes, además se presentan varios casos de éxito en diferentes países productores. Se exponen los principales obstáculos que tienen los países menos desarrollados para avanzar hacia una implementación tecnológica agrícola. Con ayuda de herramientas como el diagrama de Pareto se define la zanahoria como el principal producto agrícola cultivado en el municipio de El Santuario. Se diagnostica el estado de la oferta y la demanda de este producto en base al análisis de precios históricos de venta por kilogramo, se realiza una gráfica de líneas para visualizar y analizar 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 desarrolla una herramienta en Excel, que permite una planeación del cultivo al integrar los precios históricos y los recursos e insumos utilizados en un ciclo productivo de este producto agrícola.

1. 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 [1]. 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 seguimos dependiendo en gran parte de este sector para la nuestra[2]. Pero los agricultores se deben enfrentar a una difícil decisión al momento de elegir que sembrar en su cultivo, elección que, en el caso de regiones poco desarrolladas tecnológicamente, toman al azar sin tener en cuenta factores determinantes como la oferta y la demanda, el clima o el tipo de tierra, etc, generando un desequilibrio de la producción agrícola, 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 en su mayoría de los ingresos provenientes de la agricultura, y según estudios realizados sobre la pobreza, por J. Echavarría y otros, en su 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 [3]. 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 se dedicaron a la producción agrícola, pero actualmente, es común observar propiedades abandonadas y familias desplazadas porque en el campo no encuentran garantías de supervivencia.[4]

Uno de los municipios que ha sido gran productor de hortalizas, leguminosas y cereales en el oriente antioqueño, es el municipio de 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[5].

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, como es: maíz, papa, frijol, arveja, batata, arracacha, col, zanahoria, entre otros. [6] 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 forma empírica, además, el espíritu religioso de los agricultores Santuarianos llenaba esta labor de misticismo, como se puede constatar en el periódico el Aldeano de 1888 cuando escribe: “Máximas y principios agrícolas: La ley del trabajo de Dios, ennoblece y enriquece”. 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. Como ésta, se cuentan muchas historias de campesinos que ven la mano de Dios en sus cultivos y no tanto al clima, a la fertilidad de la tierra o la posible planeación de los sembrados. Sin embargo, para el año de 1945 se ve un incremento notorio en la producción, por lo que se creó el proceso de comercialización al por mayor un día en la semana y para la década de los 60 se implementa este mercado para todos los días alcanzando una producción diaria entre 600 y 700 toneladas hasta el año de 1990, las cuales se envían para Rionegro, San Carlos, Turbo y Apartadó, las principales ciudades como la central mayorista de Medellín, Montería, Barranquilla, Cartagena, Sincelejo y Cali, por lo que se le dio al Municipio el calificativo de “La Capital Agrícola de Antioquia” y “El Santuario, despensa agrícola del Oriente Antioqueño”, convirtiéndose esta labor campesina, en el principal motor de desarrollo económico para el municipio, toda vez que de acuerdo a la comercialización de los productos agrícolas se comportaba el comercio de otros elementos como ropa, calzado, electrodomésticos, entre otros. En la actualidad, se comercializa todos los días entre 320 y 340 toneladas denotando una reducción de la producción agrícola en más del 48% en menos de 20 años[7]. Esta reducción se da por varios factores, entre ellas el costo de producción vs la comercialización, la poca planeación para las siembras, carencia de herramientas mecanizadas, de nuevas tecnologías y de políticas gubernamentales que creen estímulos para que las nuevas generaciones encuentren atractivos para la permanencia en el campo y continuar con esta labor que para muchos campesinos es “mal agradecida”.

Sumado a lo anteriormente descrito, la fuerza de trabajo en este sector se ha visto reducida cada vez más en Colombia y en el mundo, 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 desertión, el cambio climático, entre otros[8]. En vista de estas dificultades, la vocación agraria ha ido desapareciendo, al punto 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 y mejorar su calidad de vida. En la siguiente gráfica, emitida por el banco mundial, podemos observar cómo ha disminuido drásticamente el porcentaje de esta población agricultora en el país, pasando de un 53.7% en 1960

hasta un 18.57% en el 2020, ya que las nuevas generaciones no se sienten incentivadas a llevar a cabo una labor donde la inversión sobrepasa la ganancia.



Figura 1. Porcentaje de la población rural en Colombia [9].

Esto ha hecho que la producción se reduzca enormemente, además porque la labor del campo en la región, se continúa desarrollando rudimentariamente a punta de azadón y máquina de riego manual (Figura 2), ya que no se cuenta con tecnología de punta 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.



Figura 2. Fotografía de campesino tomada en El Santuario. Propia.

Para la reducción de costos en la agricultura, tanto en la mano de obra y en el uso de maquinaria agrícola, como en la previsión de gastos especialmente de insumos agroquímicos, abonos y demás, se debe contar con una buena planeación, así se garantiza productos de primera calidad y rotación de productos, de esta manera se evita que el terreno este el menor tiempo posible sin producción, buscando garantizar una mejor forma de comercialización, porque se tiene con mayor precisión los tiempo de suministro a los potenciales clientes para cada producto. De esta manera se alcanza los objetivos de las siembras y por ende se puede mejorar el rendimiento económico.

Por lo tanto, se ha planteado el desarrollo en Excel de una herramienta de planeación, que sea de fácil acceso y manejo por parte de los productores agrícolas. Inicialmente se realizó una investigación que describe la importancia de la agricultura en el mundo para la subsistencia humana y por ende la importancia de implementar herramientas tecnológicas que faciliten y aumenten la productividad de estas labores agrícolas. Posteriormente se da a conocer los productos que más se producen en el municipio de El Santuario, y con un diagrama de Pareto, se determinó que la Zanahoria Larga Vida es el producto más representativo con una participación del 51,2% de la producción total agrícola en el municipio, por lo que se toma a este producto como referente para desarrollar esta herramienta de planeación que permitirá a los agricultores tener bases sobre cuanto sembrar y los recursos necesarios para llevar a cabo su labor, en el tiempo de ciclo del cultivo.

De esta manera se quiere aportar a este sector tan importante que contribuye en gran medida al país y que a la vez es tan olvidado por el gobierno. 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.

2. Planteamiento del problema

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.

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, se evidencia todo lo contrario, el producto pierde valor de manera considerable, lo que para la canasta familiar es beneficioso, 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 que implica 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 nos presenta el DANE en los boletines diarios, semanales y mensuales, bajo la investigación SIPSA (Sistema de información de precios del sector agropecuario), acerca de 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, Antioquia, tienden a representar un margen bastante amplio entre precios mínimos y máximos de los alimentos agrícolas, en diferentes épocas de cosecha como lo podemos evidenciar en la figura 3, donde se muestra la variación del precio de los diferentes productos que se comercializaron en la plaza de mercado del municipio de El Santuario en el lapso de julio a agosto de 2021, donde por ejemplo, vemos un incremento abrupto del precio de la carga de zanahoria, pasando de \$200,000 a \$ 280,000, pero así como se pueden presentar alzas en los precios en períodos cortos, de igual manera el precio de cualquier producto puede 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. Este es el peor escenario que se puede presentar y es lo que a diario viven muchos de los agricultores del municipio, lo que con obvias razones reduce la calidad de vida de estos, desmotiva el trabajo en el campo y hace que cada vez haya más migración de la zona rural a la zona urbana, disminuyendo y limitando la producción agrícola.

DANE		BOLETÍN DIARIO				
INFORMACIÓN PARA TODOS		PRECIOS MAYORISTAS				
SISTEMA DE INFORMACIÓN DE PRECIOS Y ABASTECIMIENTO DEL SECTOR AGROPECUARIO - SIPSA						
PRECIOS DE VENTA MAYORISTA						
El Santuario (Antioquia)						
PRODUCTOS PRIMERA CALIDAD - Boletín Gratuito						
04 de Agosto de 2021						
Producto	Presentación	Unidades	Ronda 1		Ronda 2	
			08:00 - 10:00			
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Frutas						
Otras frutas						
Tomate de árbol	Kilogramo	1 Kilogramo	1.800	2.000	0	0
Tuberculos, raices y platanos						
Papa						
Papa capira	Kilogramo	1 Kilogramo	1.200	1.400	0	0
Papa criolla limpia	Kilogramo	1 Kilogramo	3.500	3.500	0	0
Papa nevada	Kilogramo	1 Kilogramo	1.600	1.700	0	0
Verduras y hortalizas						
Leguminosas						
Frijol verde cargamanto	Kilogramo	1 Kilogramo	2.300	2.500	0	0
Habichuela	Kilogramo	1 Kilogramo	1.800	2.100	0	0
Otras hortalizas y verduras						
Remolacha	Kilogramo	1 Kilogramo	500	600	0	0
Zanahorias						
Zanahoria larga vida	Carga	180 Kilogramo	280.000	300.000	0	0
Hortalizas						
Repollo blanco	Carga	120 Kilogramo	140.000	170.000	0	0

PRECIOS DE VENTA MAYORISTA El Santuario (Antioquia) PRODUCTOS PRIMERA CALIDAD - Boletín Gratuito 05 de Julio de 2021						
Producto	Presentación	Unidades	Ronda 1 08:00 - 10:00		Ronda 2	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Tuberculos, raíces y platanos						
Papa						
Papa capira	Kilogramo	1 Kilogramo	1.300	1.400	0	0
Papa criolla limpia	Kilogramo	1 Kilogramo	2.600	3.000	0	0
Papa nevada	Kilogramo	1 Kilogramo	1.400	1.500	0	0
Verduras y hortalizas						
Leguminosas						
Arveja verde en vaina	Kilogramo	1 Kilogramo	6.400	6.500	0	0
Frijol verde cargamento	Kilogramo	1 Kilogramo	3.000	3.100	0	0
Habichuela	Kilogramo	1 Kilogramo	2.100	2.200	0	0
Otras hortalizas y verduras						
Remolacha	Kilogramo	1 Kilogramo	800	900	0	0
Zanahorias						
Zanahoria larga vida	Carga	180 Kilogramo	200.000	200.000	0	0
Hortalizas						
Repollo blanco	Carga	120 Kilogramo	100.000	140.000	0	0

Figura 3. Boletines diarios precios Mayoristas. DANE. [10].

El problema es que, actualmente a un agricultor se le hace difícil elegir el producto agroalimentario que debería sembrar, a causa de que no tiene conocimiento sobre cuantos 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 genere si quiera los ingresos suficientes para recuperar la inversión que va a realizar en su cultivo. 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 lo 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.

3. Justificación.

El ser humano por naturaleza ha requerido desde sus inicios una variada alimentación, por lo que se vio en la obligación de explotar los recursos naturales de una manera acelerada, de forma que alcanzara a renovarse con prontitud y facilidad. En la actualidad se presenta dificultades para la producción de alimentos que satisfaga las necesidades básicas de la población que, ha venido aumentando década tras década desde hace varios siglos. Este incremento constante de la población a nivel mundial, hace que los países tengan que estarse reinventando o buscando estrategias para el sostenimiento alimenticio de la población. Según la ONU, para el año 2050, la población mundial aumentará de 7.700 millones de personas a 9.800 millones, un tercio más de personas que alimentar, por lo que se deberá producir un 70% más de alimentos para cubrir la demanda, en especial para los países de África que se espera un aumento de un 108% y Asia que se considera que aumente en un 11%, según datos de este organismo.

Por lo anterior, es inevitable que los países que producen alimentos, apliquen tecnología para la producción agrícola que satisfaga la necesidad alimentaria, además se requerirá de una muy buena planeación para esta producción, de lo contrario, no se podrá alcanzar con la disponibilidad de suficiente alimento y una buena distribución de los productos agrícolas, bases para la nutrición y el desarrollo del ser humano[11], por lo que incrementar la productividad agrícola se convierte en una tarea indispensable para satisfacer las necesidades emergentes.

Esta es una razón más por la cual es indispensable aplicar la tecnología en la producción agrícola ya que para atender la demanda de esta población, se requiere adoptar medidas que contribuyan a planear de mejor manera la siembra y cosecha de los productor necesarios para la vivencia del ser humano, sobre todo en los países en

desarrollo, entre ellos Colombia, que debe implementar acciones tendientes a tecnificar la producción agrícola en todo el territorio, para que los campesinos dejen de realizar sus siembras y cosechas manualmente y más bien aprovechen los avances tecnológicos que se van dando día tras día; así se tendrá más control, disponibilidad y mejor distribución de los productos cultivados para el consumo masivo.

Para el caso que nos ocupa, la producción agrícola en el municipio de El Santuario- Antioquia, históricamente se ha caracterizado por desarrollarse de manera artesanal, con un conocimiento empírico, pues los campesinos se transmiten sus conocimientos de generación en generación en forma verbal y práctica, no mediante estudios con instituciones educativas que adelantan algún proceso de formación en esta área. De igual forma hay una caracterización de los campesinos de El Santuario y es la forma de obtención de las semillas de los tubérculos (papa capira, papa criolla o amarilla y papa nevada) y los granos (frijol y arveja), que es a través de propagación propia, esto es que, cuando se cosecha alguno de estos productos, seleccionan la cantidad necesaria para sembrar nuevamente. En el caso de la zanahoria, muy pocas veces se cultiva para semilla, los agricultores prefieren comprar la libra de semilla, la cuál oscila entre \$850,000 y \$900,000.

La preparación del terreno la hacen la mayoría de los campesinos, con azadón, muy pocos contratan maquinaria (tractor) o moto azada para este procedimiento, al igual que la siembra se hace de forma manual. De otro lado, no se realiza análisis de suelos por los altos costos, los insumos los compran casi siempre a crédito aprovechando que los almacenes que expenden estos productos no les cobran intereses. Para el caso del control de plagas, se hacen riegos en su mayoría utilizando bombas de espalda, usando mezclas de pesticidas de baja y mediana toxicidad, para lo cual la Secretaría de Desarrollo Social de El Santuario, asesora a los campesinos en las mezclas de estos productos y los cuidados que deben tener para evitar una intoxicación. No se presta la asesoría para realizar las siembras programadas, ni para ayudar a la tecnificación de la producción.

Para el tema de la comercialización agrícola, se hace con los comerciantes mayoristas de El Santuario, que salen a la plaza de mercado, algunos tienen puestos en la Central Mayorista de Medellín o venden para otras ciudades del país, especialmente para la costa atlántica, lo que infiere en que los precios de venta los coloca los comerciantes no el productor, variando los valores de acuerdo a la demanda y no a la oferta o al balance del costo de producción y la posible ganancia que le pueda quedar al campesino, llevando así en la mayoría de las ocasiones a obtener pérdidas en la producción. Esto por la falta de formación para llevar registros contables para que al momento de la cosecha se tenga un buen cálculo de gastos que le ayude al campesino a determinar el precio de venta y así dejar de estar sujeto al amaño del comercio al por mayor.

Lo anterior expresa que los agricultores de El Santuario siguen realizando una producción agrícola con unas características tradicionales y con bajos nivel de tecnificación, igualmente los productores carecen de sistemas de información que permitan articular la producción a la demanda, no se realizan siembras organizadas o planeadas, ya que no existe un proceso de planificación que permita realizar esta gestión, cada productor siembra con libertad y de acuerdo a su capacidad y se rige por los tiempos en que alguno de los productos se encuentre en escasez o con buenos precio en el momento.

Es de aclarar que, en El Santuario, se siembra variedad de productos en pequeñas parcelas de baja extensión territorial, pues los predios donde se cultivan son minifundistas, y en una finca de 3 o 4 hectáreas que son las más comunes en el Municipio, se siembre papa de varias calidades, repollo, zanahoria, arveja, frijol, remolacha etc. Convirtiendo el predio, en una gran variedad de producción de alimentos, esto muestra que las decisiones de siembra no están relacionadas con un proceso de planificación, sino con una aspiración de comercialización o con una posible demanda; por lo tanto, en el aspecto comercial el panorama es igualmente desalentador, el precio es puesto por la plaza, basado en el estado de abastecimiento del mercado.[7]

4. Materiales y Métodos.

4.1. Objetivo General:

Demostrar la importancia de la implementación de la tecnología en el campo y desarrollar una herramienta digital que proporcione datos estadísticos y permita planificar y optimizar la producción en el sector agrícola de El Municipio de El Santuario.

4.2. Objetivos específicos:

- 1 Definir cuál es el producto agrícola más representativo en el municipio de El Santuario y diagnosticar su oferta y demanda.
- 2 Identificar los factores que influyen en la planeación, siembra, cosecha, postcosecha y comercialización del producto agrícola definido .
- 3 Diseñar una estructura de información que permita tener datos que soporten el comportamiento de los factores identificados anteriormente.

5. Marco Teórico.

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:

5.1. Diagrama de Pareto:

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.

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. [11]

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, siembran y cosechan este producto.

5.2. Bases de datos:

Son estructuras o repositorios que almacenan información ya sea de forma física como una biblioteca, archivos históricos o de gestión o de forma electrónica como Excel u otros programas de sistemas en los que se puede recuperar información de forma ágil y estructurada para su posterior análisis. [12]

Algunas de las bases de datos que se consultaron y de donde se extrajo la información para su posterior análisis, pertenecen al DANE, de dónde se encontraron los precios históricos de los productos agrícolas y de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVA, dónde se extrajo las hectáreas cosechadas por municipio, la producción y el rendimiento del cultivo.

5.3. 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 [13]. Estos diagramas permitieron después de su debida investigación, plantear una información clara y precisa de los recursos necesarios que se deben utilizar en un ciclo productivo agrícola.

5.4. Diagrama:

Es una representación gráfica de una idea, proceso, sistema de información, etc. que permite conocer, interpretar y analizar información de forma simple y esquematizada. [14]

5.5. Gráficas de análisis de tendencia:

Estas gráficas ilustran datos comparados con el tiempo y permiten por medio de una línea, observar la tendencia del comportamiento de la serie de datos analizada [15]. Esta gráfica se utilizó para analizar la variación de los precios en 3 períodos diferentes y realizar una planeación del cultivo, en base a la línea de tendencia.

5.6. Metodología DMAIC:

Es 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.[16]. 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.

5.7. Estandarización de procesos:

Es el resultado de elaborar parámetros o normas para realizar procedimientos con características uniformes para la elaboración de un producto o prestación de un servicio. [17]. Se elabora un procedimiento para el ciclo productivo de un cultivo.

6. Resultados

6.1. Revisión sistemática de la literatura.

Para la búsqueda de información se recurrió a la metodología de revisión sistemática de la literatura propuesto por Barbara Kitchenham [18], que ofrece un procedimiento para una búsqueda más objetiva y específica, filtrando la información más relevante del tema a investigar. Consta de las siguientes fases:

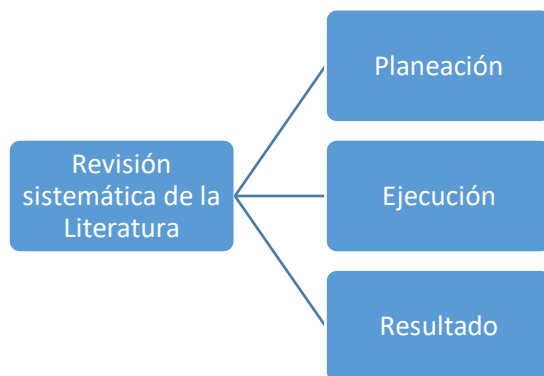


Figura 4. Fases de la Revisión sistemática de la literatura basado en Barbara Kitchenham.

6.1.1. 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 claves que se consideran más relevantes para la búsqueda de la información y finalmente se valida la pertinencia de la información basados en unos criterios de inclusión y exclusión de los resultados de la búsqueda.

6.1.2. 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. Se plantea 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?

6.1.3. Ecuaciones de búsqueda.

Se formularon 3 ecuaciones de búsqueda, 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).

6.1.4. Criterios de inclusión y exclusión.

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

6.1.4.1. Criterios de inclusión:

- Material bibliográfico que incluya 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 evidencia trabajos similares de lo que se busca implementar.
- Material que incluya metodologías para implementar sistemas de información en la labor de la agricultura.

6.1.4.2. Criterios de exclusión:

- Material bibliográfico duplicado.
- Material bibliográfico que no incluya 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 claves no incluya relación entre las palabras definidas en las ecuaciones de búsqueda.

6.1.5. Ejecución.

Con un enfoque más claro de la investigación que se desea realizar, se procede a buscar en la literatura, basado en los procedimientos de la fase de planeación. El resultado de la búsqueda arroja 330 artículos con los que se busca dar respuesta a la pregunta de investigación. Posteriormente se procede a realizar la depuración de estos artículos (**Figura 5**) basados en los criterios de inclusión y exclusión. Al finalizar esta etapa, se seleccionan un total de 72 documentos que se utilizaron para realizar el estado del arte de este documento.

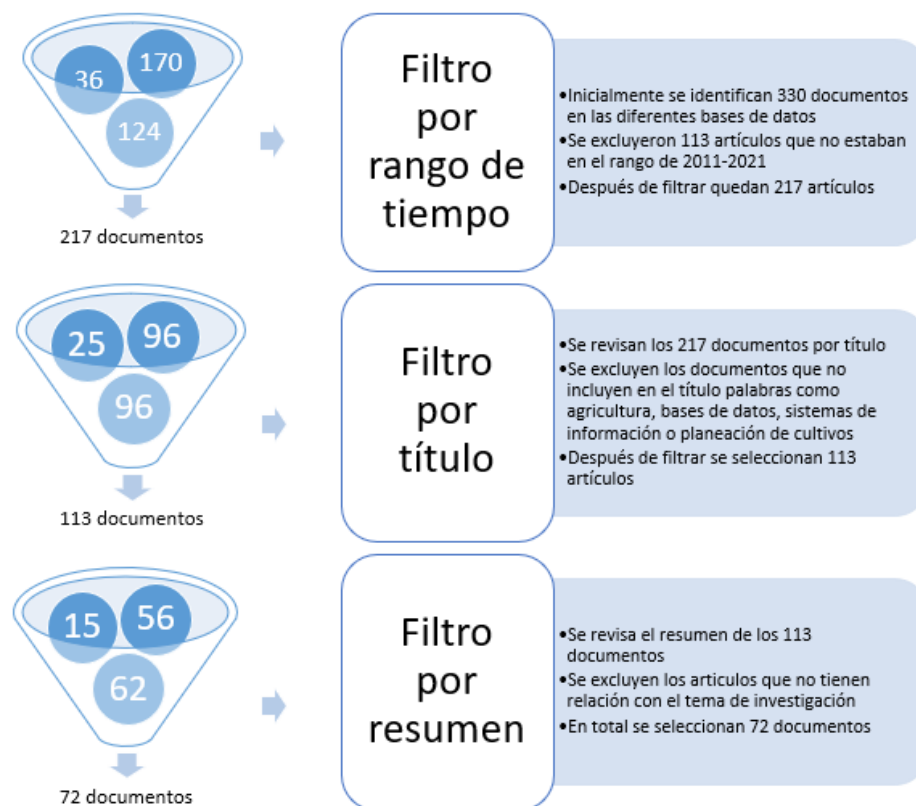


Figura 5. Selección y depuración de los artículos, elaboración propia.

6.1.6. Síntesis de la información.

En esta fase se realiza la síntesis de la información encontrada que ayuda con el desarrollo de la investigación y se procede a realizar el informe.

6.1.7. Informe.

Después de realizar el análisis de la información, se realiza un informe de la investigación realizada. Se encuentra que este tema de investigación ha despertado el interés de muchos investigadores; en las siguientes gráficas podemos ver el resultado de la búsqueda por cada ecuación definida:

Todas las gráficas que se muestran a continuación, relacionadas con las ecuaciones de búsqueda, se extrajeron o se elaboraron con referencia de la base de datos SCOPUS.

En la figura 6, para la primera ecuación de búsqueda “all (*farming*) and all (*information systems*)and all (*database*)”, podemos evidenciar que entre 2011 y 2021 que fue el intervalo que se tomó en cuenta, se presenta

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, pero vemos 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 vemos en la tendencia de la 2° ecuación de búsqueda. Sobre agricultura, diversificación y sistemas de información, palabras claves correspondientes a la tercera ecuación de búsqueda, observamos 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.

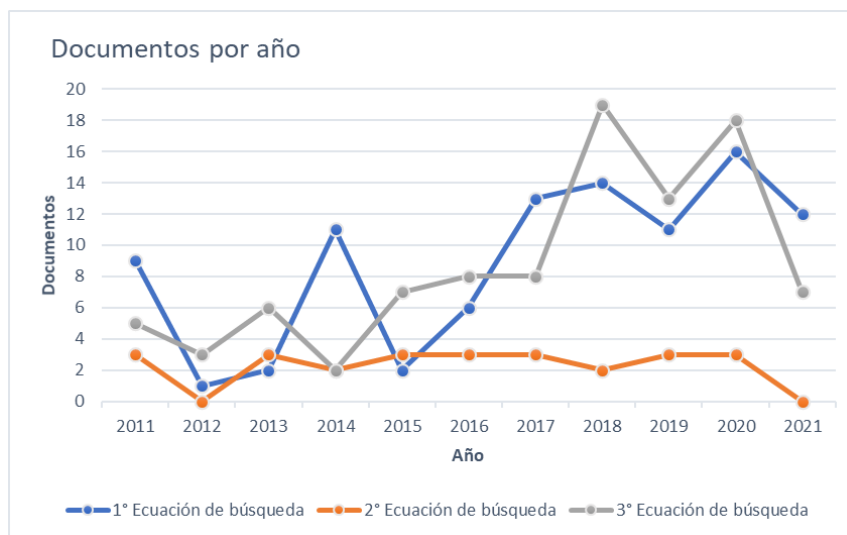


Figura 6 Gráfica de documentos por año. Elaboración propia.

Respecto a los autores de los artículos, encontramos que sobre lo que más se ha escrito es sobre la relación entre agricultura y sistemas de información con diversificación y bases de datos, con dos artículos por autor como lo podemos apreciar en las figuras 7 y 9, correspondientes a las ecuaciones de búsqueda 1 y 3 respectivamente. Para la segunda ecuación sólo se ha publicado un documento por autor (**figura 8**).

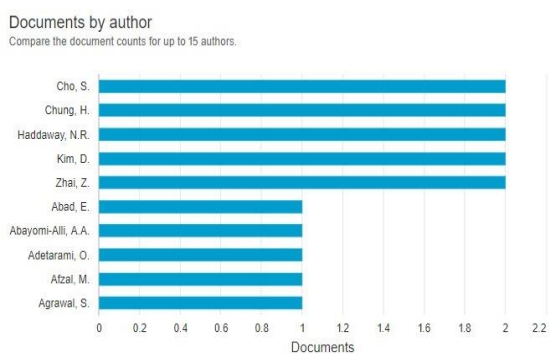


Figura 7. Documentos por autor, 1° ecuación.

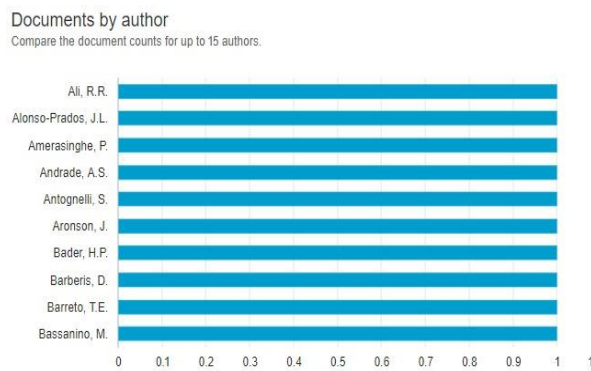


Figura 8. Documentos por autor, 2° ecuación.

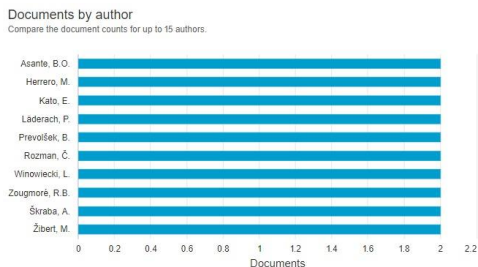


Figura 9. Documentos por autor, 3° ecuación.

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 el cual el desarrollo tecnológico es mucho más avanzado.

Podemos evidenciar que además predominan los países asiáticos y europeos, con una escasa 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.

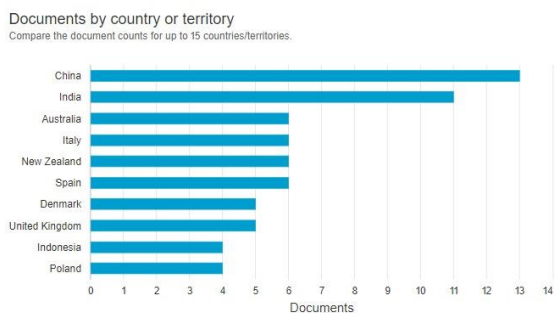


Figura 10. Documentos por país, 1° ecuación.

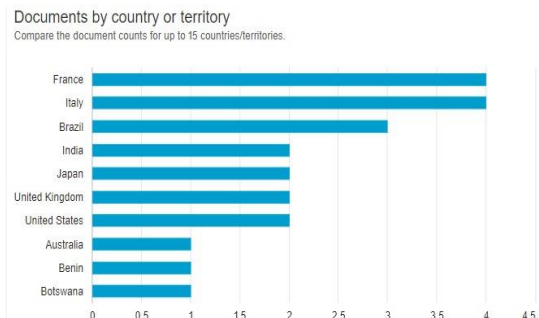


Figura 11. Documentos por país, 2° ecuación.

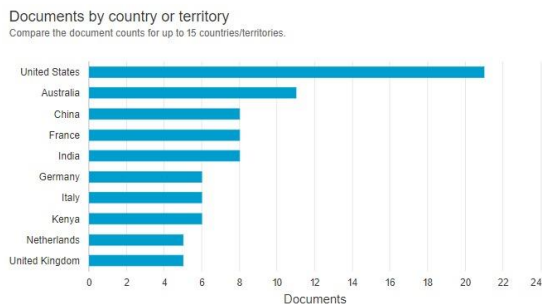


Figura 12. Documentos por país, 3° ecuación.

Finalmente, lo que más se está escribiendo son artículos de investigación con un porcentaje bastante amplio con respecto a los temas tratados, las 3 gráficas arrojan resultados por encima del 68%, predominando este tipo de documento sobre otros como revistas, capítulos de libros o conferencias.

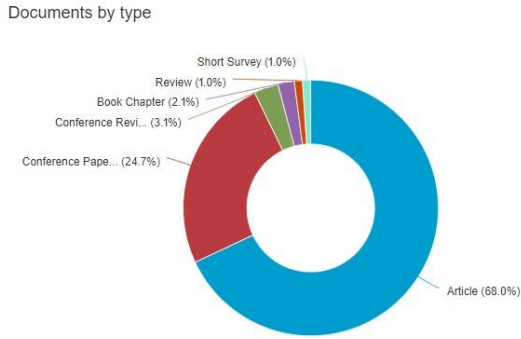


Figura 13. Documentos por tipo, 1° ecuación.

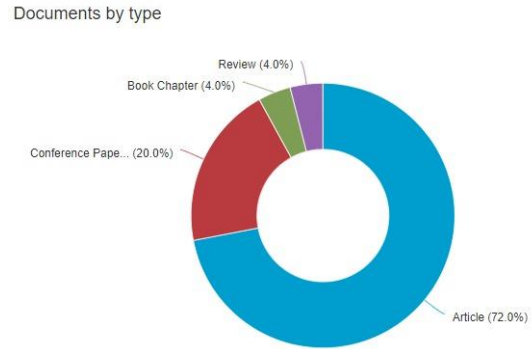


Figura 14. Documentos por tipo, 2° ecuación.

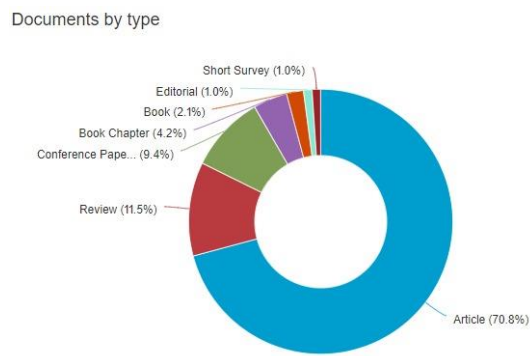


Figura 15. Documentos por tipo, 3° ecuación.

Gracias a esta metodología, de los documentos que se recopilaron, se realizó la siguiente investigación:

6.2. Importancia de la implementación de la tecnología en la agricultura.

Un tema importante que es tratado por muchos autores en diferentes artículos y revistas, abordan que, la práctica de la agricultura ha atravesado varios cambios progresivos que han permitido aumentar la eficiencia, además de facilitar la forma de realizar esta labor. Varios autores han definido esta transición como una evolución que va desde la agricultura 1.0 hasta la agricultura 4.0, como se aprecia en la Figura 16.

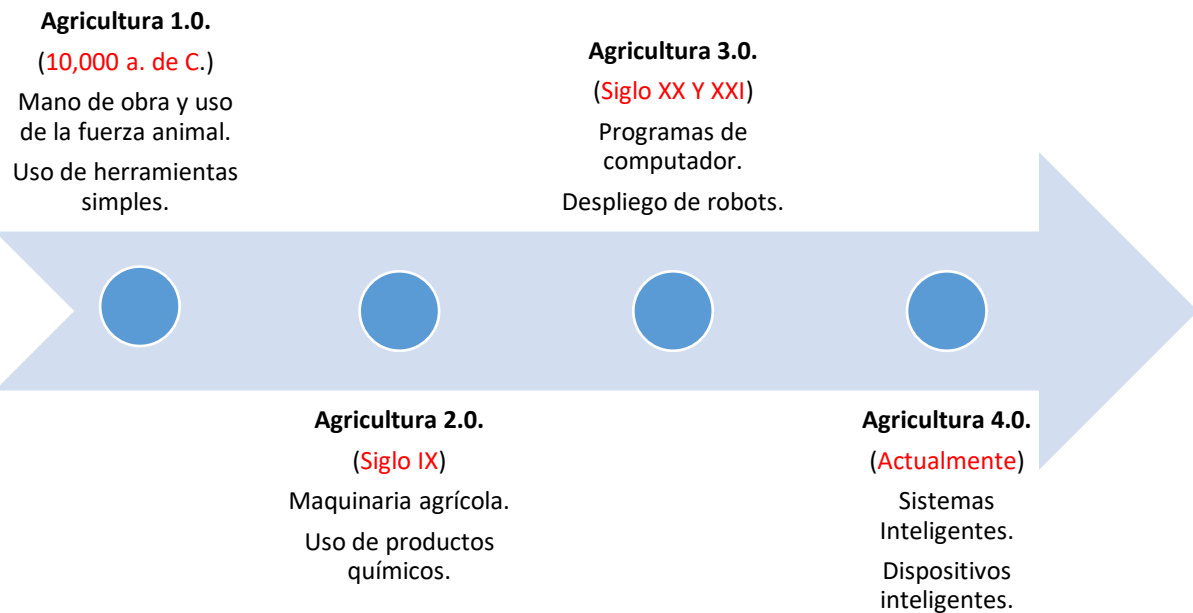
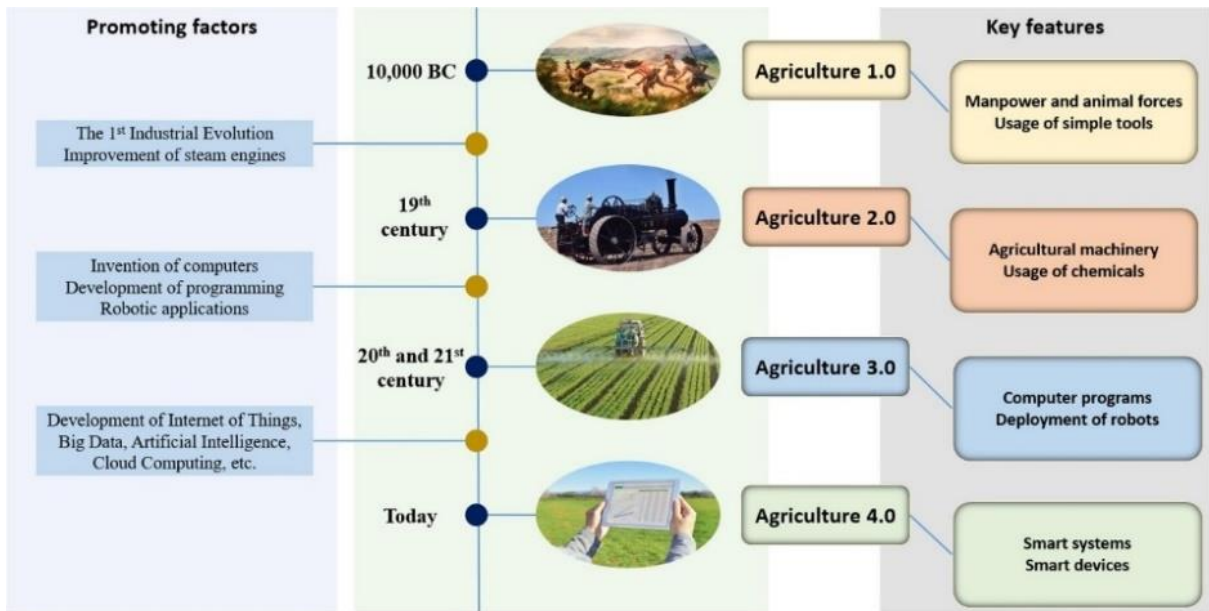


Figura 16. Evolución de la agricultura a lo largo del tiempo. [19]

A continuación se describe brevemente cada una de las 4 fases de la agricultura [20]:

Agricultura 1.0

La de menor avance tecnológico y la que implicaba mayor esfuerzo, en esta fase se utilizan herramientas tradicionales y manuales derivando en una baja productividad, se practica desde nuestros ancestros, unos 10,000 AC 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, facilitaba considerablemente tareas que implicaban mucho esfuerzo y gran cantidad de mano de obra o tiempo.

Agricultura 3.0

Para el siglo XX, con el rápido avance de la informática y la electrónica, surgió la Agricultura 3.0, también llamada “Agricultura de precisión” (**Figura 17**) cuando las señales militares GPS estuvieron disponibles para el público. La automatización de los trabajos permitía en base a 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.

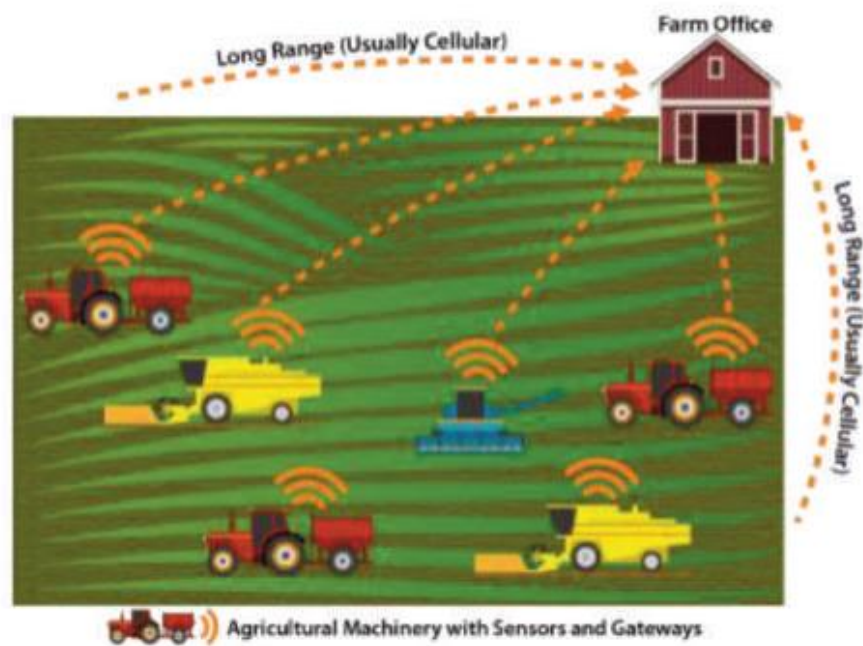


Figura 17. Agricultura de precisión [20].

Con la aparición de la computadora, la gestión de datos por medio de softwares 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 características de esta nueva tendencia de la agricultura. Esta fase está enmarcada por el aprovechamiento de datos para optimizar el sistema de producción agrícola, y con el desarrollo de aplicaciones y softwares los agricultores cuentan con herramientas para tomar decisiones favorables para sus intereses.

Aunque Latinoamérica es reconocida a nivel 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, por lo que 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[21].

La agricultura 4.0 es aplicada en mayor medida en países desarrollados y que son potencia a nivel mundial en este sector como lo son Estados Unidos, China, India y Rusia, pero aun así 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.

6.3. 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 [22]. 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.

Sector agroalimentario	La industria agroalimentaria, responsable de alimentar al planeta, supone \$7,8 billones y emplea a más del 40% de la población mundial. ¹
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. ²
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. ³
Digitalización	El 80% de las empresas del sector espera obtener ventajas competitivas de la digitalización. ⁴
Farm Management Software	En EE. UU. el mercado del software para gestión de granjas puede crecer hasta 1.620 millones de dólares en 2018. ⁵
USDA	En 2017 había 122.626 hectáreas bajo cultivo en el país, según el departamento de agricultura estadounidense. ⁶
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. ⁶

Figura 18. Cifras clave de la agricultura de Estados Unidos y el mundo [23].

Estados Unidos es reconocido como una superpotencia en el mercado de los alimentos. Aun cuando sólo el 1% de su población laboralmente activa esta empleada en esta labor, sigue siendo uno de los principales productores de alimentos ocupando el tercer lugar a nivel mundial (**Figura 20**) pero además es el que mayor ingresos genera con sus exportaciones de alimentos en el mundo (**Figura 21**), esto debido a que el sector agrícola en este país está altamente mecanizado[24]. Es líder en implementación de “Tecnología agrícola” o “Agricultura inteligente” que les permite un uso más eficiente de los recursos pudiendo aumentar así considerablemente sus rendimientos y sin necesidad de mucha mano de obra, para lo cual utiliza drones, sensores, satélites y GPS en su 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.[25]




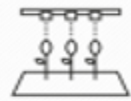

- 
 - **Agricultura de precisión.**
- 
 - **Sensores.**
- 
 - **Robótica y drones.**
- 
 - **Riego inteligente.**
- 
 - **Software de gestión granjas.**

Figura 19. Principales actores en el mercado agrícola de Estados Unidos. [23]

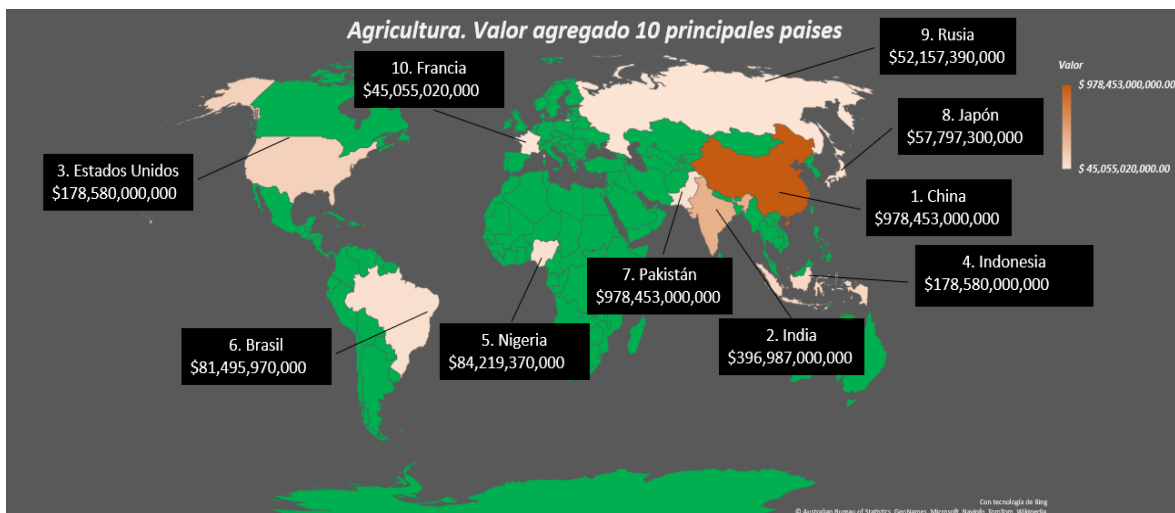


Figura 20. Agricultura, valor agregado (US\$ a precios actuales) - Ranking de los 10 países más representativos. [26]



Figura 21. Top de los países exportadores de alimentos por su valor (US\$ a precios 2018). [26]

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 ha ido incorporado metodologías y estrategias, avanzando en este camino de innovación, que 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 su calidad de vida.

6.4. 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)[27], un sistema basado en la web para apoyar la toma de decisiones que brinda recomendaciones sobre que 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 entre otros 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 incertidumbre teniendo en cuenta información de varios agricultores que permitió mejorar el margen de ganancia de estos y satisfacer de manera más eficiente la demanda del mercado [28].

[29] 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.

AgroDSS [30] es otro sistema de apoyo para la toma de decisiones, que brinda 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 les permite 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 [31].

Todas estas herramientas y desarrollos tecnológicos brindan a los agricultores apoyo para 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 varios 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 [32]. Pero 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.

6.5. 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 llevar a la agricultura a satisfacer las necesidades emergentes, pero 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 queremos que todos nos beneficiemos de la nueva sociedad digital[33], en ese sentido 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 requiere 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, condiciones y uso de la tierra, para favorecer y ayudar a los agricultores a tomar decisiones más acertadas y obtener mejores beneficios[34], pero para lograr esto se necesita apoyo del gobierno, 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 brindar 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 [35], por lo que es indispensable empezar a cerrar estas brechas y buscar ayudas gubernamentales que permitan capacitar y brindar mayores apoyo 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, y 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%. [36]

Lo que se quiere lograr con esta herramienta 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. Se pueden disponer de varios softwares para diseñar estas bases, entre los cuales 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, crear un resumen de los datos que sirven para la toma de decisiones.

6.6. 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, correspondiente 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%. **Figura 22.**

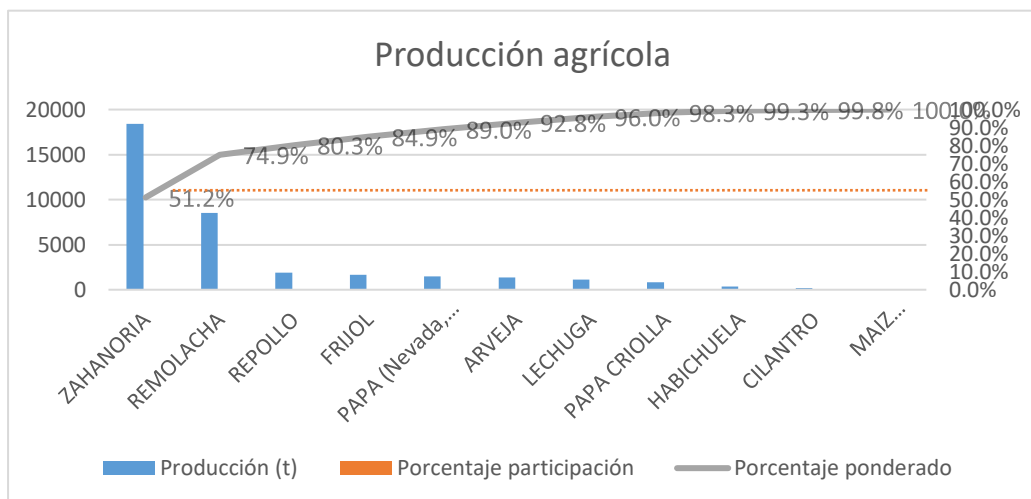


Figura 22. Diagrama de Pareto de la producción agrícola de El Santuario para el segundo semestre del 2020 (EVAS) Elaboración propia.

De otro lado, según datos de la Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano (Agronet), adscrita al Ministerio de Agricultura de Colombia, a partir del año 2014 hasta el 2017 (fecha de publicación del último informe) el municipio de El Santuario, ocupa el primer lugar en la producción de zanahoria a nivel nacional con una participación del 20,3% y del 15% respectivamente **Figura 23**.

Zanahoria

Evaluaciones Agropecuarias Municipales

MINAGRICULTURA

Colombia Siembra

GA

TODOS POR UN NUEVO PAIS

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

No.	Municipio	Departamento	Área Sembrada (ha)			Área Cosechada (ha) *			Producción expresada en hortaliza fresca						
			2014	2015	Variación (%)	2014	2015	Variación (%)	Producción (t) *		Variación (%)	Participación (%)	Rendimiento (t)		Variación (%)
			2014	2015		2014	2015		2014	2015		2014	2015		
		TOTAL	7.785	7.817	0,4	7.629	7.373	-3,3	222.957	216.170	-3,0	100,0	29,23	29,32	0,3
1	El Santuario	Antioquia	1.085	1.090	0,5	1.085	1.095	0,9	43.400	43.800	0,9	20,3	40,00	40,00	-
2	San Pedro de los Milagros	Antioquia	288	286	-0,7	164	290	76,8	11.480	21.030	83,2	9,7	70,00	72,52	3,6
3	Madrid	Cundinamarca	505	640	26,7	580	550	-5,2	19.556	18.653	-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	650	570	-12,3	13.000	11.400	-12,3	5,3	20,00	20,00	-
7	Marinilla	Antioquia	319	330	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	233	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	5.815	-37,6	2,7	27,41	23,54	-14,1
10	Subachoque	Cundinamarca	185	160	-13,5	193	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	1,6
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

Figura 23. Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de zanahoria principales municipios productores 2015-2016 [37].

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

No.	Municipio	Departamento	Área Sembrada (ha)			Área Cosechada (ha) *			Producción expresada en hortaliza fresca						
			2016		Variación (%)	2016		Variación (%)	Producción (t) *		Variación (%)	Participación (%)	Rendimiento (t)		
			2016	2017		2016	2017		2016	2017			2016	2017	
	TOTAL		10.409	10.792	3,7	8.685	10.046	15,7	247.769	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	Tunja	Boyacá	1.005	1.146	14,0	530	1.063	100,6	21.200	42.520	100,6	13,9	40,00	40,00	-
3	Túquerres	Nariño	974	1.010	3,7	538	940	74,7	15.920	28.200	77,1	9,2	29,59	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	10.692	15.324	43,3	5,0	56,57	74,03	30,9
7	Ventaquemada	Boyacá	600	680	13,3	490	540	10,2	9.800	10.800	10,2	3,5	20,00	20,00	-
8	Soracá	Boyacá	485	390	-19,6	90	440	388,9	1.700	8.590	405,3	2,8	18,89	19,52	3,4
9	Pasto	Nariño	565	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	8.970	7.500	-16,4	2,4	32,62	30,00	-8,0
11	Samacá	Boyacá	220	230	4,5	216	220	1,9	5.688	6.380	12,2	2,1	26,33	29,00	10,1
12	Tausa	Cundinamarca	170	270	58,8	155	207	33,5	4.650	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	207	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	1.263	5.188	310,8	1,7	37,15	37,06	-0,2

Figura 24. Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de zanahoria principales municipios productores 2016-2017 [38].

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

6.7. Análisis de precios de la zanahoria.

En la **figura 25**, observamos la variación de los precios que tuvo la zanahoria desde el año 2018 hasta el año 2020, según información consignada en las bases de datos del DANE.

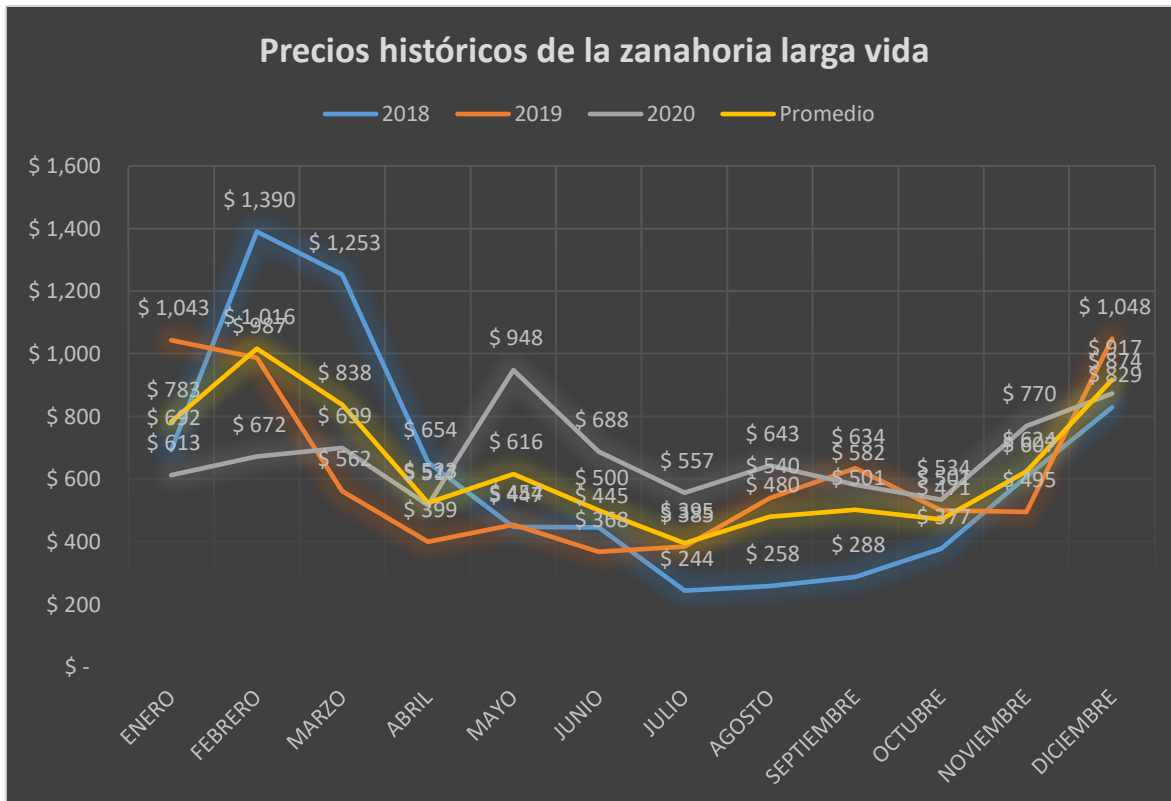


Figura 25. Variación del precio de la Zanahoria Larga Vida (2018-2020) [10].

Según lo que se observa en la gráfica, el comportamiento de los precios en los meses de enero a diciembre entre los años 2018 a 2020, tienen una fluctuación entre los \$1.390 y \$244 por kilogramo, Se nota una variación significativa en el año 2018, en donde encontramos que en 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, que se desploma 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 [39].

De acuerdo con la gráfica anterior, se puede evidenciar una tendencia alcista entre los meses de noviembre a febrero, a diferencia del comportamiento de los meses entre marzo y octubre donde hay un aumento constante de la producción, lo que hace que el precio se mantenga con valores bajos. Podemos observar de igual manera, que los precios no mantienen un comportamiento estable para los primeros meses del año, pero tienden a estabilizarse en el segundo semestre.

Debido a que los productos agrícolas, al igual que cualquier otro producto obedece a la ley de la oferta y la demanda, (cuando hay exceso de oferta, la cantidad ofrecida es mayor que la cantidad demandada, el precio supera el punto de equilibrio, por lo que los oferentes deben 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 disminuya y se establezca el punto de equilibrio [40]), podemos decir que la producción es inversamente proporcional al precio del producto. Por ende, nos basaremos en el precio para determinar cuándo hay escasez y cuando hay sobreoferta en este caso de zanahoria larga vida.

6.8. Caracterización de la Zanahoria.

Con base en los elementos descritos en el documento publicado por la cámara de comercio de Bogotá denominado “Manual Zanahoria”, se realiza una caracterización de la zanahoria, abarcando su origen, generalidades, ciclo del proceso productivo y tiempos de ciclo para cada proceso. [41]

6.8.1. Origen de la zanahoria.

La zanahoria es una hortaliza tipo raíz, de la familia “*Umbelliferae*”, conocida con el nombre científico “*Daucus carota*”, originaria de África, el Mediterráneo y Asia, la cual antes del siglo XVI, no se empleaba como alimento sino como tratamiento para enfermedades.

6.8.2. Algunas variedades:

Berlicum, Hicolor, Becoro, Flacoro, Primato, Nantes, Forto, Danvers, Chantenay, La roja Nancy y Nugget.

6.8.3. Principales países productores:

A nivel mundial se producen 44.762.859 toneladas de zanahoria, siendo China el principal país productor con 21.482.971 ton, seguido por Uzbekistán con una producción de 2.769.613 ton, 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 ton al año.

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

Figura 26. Principales países productores de Zanahoria. [42]

6.9. Generalidades del cultivo de la zanahoria.

6.9.1. Condiciones agroclimatológicas.

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

Temperatura: Óptima entre 15° y 21 °C. Mínima 9° y Máxima 28° C.

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.

6.9.2. 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 del mismo, no supere el 15%, el material orgánico debe ser superior al 3.5% y su PH entre el 5.8 y el 7.

6.9.3. 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° 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 es en temperaturas altas, se obtiene pérdida de coloración y aceleración del grado de madurez, por lo que se produce raíces muy cortas y si por el contrario 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.

6.9.4. Descripción botánica y morfológica.

La zanahoria es una planta herbácea y dependiendo del terreno, el clima y la humedad en el que se siembre, se cosecha cada 3 meses y medio a 4 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.




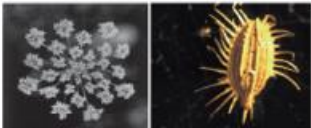
<p style="text-align: center;">Tallo</p>  <p style="text-align: center;">Figura 1. Tallo de zanahoria. Fuente: (Gaviola, 2013)</p>	<p>Durante el ciclo vegetativo se encuentra a ras del suelo. Una vez comienza el ciclo reproductivo, el tallo se alarga y en su ápice se desarrolla la inflorescencia primaria.</p>
<p style="text-align: center;">Hojas</p>  <p style="text-align: center;">Figura 2. Hojas de zanahoria. Fuente: (Gaviola, 2013)</p>	<p>Son pubescentes, con segmentos lobulados. Los peciolos son largos y expandidos en la base. Aparecen 1 o 2 semanas después de la germinación.</p>
<p style="text-align: center;">Raíz</p>  <p style="text-align: center;">Figura 3. Hojas de zanahoria. Fuente: (Gaviola, 2013)</p>	<p>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.</p>
<p style="text-align: center;">Flores, semillas y frutos</p>  <p style="text-align: center;">Figura 4. Flores y fruto de zanahoria. Fuente: (Gaviola, 2013)</p>	<p>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.</p>

Figura 27. Descripción botánica y morfológica. [41]

6.9.5. 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 genera en el follaje los órganos reproductivos y se termina de desarrollar el tallo.




<p>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.</p>	 <p>Figura 1. Período de desarrollo de raíces absorbentes Fuente: (Tradecorp, 2014)</p>
<p>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.</p>	 <p>Figura 2. Engrosamiento Fuente: (Tradecorp, 2014)</p>
<p>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.</p>	 <p>Figura 3. Fase reproductiva. Fuente: (Tradecorp, 2014)</p>

Figura 28. Ciclo fenológico del cultivo. [41]

6.10. Ciclo productivo de la zanahoria.

Desde la planeación del cultivo hasta su comercialización, el ciclo productivo de la zanahoria consta de 6 fases:



Figura 28. Ciclo productivo de la zanahoria.[41]

A continuación, se realiza una descripción de cada una de las fases, para las cuales se le elaboró a cada una un mapa de procesos con las etapas de cada fase 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).

6.10.1. Planeación

Este es uno de los procesos más importantes en el ciclo productivo de la zanahoria, pues en este se va a determinar 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.

Habiendo destinado el terreno y de acuerdo con las mediciones anteriores, se debe seleccionar una semilla que sea apta para las condiciones del terreno, la cual, para el caso de El Santuario, Antioquia, en los últimos años, las que prefieren tanto los agricultores como los comerciantes, es la de tipo Berlicum como 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.

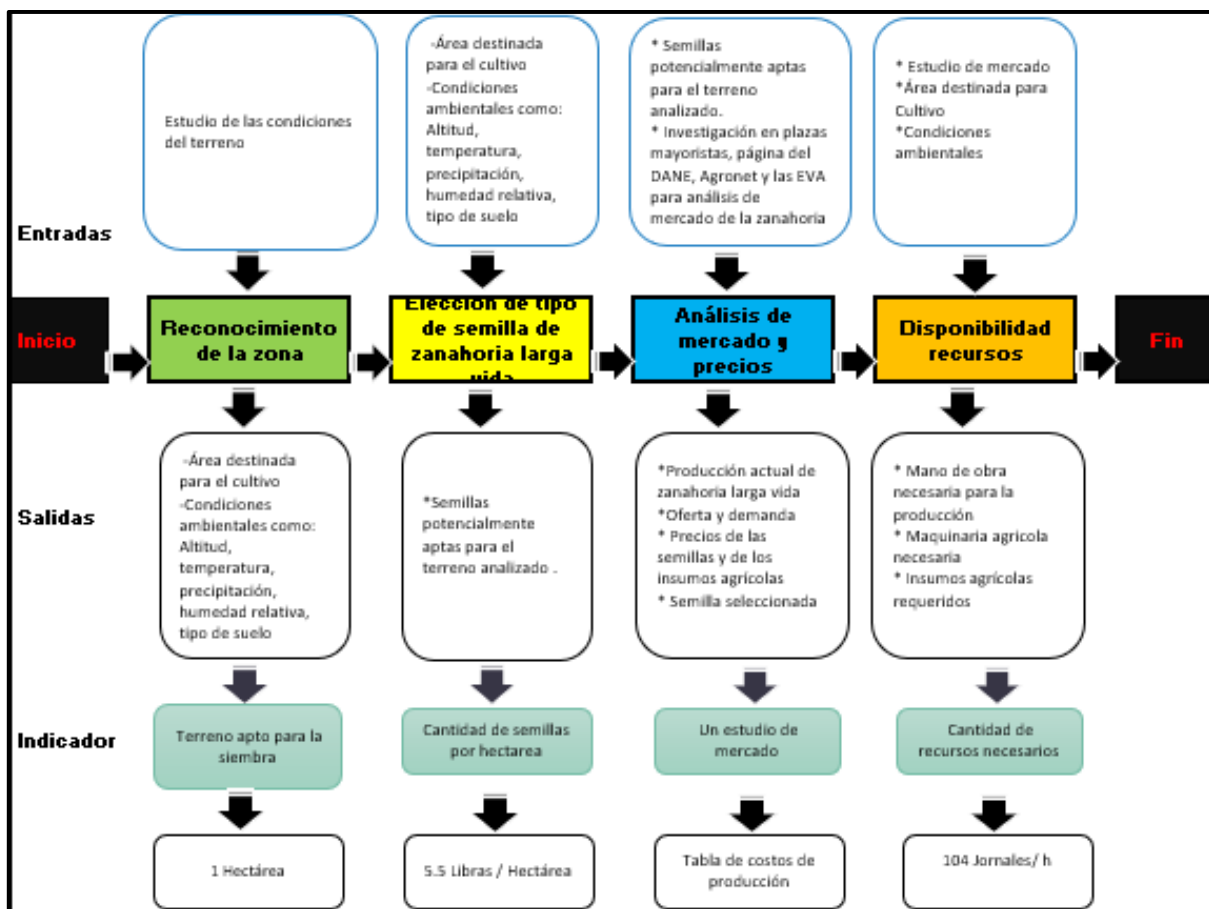


Figura 29. Mapa de proceso de planeación.[41]

6.10.2. Establecimiento del cultivo.

6.10.2.1. Preparación del terreno:

En la preparación del terreno, el agricultor debe mullir la tierra a una profundidad de 25 a 35 cm, en los que se puede incorporar 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 una de otra entre 40 a 45 cm lo que permite un buen drenaje y aireación además de facilitar las demás labores del cultivo.

6.10.2.2. 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 o no ameritan el uso de la maquinaria agrícola o por la dificultad del 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 30. Elaboración de surco y siembra de semilla. [43]

Una vez se depositan las semillas en cada surco, se procede a taparla de manera muy superficial con abono orgánico o si la tierra se encuentra bien abonada, se tapan con la misma tierra de la cama.

6.10.3. Fertilización:

Una vez tapada la semilla, se espera de ocho a diez días a que nazca las plantas, de ahí en adelante, se debe estar vigilante con el manejo de maleza, pues las plántulas deben estar libre de malezas, esta labor se debe realizar manualmente, para evitar que se arranque las matas de zanahoria. Se espera entre 35 a 40 días para hacer un primer raleo, lo que 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. 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 que se había removido. Se debe tener cuidado que la raíz de la zanahoria quede totalmente tapada con tierra, no expuesta al sol para evitar que crezca la raíz con color verdoso.



Figura 31. Raleo y Aporque. [43]

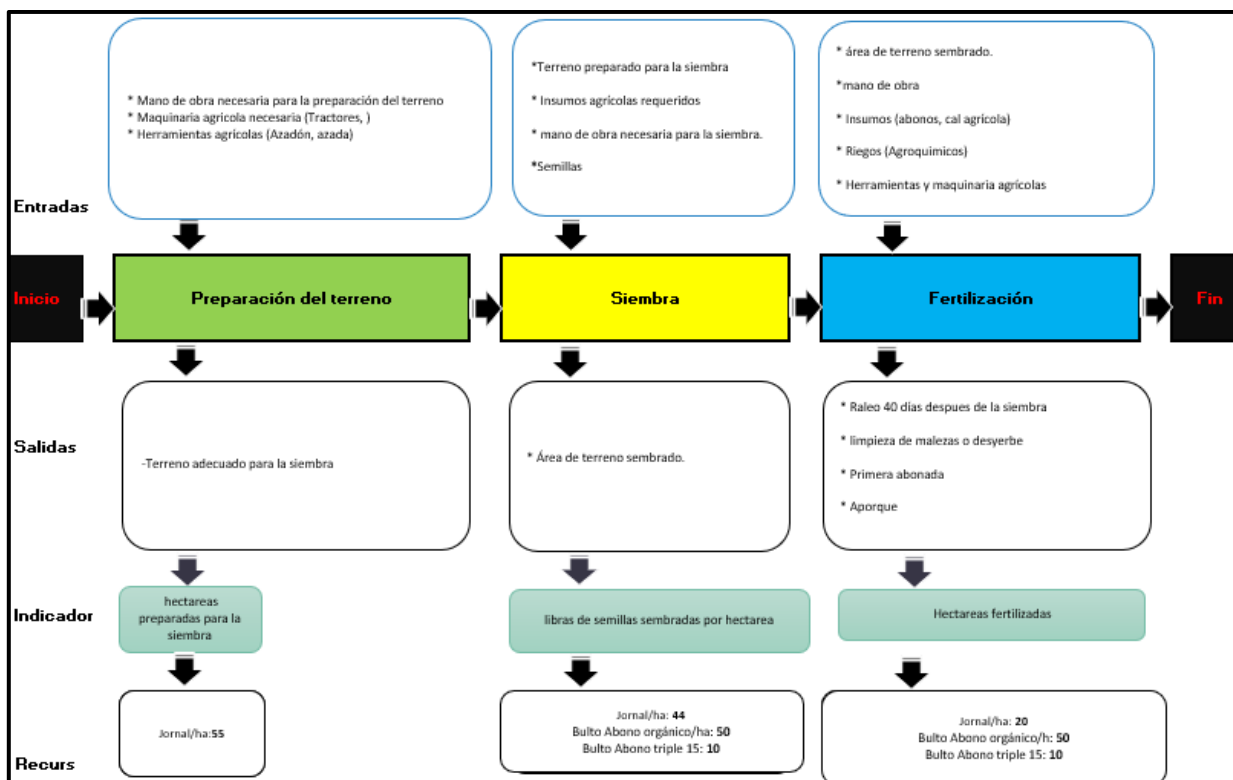


Figura 32. Mapa de proceso de establecimiento del cultivo [41].

6.10.4. Manejo del cultivo.

6.10.4.1. 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, por lo que se requiere visita directa al cultivo y de acuerdo al avance en que se vea, se elabore 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.

6.10.4.2. 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 debe tener en cuenta las recomendaciones hechas en las visitas técnicas, y acatar el plan de control que éste haya elaborado, tal como plan de riegos, 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, ésta puede morir. 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 vigilantes de las posibles plagas que pueda darse en el cultivo, como los trozadores o tierreros, pulgón de la zanahoria, lorito verde, etc.



Figura 33. Gusano trozador (*Agrotis ipsilon*) [44] y Pulgón subterráneo [45]

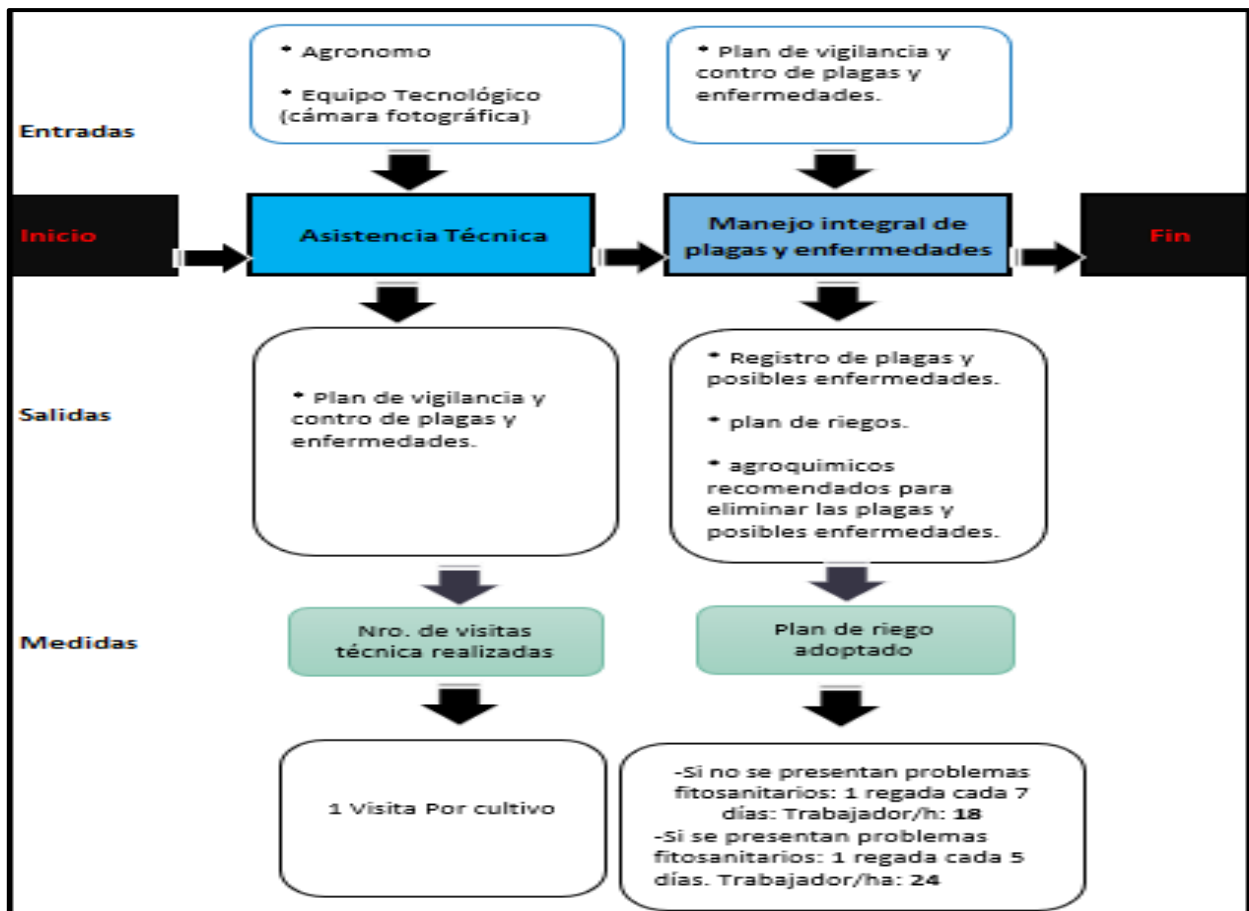


Figura 34. Mapa de proceso manejo del cultivo. [41]

6.10.5. Cosecha.

6.10.5.1. 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 que 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, este producto no es de agrado para los consumidores. Se debe realizar un cronograma para el arranque.



Figura 35. Revisión del grado de madurez [46]

6.10.5.2. Estimación de la cosecha:

Una vez elaborado el cronograma de arranque, se define un aproximado de la cantidad de toneladas que se va a obtener, para 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.

6.10.5.3. Recolección:

El arranque de la zanahoria se debe hacer manualmente; si se observa con antelación la tierra 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.

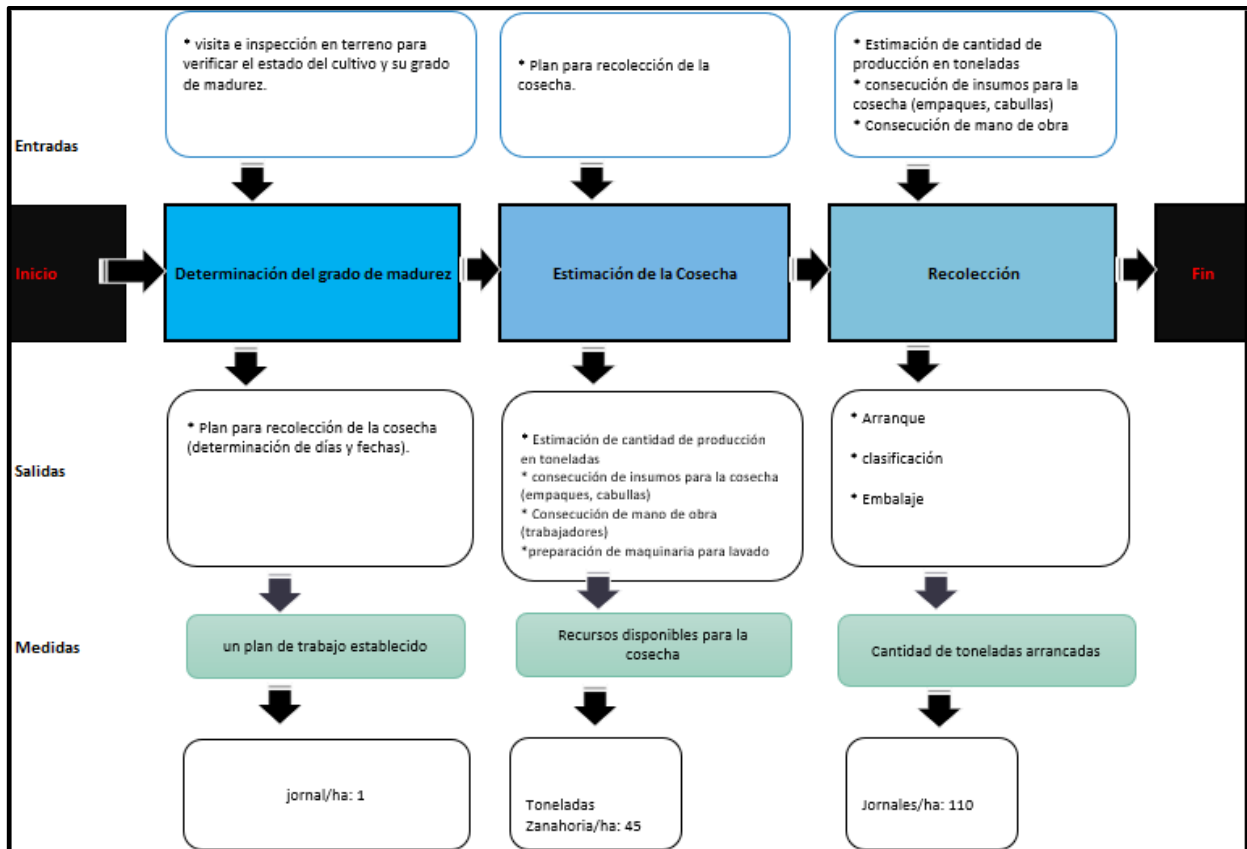


Figura 36. Mapa de proceso de cosecha. [41]

6.10.6. Postcosecha.

6.10.6.1. 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.

6.10.6.2. 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.

6.10.6.3. Empaque:

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

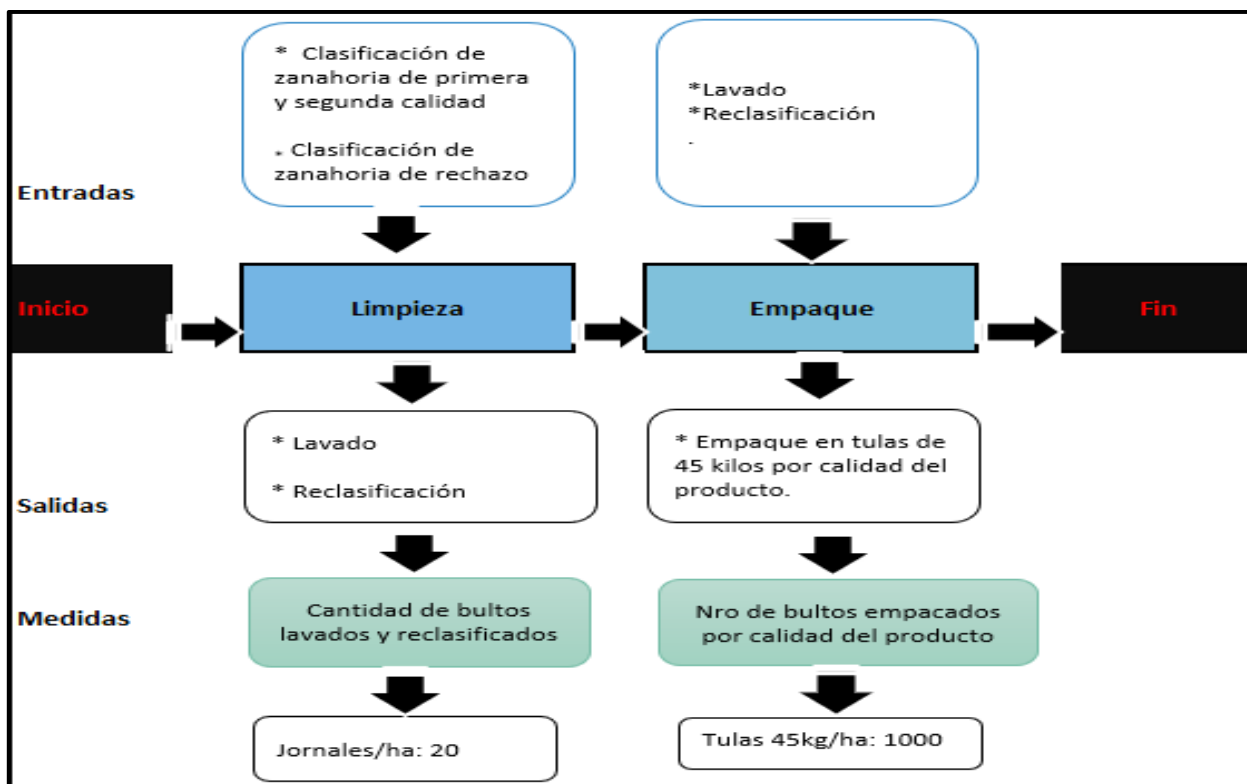


Figura 36. Mapa de proceso postcosecha. [41]

6.10.7. Comercialización.

6.10.7.1. Estándar de calidad:

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

6.10.7.2. 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, para posteriormente hacer el respectivo acarreo en el medio de transporte que se va a utilizar para el traslado al lugar donde el cliente lo solicite.

6.10.7.3. 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, donde se hace entrega en el sitio donde el cliente lo solicita.

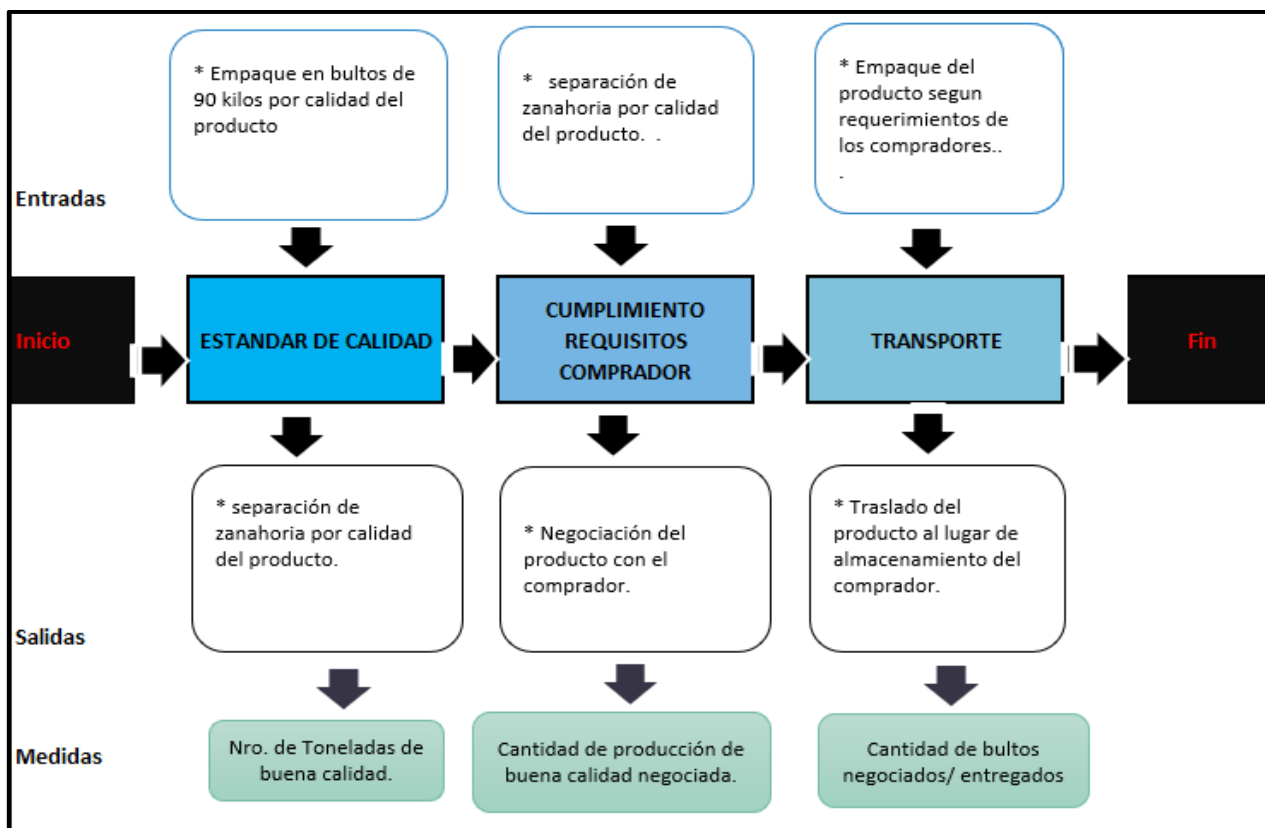


Figura 37. Mapa de proceso de comercialización. [41]

6.11. Diseño de herramienta de planeación.

Para el diseño de la herramienta de planeación de cultivos, se utilizó la herramienta ofimática Excel, la cual permite por medio de fórmulas, permite integrar varios procedimientos, además de ser una herramienta fácil de usar y que está al alcance de todos. Consta de 6 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 basa en los datos obtenidos en los mapas de procesos del proceso actual y artesanal que realizan los campesinos, para realizar una estimación de los recursos necesarios para el desarrollo del ciclo productivo de la zanahoria y se alimenta 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 que estos procesos aún requieren de mucha mecanización e implementación de la tecnología, por lo que se toman 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 dejan los valores bases en cuanto a jornales, abonos, cantidad de libras de semillas y empaques, pero el productor debe digitar los precios actuales

de cada uno de los recursos, debido a que estos están variando constantemente. Además, se deja 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 puedan 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 pueda desplazarse fácilmente por el informe.

Para facilitar su uso, en todos los módulos se protegen las hojas y sólo se dejan desprotegidas las celdas que son 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.

6.12. Módulos de la herramienta.

6.12.1. 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.

CÁLCULO DE MARGEN DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA					
Recursos necesario para sembrar una hectarea de zanahoria					
Puede modificar la cantidad de recursos según lo vea 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	260		5	100	20



Cálculo costos de producción

Margen estimado automático

Margen estimado manual

Lista de insumos

Tabla de precios

Figura 38. Módulo de recursos, de la herramienta digital. [41]

Al final se realiza la sumatoria automáticamente y los datos se exportan automáticamente 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 purpura que aparecen al lado derecho de la tabla, corresponde a cada uno de los módulos de la herramienta digital, y aparecerán en cada módulo para facilitar el desplazamiento y la navegación por estos.

6.12.2. Cálculo de los costos de producción.

Acá, el usuario debe digitar el área que destinará para su cultivo en metros cuadrados, la herramienta realiza la conversión a cuanto equivalen esos metros en hectárea y multiplica la equivalencia en hectárea por la cantidad de recursos que se digitaron en el módulo anterior, arrojando la cantidad de recursos que se deben utilizar para el área destinada. En la figura 39, se puede ver un ejemplo, donde el área destinada para la siembra sería de

2000 m2 y la herramienta hace la conversión y los cálculos correspondientes, convierte los 2000m2 a hectáreas, que corresponde a 0.2 Ha y calcula la cantidad de recursos necesarios para esa área a cultivar.

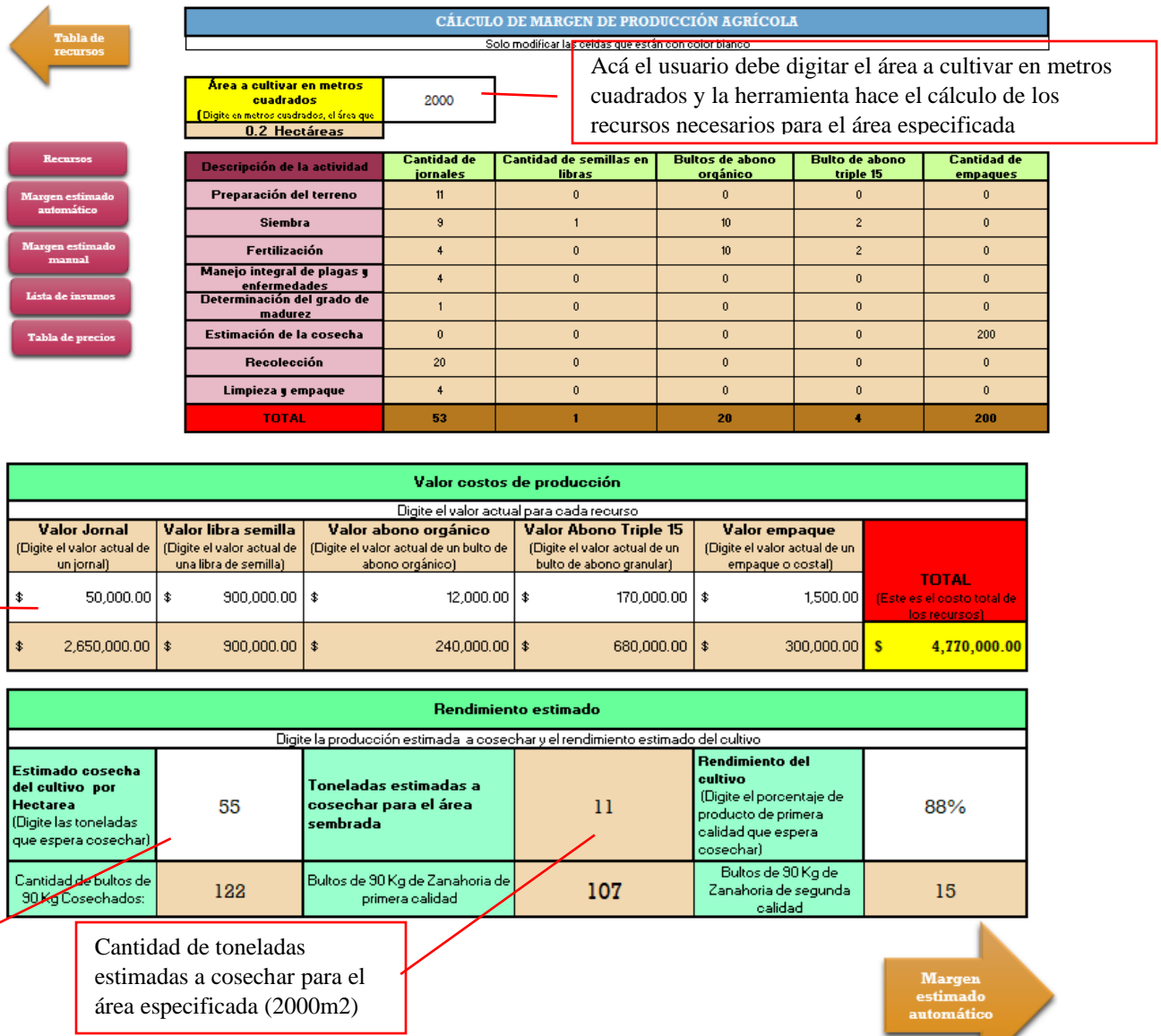


Figura 39. Módulo cálculo de costos de producción, elaboración propia.

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 lo cual la herramienta multiplica este valor por la cantidad de recursos que se calcularon, arrojando el costo total de cada insumo y al final se realiza la sumatoria de estos valores para calcular el total que debe invertir el productor para dichos recursos en el ciclo productivo. 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 un área de una hectárea, es decir, 55 toneladas, y el porcentaje de rendimiento del cultivo, esto basado en los documentos de apoyo, pero 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 vemos que con base a las 55 toneladas y un porcentaje de rendimiento del 88%, para un área de 2000 m2, las toneladas que se cosecharían sería 11, que corresponden a 122 bultos de 90kg de zanahoria, y que de acuerdo al rendimiento del cultivo, de esos 122 bultos, 107 serían de primera calidad y 15 de segunda calidad.

6.12.3. 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 (2000m2 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, al usuario digitar 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 que 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, que el ingreso estimado de venta de producto de primera calidad sería de \$7,537,060, que el ingreso por los bultos de zanahoria de segunda calidad sería \$105,000 y sumados estos dos últimos, el ingreso total de la cosecha sería de \$7,642,080.

CÁLCULO AUTOMÁTICO MARGEN DE PRODUCCIÓN AGRICOLA					
Solo modificar las celdas que están con color blanco					

El usuario digita el mes en que planea sembrar

Debe digitar el precio de la zanahoria de segunda calidad, el cual no es suministrado por el SIPSA

CULTIVO:		Zanahoria larga vida			
Superficie (Ha)	0.20	Superficie en m2	2000.00	Rendimiento estimado cultivo	88%
Mes de Siembra <small>(Digite el número del mes en que planea sembrar)</small>	9	SEPTIEMBRE	Fecha estimada de cosecha:	1	ENERO
Precio estimado por kg:	\$ 782.67	Precio estimado del Producto de primera calidad (\$/bulto)	\$ 70,440.00	Ingreso estimado de venta producto de primera calidad	\$ 7,537,080.00
Precio zanahoria de segunda calidad (\$/bulto) <small>(Digite el precio estimado de un bulto de producto de segunda calidad)</small>	\$ 7,000.00	Total ingresos zanahoria de segunda calidad	\$ 105,000.00	Valor ingreso total cosecha	\$ 7,642,080.00

El usuario debe de dar clic sobre la flecha en cada celda y se despliega la lista de insumos.

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	\$	-
Herbicida		0.00	\$	-
Inoculante		0.00	\$	-
Fertilizante		0.00	\$	-
Insecticida		0.00	\$	-
Fungicida		0.00	\$	-
Semilla		0.00	\$	-
Abono Orgánico		0.00	\$	-
Abono triple 15		0.00	\$	-
		0.00	\$	-
TOTAL INSUMOS				\$ 832,000.00

Ir a la lista de insumos

RENTABILIDAD	
	TOTAL
Total Egresos (Recursos utilizados + insumos)	5,602,000.00
Ingreso Bruto estimado	7,642,080.00
Margen Bruto	2,040,080.00
Rentabilidad	36.42%

Ganancia estimada.

Rentabilidad estimada

Figura 40. Módulo de estimación automática del margen de producción, 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 de digitar el usuario, debido a su alta variabilidad), además de poder registrar todos los costos adicionales que puedan surgir. Estos insumos están predefinidos en el módulo “lista de insumos”, por lo que el usuario sólo 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 insumos que requiera. En el ejemplo anterior vemos que el total de egresos por insumos es de \$832,000.

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.

6.12.4. Estimación manual margen de producción.

Este módulo se dispone de manera opcional para que el usuario haga estimaciones basados en su experiencia, 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 es 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.

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	\$	-
		0.00	\$	-
		0.00	\$	-
TOTAL INSUMOS				\$ 832,000.00

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%

Figura 41. Módulo de estimación manual del margen de producción, elaboración propia.

Según el ejemplo anterior, las ganancias por la cosecha serían de \$2,214,500 con una rentabilidad del 39,53%.

6.12.5. Tabla de insumos.

Esta tabla 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.

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

Figura 42. Tabla de insumos. [41]

6.12.6. 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.

PRECIOS HISTÓRICOS ZANAHORIA LARGA VIDA					
Número mes	MES	2018	2019	2020	Promedia
1	ENERO	\$ 692	\$ 1,043	\$ 613	\$ 783
2	FEBRERO	\$ 1,390	\$ 987	\$ 672	\$ 1,016
3	MARZO	\$ 1,253	\$ 562	\$ 699	\$ 838
4	ABRIL	\$ 654	\$ 399	\$ 517	\$ 523
5	MAYO	\$ 447	\$ 454	\$ 948	\$ 616
6	JUNIO	\$ 445	\$ 368	\$ 688	\$ 500
7	JULIO	\$ 244	\$ 385	\$ 557	\$ 395
8	AGOSTO	\$ 258	\$ 540	\$ 643	\$ 480
9	SEPTIEMBRE	\$ 288	\$ 634	\$ 582	\$ 501
10	OCTUBRE	\$ 377	\$ 501	\$ 534	\$ 471
11	NOVIEMBRE	\$ 607	\$ 495	\$ 770	\$ 624
12	DICIEMBRE	\$ 829	\$ 1,048	\$ 874	\$ 917
TOTAL		\$ 624	\$ 618	\$ 675	\$ 639

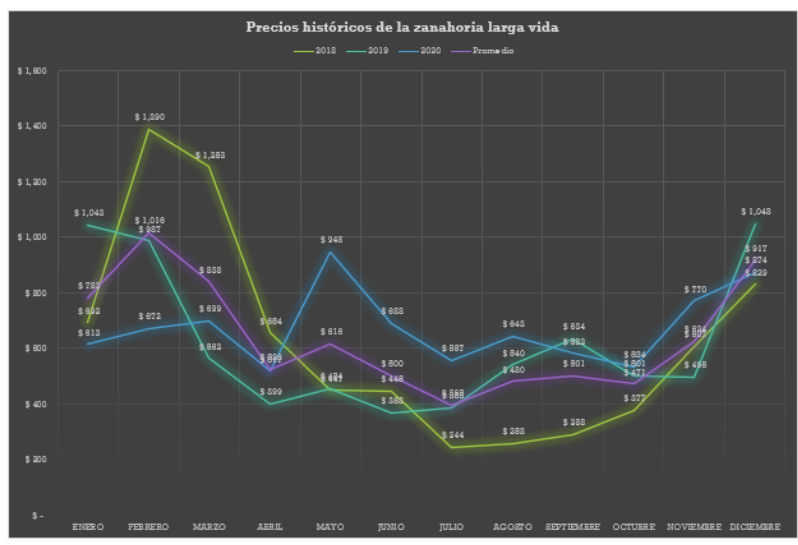


Figura 43. Tabla de precios históricos. [10]

7. Conclusiones

Se logra desarrollar una herramienta en Excel, que permite realizar una planeación del cultivo, al integrar los precios históricos de venta del producto con 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 en parte la previsión de gastos para la producción de la zanahoria, en donde desde el momento de la planeación, se va a observar los recursos económicos que se va a invertir y el posible margen de ganancia que se tendrá 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 en el municipio y a su vez es el primer productor de esta hortaliza en Colombia, convirtiéndose en el producto de mayor movimiento económico entre los campesinos del municipio, por lo que se define la zanahoria como el producto punto de partida para para analizar todos los factores que influyen en el ciclo de producción y comercialización, de esta manera desarrollar la herramienta digital que ayude a los campesinos a tener una mejor planeación para la producción de esta hortaliza.

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

Se investigaron y definieron los procesos para el cultivo de la zanahoria y con ayuda de los mapas de procesos se identificaron los factores que influyen en su ciclo productivo, además se determinaron los recursos necesarios para cultivar una hectárea de este producto.

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, puede 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 la ONU, para el año 2050, la población mundial aumentará de 7.700 millones de personas a 9.800 millones, un tercio más de personas que alimentar, por lo que se deberá producir un 70% más de alimentos para cubrir la demanda, lo que obliga al sector agrícola a incrementar su productividad para cubrir y satisfacer las necesidades emergentes, por lo que la implementación de la tecnología en el sector agrícola, cada vez se va haciendo más indispensable.

Con la metodología implementada de la revisión sistemática de la literatura se logró 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.

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, pero 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, en subsidios, capacitaciones, facilidades para compra de equipos, redes de internet en las zonas rurales.

8. Tabla de anexos

Nombre	Desarrollo (Propio/terceros)	Tipo de archivo	Ubicación
ANEXO 1	Propio	XLSX	https://1drv.ms/x/s!AksfeHE6c3Stj2p-8kLzExSeU4Wn?e=Z0cBYd
ANEXO 2	Propio	XLSX	https://1drv.ms/x/s!AksfeHE6c3Stj2t01tY6U05Vbqpr?e=VsORah

Referencias

- [1] M. Bhatia and A. Rana, “A mathematical approach to optimize crop allocation – A linear programming model,” *Int. J. Des. Nat. Ecodynamics*, vol. 15, no. 2, pp. 245–252, 2020, doi: 10.18280/ij dne.150215.
- [2] Z. Zhai, J. F. Martínez, V. Beltran, and N. L. Martínez, “Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 170, p. 105256, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.COMPAG.2020.105256.
- [3] J. Echavarría, M. Villamizar, S. Restrepo, and J. D. Hernández, “Superando barreras: el impacto del crédito en el sector agrario en Colombia,” Bogotá D.C, 2018, pp. 73–91.
- [4] A. Buitrago, “AGRICULTURA EN EL ORIENTE ANTIOQUEÑO, TRANSFORMACIÓN RURAL CONTEMPORÁNEA; PARA EL DESARROLLO LOCAL Y REGIONAL.,” 2016. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/9169/Amalita_CardonaBuitrago_2016.pdf?sequence=2.
- [5] O. Castaño, “El sitio de San José de la Marinilla y su jurisdicción en los siglos XVI y XVII,” *Perfiles Históricos*, El Santuario, Antioquia, p. 71.
- [6] N. Quintero, Q. Montoya, G. Arcila, E. Ramírez, C. Ramírez, and W. Valencia, “El Nacimiento de un pueblo. Genealogía: Historia económica de El Santuario hasta mediados del siglo XX,” *Huellas y senderos*, El Santuario, Antioquia, Colombia, p. 6, Nov. 2020.
- [7] W. Valencia, “Comercialización agrícola al por mayor. Plaza de mercado de El Santuario, Antioquia.” El Santuario, Antioquia, Colombia, 2021.
- [8] K. Gaitán, “La agricultura colombiana en el contexto de la globalización,” *El campesino.co*, 2016. <https://www.elcampesino.co/la-agricultura-colombiana-en-el-contexto-de-la-globalizacion/>.
- [9] “Población rural (% de la población total) - Colombia | Data.” <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS?end=2020&locations=CO&start=1960&view=chart> (accessed Sep. 02, 2021).
- [10] “Sistema de Información de Precios del Sector Agropecuario - SIPSA.” https://sen.dane.gov.co:8143/variacionPrecioMayoristaSipsa_Client/#/ (accessed Oct. 04, 2021).
- [11] J. M. Izar, “CAPÍTULO IV 4.1 Diagrama de Pareto,” no. May 2004, 2016.
- [12] R. Peiro, “Base de datos - Qué es, definición y concepto | Economipedia,” Jul. 02, 2020. <https://economipedia.com/definiciones/base-de-datos.html> (accessed Nov. 16, 2021).
- [13] M. Quiroa, “Mapa de procesos - Qué es, definición y concepto | Economipedia,” Jan. 04, 2021. <https://economipedia.com/definiciones/mapa-de-procesos.html> (accessed Nov. 16, 2021).
- [14] E. Rus, “Diagrama - Qué es, definición y concepto | Economipedia,” Aug. 28, 2020.

- <https://economipedia.com/definiciones/diagrama.html> (accessed Nov. 16, 2021).
- [15] Cognos Analytics, “Visualización de líneas de tendencia en los gráficos predeterminados actuales - Documentación de IBM.” https://www.ibm.com/docs/es/cognos-analytics/10.2.2?topic=SSEP7J_10.2.2/com.ibm.swg.ba.cognos.ug_rptstd_fin.10.2.2.doc/t_trendline_new_bua.html (accessed Nov. 16, 2021).
- [16] B. Minetto, “¿Qué es DMAIC? - Blog de la Calidad,” Feb. 12, 2019. <https://blogdelacalidad.com/ques-dmaic/> (accessed Nov. 16, 2021).
- [17] F. Coll, “Estandarización - Qué es, definición y concepto | Economipedia,” May 07, 2020. <https://economipedia.com/definiciones/estandarizacion.html> (accessed Nov. 16, 2021).
- [18] B. Kitchenham, *Procedures for Performing Systematic Reviews*. 2019.
- [19] Z. Zhai, J. F. Martínez, V. Beltran, and N. L. Martínez, “Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 170, p. 105256, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.COMPAG.2020.105256.
- [20] I. Kovács and I. Husty, “The role of digitalization in the agricultural 4.0 – how to connect the industry 4.0 to agriculture?,” *Hungarian Agric. Eng.*, vol. 7410, no. 33, pp. 38–42, 2018, doi: 10.17676/hae.2018.33.38.
- [21] Banco mundial, “¿Cuál es el futuro de la agricultura en un mundo pospandemia?,” Nov. 12, 2020. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2020/11/12/future-of-agriculture-in-a-post-pandemic-world-latin-america> (accessed Sep. 07, 2021).
- [22] P. Bajpai, “Who Produces the World’s Food,” *Investopedia*, 2019. <https://www.investopedia.com/articles/investing/043015/who-produces-worlds-food.asp> (accessed Sep. 16, 2021).
- [23] N. Novoa, “Smart Agro en Estados Unidos,” *ICEX*, pp. 1–10, 2021.
- [24] S. SIMPSON, “Top Agricultural Producing Countries,” 2021. Accessed: Sep. 17, 2021. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/financial-edge/0712/top-agricultural-producing-countries.aspx#citation-10>.
- [25] S. SIMPSON, “Top Agricultural Producing Countries,” 2021.
- [26] “Ranking de países por Agricultura, valor agregado (US\$ a precios actuales).” <https://www.indexmundi.com/es/datos/indicadores/NV.AGR.TOTL.CD/rankings> (accessed Sep. 16, 2021).
- [27] C. Pahlmeyer, T. Kuhn, and W. Britz, “‘Fruchtfolge’: A crop rotation decision support system for optimizing cropping choices with big data and spatially explicit modeling,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 181, p. 105948, 2021, doi: 10.1016/j.compag.2020.105948.
- [28] M. M. E. Alemany, A. Esteso, Á. Ortiz, and M. del Pino, “Centralized and distributed optimization models for the multi-farmer crop planning problem under uncertainty: Application to a fresh tomato Argentinean supply chain case study,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 153, p. 107048, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.CIE.2020.107048.
- [29] L. A. de A. Telles *et al.*, “When, where and what cultivate: An optimization model for rural property planning,” *J. Clean. Prod.*, vol. 290, p. 125741, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.125741.
- [30] R. Rupnik, M. Kukar, P. Vračar, D. Košir, D. Pevec, and Z. Bosnić, “AgroDSS: A decision support system for agriculture and farming,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 161, pp. 260–271, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.compag.2018.04.001.
- [31] D. Perondi *et al.*, “Crop season planning tool: Adjusting sowing decisions to reduce the risk of extreme weather events,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 156, pp. 62–70, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.compag.2018.11.013.
- [32] Departamento Nacional de Planeación, “El campo colombiano: Un camino hacia el bienestar y la paz.” Bogotá D C, 2015, [Online]. Available: https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/agriculturapecuarioforestal_y_pesca/el_campo_colombiano_un_camino_hacia_el_bienestar_y_la_paz_mtc.pdf.
- [33] N. Trendov, S. Varas, and M. Zeng, “Tecnologías digitales en la agricultura y las zonas rurales,” *FAO*, p. 26, 2019, [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/10.2307/j.ctvt6rmh6>.
- [34] K. Fuglie, M. Gautam, A. Goyal, and W. F. Maloney, “Technology and Productivity Growth in Agriculture Harvesting Prosperity.”

- [35] E. Jakku *et al.*, “‘If they don’t tell us what they do with it, why would we trust them?’ Trust, transparency and benefit-sharing in Smart Farming,” *NJAS - Wageningen J. Life Sci.*, vol. 90–91, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.njas.2018.11.002.
- [36] Banco Mundial, “La innovación agrícola y la tecnología son la clave para reducir la pobreza en los países en desarrollo, según un informe del Banco Mundial,” Sep. 16, 2019. <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> (accessed Sep. 15, 2021).
- [37] Ministerio de Agricultura, “Área Sembrada Y Área Cosechada Del Cultivo De la Zanahoria 2015,” *Minist. Agric. y Desarro. Rural*, pp. 5–8, 2016.
- [38] Ministerio de Agricultura, “Área Sembrada Y Área Cosechada Del Cultivo De Zanahoria 2017,” *Minist. Agric. y Desarro. Rural*, pp. 5–8, 2017.
- [39] Agricultura & Ganadería, “MERCADOS: Bajan los precios de la cebolla, el tomate y la zanahoria | Agricultura & Ganadería,” Aug. 2018. <https://www.agriculturayganaderia.com/website/mercados-bajan-los-precios-de-la-cebolla-el-tomate-y-la-zanahoria/> (accessed Nov. 10, 2021).
- [40] A. Sevilla, “Ley de oferta y demanda - Qué es, definición y concepto | Economipedia,” *Economipedia.com*, May 27, 2015. <https://economipedia.com/definiciones/ley-de-oferta-y-demanda.html> (accessed Jan. 25, 2022).
- [41] Cámara de Comercio de Bogotá, “Manual Zanahoria,” *Programa apoyo Agric. y Agroindustrial 2015*, vol. 1, no. Apoyo Agrícola, pp. 1–50, 2015, [Online]. Available: <http://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14309/Zanahoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [42] FAO, “Producción mundial de zanahorias y nabos por país - AtlasBig.com,” 2019. <https://www.atlasbig.com/es-es/paises-por-produccion-de-zanahoria-nabo> (accessed Jan. 25, 2022).
- [43] J. Cartagena, “PAQUETE TECNOLÓGICO PARA ZANAHORIA,” Nataima.
- [44] C. Reyes, “Gusano trozador (Agrotis) – Información – Panorama AGROPECUARIO,” Feb. 16, 2015. <https://panorama-agro.com/?p=484> (accessed Nov. 23, 2021).
- [45] El Huerto 2.0, “Pulgón subterráneo.” <https://elhuerto20.wordpress.com/2017/11/11/pulgon-subterraneo/> (accessed Nov. 23, 2021).
- [46] “Agricultor Asimiento Recién Cosechada Zanahorias Maduras En El Huerto Fotos, Retratos, Imágenes Y Fotografía De Archivo Libres De Derecho. Image 45578228.” https://es.123rf.com/photo_45578228_agricultor-asimiento-recien-cosechada-zanahorias-maduras-en-el-huerto.html (accessed Nov. 23, 2021).