

Evaluación del proceso de producción de papa en el municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión

Autor

OLGER YESID VILLAMIZAR VERA

Director

GUSTAVO ENRIQUE BOHORQUEZ MANTILLA
Magister en Gerencia de Empresas

**PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, mayo 24 de 2021**

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por bendecir mi vida, guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mis padres: Olger y Socorro quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A Segny, mis hermanos y sobrinas por confiar y creer en mis expectativas, y a toda mi familia porque con sus oraciones y palabras de aliento de una u otra forma me acompañan en todas mis aspiraciones y metas.

Agradezco a los docentes de la carrera ingeniería industrial, por haber compartido sus saberes, guiado con su paciencia y su rectitud a lo largo de la preparación de mi profesión. A mi alma mater La Universidad de Pamplona por ser la sede de todos los conocimientos que he recibido.

Tabla de Contenido

1	Introducción	10
2	Resultados	12
2.1	Marco Conceptual	12
2.1.1	Cultivo de papa	12
2.1.2	Morfología	14
2.1.3	Etapas fenológicas.....	16
2.1.4	Requerimientos edafoclimáticos del cultivo	18
2.1.5	Labores culturales.	21
2.1.6	Fertilización.	30
2.1.7	Aplicación de fertilizantes.	31
2.1.8	Rendimiento.....	32
2.1.9	Maquinaria y equipos.....	34
2.1.10	La agricultura.....	36
2.1.11	Agricultura de precisión. (AP).....	40
2.2	Trabajo de campo.....	42
2.2.1	Metodología.....	42
2.2.2	Diagnóstico.....	42
2.2.3	Evaluación.....	43
2.2.4	Maquinaria y equipos utilizados por los productores de Chitagá.....	44
2.2.5	Rendimiento de los productores de papa municipio de Chitagá.....	46
2.2.6	Propuesta.....	48
2.3	Optimización del proceso de producción de papa.....	51
2.3.1	Ejemplo de optimización.....	51
2.3.2	Revisión bibliográfica sobre sectores donde han implementado agricultura de precisión.....	54
2.3.3	<i>Tecnología usada en la optimización con agricultura de precisión.</i>	56
2.3.4	Beneficios de la transferencia de tecnología.....	59
2.3.5	Logros.....	60
3	Conclusiones	61
4	Bibliografía	63
5	Apéndice o anexos	¡Error! Marcador no definido.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Lista de tablas

Tabla 1. Contenido nutricional en 100 g de papa.	13
Tabla 2. Requerimientos adecuados de temperatura en el cultivo de papa.	19
Tabla 3. Área, producción, rendimiento en el Departamento.	33
Tabla 4. Área, producción, rendimiento a nivel nacional.	34
Tabla 5. Tipos de productor de acuerdo al área sembrada.....	37
Tabla 6. Estadística área sembrada y cosechada, producción y rendimiento.	39
Tabla 7. Equipos Agrícolas.....	45
Tabla 8. Maquinaria Agrícola.	46
Tabla 9. Rendimiento y producción de los productores del municipio de Chitagá.	47
Tabla 10. Propuesta para la optimización del proceso de producción de la papa.....	48
Tabla 11. Comparación de herramientas tecnológicas utilizadas en el cultivo de papa.	51
Tabla 12. Sectores donde han implementado agricultura de precisión.....	55

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Morfología de la planta de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	14
Ilustración 2. Distribucion de raices en el suelo.	15
Ilustración 3. Fases fenológicas de la planta de papa..	18
Ilustración 4. Arada realizada con tractor y equipo de arado a una profundidad de 25 cm.....	22
Ilustración 5. Retobada con tractor, realizando 2 cruzadas para dejar el terreno óptimo para el surcado.	23
Ilustración 6. Surcado realizado con tractor y su equipo a una distancia entre surcos de 90 cm y a una profundidad de 12 cm.....	24
Ilustración 7. Distancia de siembra de 1 metro entre surcos y 35 cm entre tubérculos.	25
Ilustración 8. Deshierbo realizado en cultivo de papa variedad Ica unica, 40 días después de la siembra.....	27
Ilustración 9. Aporque realizado con trabajadores usando azadón, 65 días después de la siembra.....	28
Ilustración 10. Aporque realizado con tractor y su equipo.	29
Ilustración 11. Cosecha usando maquina cosechadora.	30
Ilustración 12. Cosecha de papa variedad pastusa superior, usando trabajadores de la región. ...	30
Ilustración 13. Diagrama Causa y Efecto	44
Ilustración 14. Comparación Tractor tripulado (Colombia) y tractor automatizado (Brasil).	52
Ilustración 15. Comparación de trabajador fumigando con bomba de espalda y bomba fumigado del tractor (Colombia) con aeronave no tripulada Brasil)	53
Ilustración 16. Cosecha cultivo de papa usando trabajadores (Colombia) y cosechadora automática (Brasil).....	54
Ilustración 17. Sistema temático JDlink.	58

Resumen

Para los productores de papa es muy importante conocer la producción y rendimiento de sus cultivos para así poder buscar diferentes mecanismos y técnicas que ayuden a aumentar la producción de sus cultivos al momento de cosechar.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar el proceso de producción de papa (*Solanum tuberosum*) de los papicultores del municipio de Chitagá y su optimización a través de la agricultura de precisión con el propósito de aumentar el rendimiento en toneladas por hectárea. El periodo del cultivo corresponde a la temporada de verano (octubre 2020-abril 2021) donde no es preponderante la presencia de lluvias, humedad relativa y temperaturas altas en la mayor parte de la temporada.

La evaluación se basa en determinar el rendimiento del cultivo en toneladas por hectárea, el uso tecnología y de estrategias para la optimización de procesos y aumento de producción. Por lo anterior se busca que los productores puedan adaptarse y responder de una mejor manera a las exigencias de calidad en los mercados, esto se logra con el aprovechamiento de las tecnologías que han venido desarrollándose en los últimos años. Las oportunidades que ofrecen estas tecnologías a los productores de papa son muy importantes para poder lograr mayor producción y estar a la vanguardia en relación a otros productores.

La finalidad es dar a conocer una propuesta producto del diagnóstico y evaluación de la información aporta por los productores de papa del municipio de Chitagá, fundamentada en mitigar las falencias que se presentan en el proceso de producción mediante el uso de las tecnología disponible en el país de la agricultura de precisión; la cual hoy en día es una estrategia que trae consigo beneficios y aportes positivos, porque tienen la capacidad de transformar

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

procesos en pro de la conservación de recursos, seguridad, productividad y preservación de medio ambiente.

Palabras clave: Agricultura de precisión, nuevas tecnologías, cultivo de papa, proceso de producción, rendimiento.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Abstract

It is very important for potato growers to know the production and yield of their crops in order to look for different mechanisms and techniques to increase crop production at harvest time.

The objective of this research is to evaluate the potato (*Solanum tuberosum*) production process of potato farmers in the municipality of Chitagá and its optimization through precision agriculture in order to increase the yield in tons per hectare. The cultivation period corresponds to the summer season (October 2020-April 2021) where rainfall, relative humidity and high temperatures are not prevalent during most of the season.

The evaluation is based on determining the crop yield in tons per hectare, the use of technology and strategies for process optimization and increased production. The aim is to enable growers to adapt and respond in a better way to the quality requirements of the markets, which is achieved by taking advantage of the technologies that have been developed in recent years. The opportunities offered by these technologies to potato growers are very important to achieve higher production and be at the forefront in relation to other producers.

The purpose is to present a proposal resulting from the diagnosis and evaluation of the information provided by the potato producers of the municipality of Chitagá, based on mitigating the shortcomings that occur in the production process through the use of the precision agriculture technology available in the country; which today is a strategy that brings benefits and positive contributions, because it has the ability to transform processes for the conservation of resources, safety, productivity and environmental preservation.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Key words: precision agriculture, new technologies, potato crop, production process, yield.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

1 Introducción

La papa (*Solanum tuberosum*) pertenece a la familia de plantas con flores de las solanáceas. Este tubérculo se originó en los Andes de América del Sur y fue en este lugar donde los agricultores tradicionales domesticaron la papa por primera vez hace aproximadamente 8000 años. La producción de papa es muy importante a nivel mundial porque ocupa el tercer lugar en importancia como producto alimenticio después del arroz y el trigo (FAO), en términos de consumo humano. Más de mil millones de personas en todo el mundo comen papa regularmente, y la producción total del cultivo supera los 374 millones de toneladas métricas (centro internacional de la papa, 2017)

En Colombia el 90% área sembrada de papa se concentra en cuatro departamentos a saber: Cundinamarca: 37%, Boyacá: 27%, Nariño: 20% y Antioquia: 6%. La producción es de minifundio o por pequeños productores, donde el 95% de los productores siembran menos de 3 hectáreas y el 80% menos de 1 hectárea. Teniendo una participación del 3.3% en el PIB agropecuario, generando anualmente cerca de 264 mil empleos, donde unas 100 mil familias se dedican al cultivo de la papa, en 10 departamentos y 283 municipios (Gobernación de Nariño, 2019)

Al concentrarse el mayor porcentaje de la producción en pequeños productores, provoca que se sigan realizando prácticas de agricultura tradicional ha frenado los avances en cuanto a la calidad de la cosecha, dejando a un lado la agricultura moderna y consigo no permitiendo la exploración de la agricultura de precisión. Conllevando cada día a que sus cultivos no sean lo suficientemente productivos y rezagados a comparación de otros productores.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

En este sector ha incursionado de gran manera nuevas posibilidades de tecnología que se hacen presentes de los diferentes procesos desarrollados del cultivo de la papa como en la preparación de terreno, siembra, deshierbo, aporque, cosecha, fumigación, fertilización. Con la agricultura de precisión obtenemos un modelo el cual hace uso de dispositivos sensoriales con el objetivo de mantener un monitoreo constante del estado del cultivo, dispositivos de comunicación autónomos manteniendo información constante de los datos leídos, dispositivos de posicionamiento global, imágenes satelitales, herramientas de software y la red mundial, facilitando obtener información del cultivo de forma inmediata, para tomar decisiones en el momento adecuado, en el lugar exacto y en las cantidades correctas en pro del bienestar y cuidado del cultivo.

La finalidad de esta monografía es evaluar el proceso de la producción de papa mediante la estimación del rendimiento, la incidencia de tecnología en el proceso y plantear una propuesta para optimizar el proceso con asistencia técnica, maquinaria y equipos tecnológicos disponibles en la región.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

2 Resultados

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 *Cultivo de papa*

La papa es un alimento de consumo básico, ocupa el cuarto puesto de alimentos de mayor ingesta en el mundo, que, por sus características sensoriales, sabor y color neutro, puede ser parte de una alimentación saludable y variada. Se obtiene a partir de la planta solanácea (*Solanum tuberosum* L), específicamente corresponde a los tubérculos formados por engrosamiento subterráneo (Pertuz, 2013).

La papa es catalogada importante en los consumidores por su alto contenido en vitaminas, minerales y fibra, considerándola como indispensable y básico en el hogar porque ayuda en funciones energéticas y a regular funciones en el organismo. (fao.org, s.f.)

En contraste con los cereales las papas tienen vitamina C en cantidades similares a éstos. Las papas presentan un contenido en azúcares, proteínas y energía intermedia entre los que se observan en frutas, hortalizas y los cereales. La proteína de la papa presenta un valor biológico superior a la de los cereales lo cual se debe a su mayor contenido en lisina, aminoácido limitante en la proteína de los cereales (Ondarural, s.f.)

Tabla 1.*Contenido nutricional en 100 g de papa.*

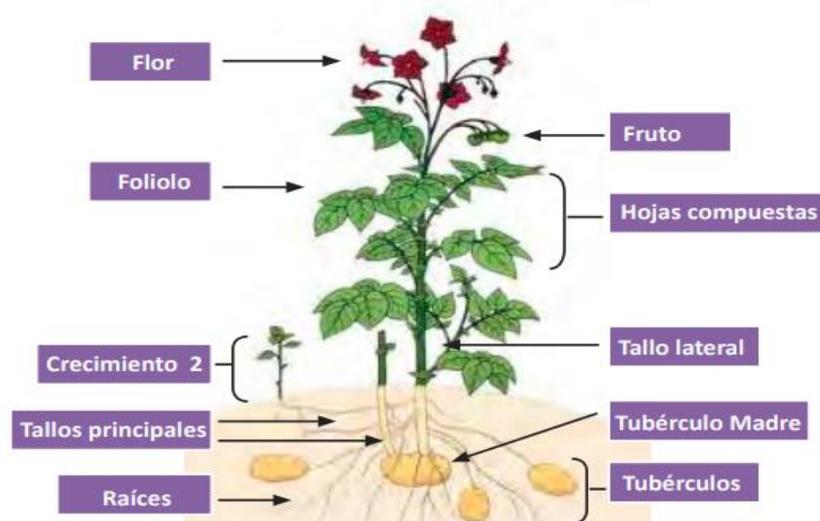
COMPONENTE	CONCENTRACIÓN
Calorías	323 Kcal.
Proteínas	2 gr.
Hidratos de carbón	18 gr.
Grasas	0,1 gr.
Colesterol	0 mg.
Fibra	2 gr.
Vitaminas	A,B1,B2,B6,E,K y C.
Calcio	5 mg.
Hierro	0,31 mg.
Potasio	379 mg.

Fuente: Elaboración propia del autor, con información obtenida de (Peña 2011).

La papa es una planta que pertenece a la familia de las Solanáceas. La planta puede desarrollar frutos con semillas viables, sin embargo, para cultivos comerciales la forma de propagación es a través de un tubérculo semilla. Dentro de la planta, es factible diferenciar las siguientes partes (ilustración1) porque la planta es “herbácea, conformada por dos partes principalmente: sección subterránea compuesta por la raíz, estolones, tubérculos y tubérculo madre, y la sección aérea conformada por tallos principales y secundarios, hojas, flores y frutos. Al finalizar cada ciclo productivo, la parte aérea de la planta muere” (Corzo Carrillo, Dealer Moreno, Franco L., & Fierro, 2003)

Ilustración 1.

Morfología de la planta de papa (Solanum tuberosum).



Fuente: (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2013)

2.1.2 Morfología

2.1.2.1 Tallos principales y hojas.

Troiani et al. (2017) afirman que “el tallo es un órgano aéreo que hace el nexo entre raíces y hojas con funciones de conducción de agua, sales y fotosintatos. Sirve de sostén y distribución de hojas, flores y frutos”

De igual manera Troiani et al. (2017) dicen que “las hojas son órganos aéreos cuya función principal es la fotosíntesis, recibe agua y sales del tallo y con la energía que capta de la luz solar la transforma en fotosintatos, es decir, acumula esa energía en forma de hidratos”

2.1.2.2 Flores y frutos.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

La flor de la papa es hermafrodita porque posee ambos sexos, conformada por cáliz, corola, estambre y pistilo. Los colores varían entre blanco y morado de acuerdo a la variedad de papa (Ica única, pastusa superior, etc.). El fruto corresponde a un mamón aéreo el cual puede ser usados para mejoramiento genético u obtención de nuevas variedades (Mancilla González y Arribillaga García, 2013).

2.1.2.3 Estolones.

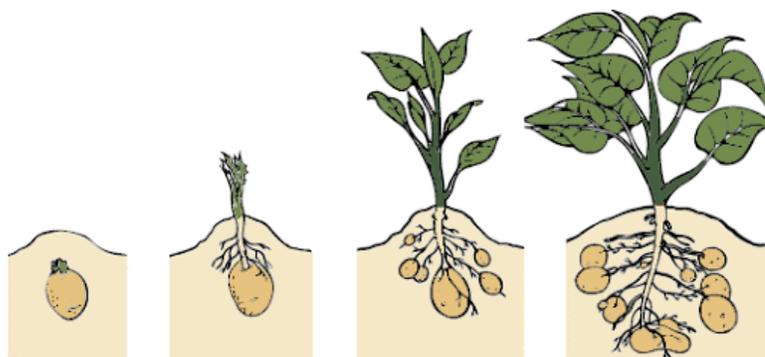
Se presentan como tallos laterales que crecen horizontalmente por debajo del suelo a partir de yemas de la parte subterránea de los tallos principales. En los extremos de los estolones generalmente se forman los tubérculos.

2.1.2.4 Raíces.

Según Mancilla González y Arribillaga García (2013), “las plantas que se desarrollan a partir de tubérculos, producen raíces adventicias en los nudos de la parte subterránea de los tallos principales y en los estolones. Normalmente la planta enraíza hasta 60 cm, concentrándose entre los 30-40 cm, la mayor cantidad de raíces”.

Ilustración 2.

Distribucion de raices en el suelo.



Fuente: (FAO, 2008)

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

2.1.2.5 Tubérculos.

Pumisacho y Sherwood (2002) describen “Los tuberculos son tallos carnosos que se originan en el extremo del estolón y tiene yemas y ojos. La formacion de tuberculos es consecuencia de la proliferación del tejido de reserva que estimula el aumento de celulashasta un factor de 64 veces.”

2.1.2.6 Brotes.

Los brotes se desarrollan a partir de las yemas que se encuentran en los ojos del tubérculo, los cuales pueden variar en número dependiendo de la variedad, calibre del tubérculo. Estos brotes darán lugar a los tallos principales y a la nueva planta (Mancilla González y Arribillaga García, 2013).

2.1.3 Etapas fenológicas

El cultivo de papa consta de un ciclo fenológico que varía en la duración de acuerdo a las condiciones agroclimáticas y la variedad de la semilla.

2.1.3.1 Fase de emergencia o brotación.

La brotación inicia cuando se observan yemas en los ojos de los tubérculos, proceso que dura entre 2 y 3 meses dependiendo de la variedad de la papa y condiciones climáticas, algo similar sucede cuando se inicia la fase de emergencia porque su duración depende de las condiciones adecuadas del suelo como lo es la temperatura y humedad. Durante la emergencia la planta presenta un crecimiento de raíces, tallos y hojas (Molina et al., 2004).

2.1.3.2 Fase de crecimiento de brotes laterales.

La segunda fase comienza después de la emergencia de la plántula, donde comienzan el proceso de fotosíntesis para el desarrollo aéreo de la planta; es decir la formación de tallos, ramas y hojas. Mientras en la parte subterránea se da la expansión de estolones (DE, P. E. P. L. R., DE, E. C. E. E. C., y RICA, P. E. C., 2017).

2.1.3.3 Fase de inicio de la tuberización.

En esta etapa la planta sigue su crecimiento vegetativo en su parte aérea, consecuentemente en la parte radicular subterránea se están formando los tubérculos que comienzan su desarrollo en la punta de los estolones. (DE, P. E. P. L. R., DE, E. C. E. E. C., y RICA, P. E. C., 2017).

2.1.3.4 Fase de llenado de tubérculos.

La fase de llenado en muchos de los casos (según variedad) coincide con la aparición de las primeras flores en la planta, donde las células del tubérculo se expanden para adquirir las cantidades necesarias de agua, nutrientes, carbohidratos y translocarlos a la planta (DE, P. E. P. L. R., DE, E. C. E. E. C., y RICA, P. E. C., 2017).

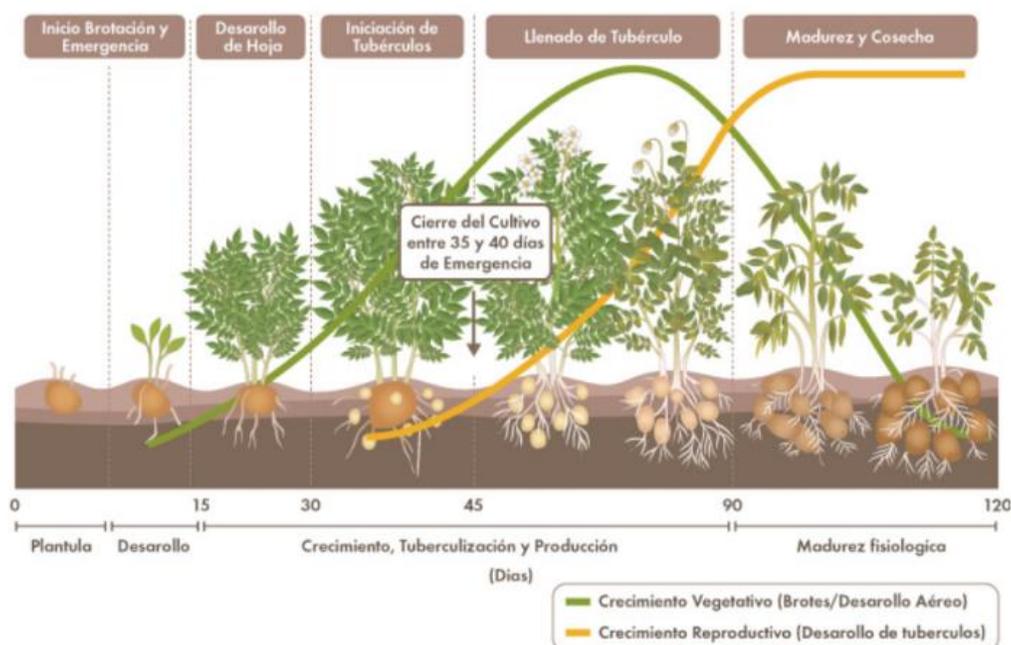
2.1.3.5 Fase de maduración.

Se debe observar el cambio de color de la hoja porque hay una relación directa con la tasa fotosintética disminuye, provocando un color amarillento y la maduración del tubérculo. La maduración se evalúa cuando la piel está bien adherida y no se desprenda, en este momento se alcanza el mayor contenido de materia seca. (DE, P. E. P. L. R., DE, E. C. E. E. C., y RICA, P. E. C., 2017).

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Ilustración 3.

Fases fenológicas de la planta de papa.



Fuente: (SQM, 2015)

2.1.4 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo

Los requerimientos edafoclimáticos tienen gran influencia al momento de evaluar el rendimiento del cultivo de papa, de esta manera se debe elegir una variedad de papa que se adapte a las condiciones del terreno evaluado para cultivar (INTAGRI, 2017).

2.1.4.1 Temperatura.

El cultivo de papa se adapta a las temperaturas entre los 10°C y 30°C, condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo. Estas temperaturas se presentan a finales del invierno por esta razón se siembra durante los meses frescos. La temperatura del suelo adecuada oscila entre los 10°C - 16°C en la noche y 16°C - 22°C en el día. Al no tener estas condiciones se puede ver afectado el crecimiento y tuberización de la papa. Cabe destacar que las altas temperaturas

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

incluyen de manera positiva en el crecimiento y envejecimiento de la planta, esto ocurre en variedades de maduración temprana; Caso contrario se presenta en suelos de temperaturas bajas (INTAGRI, 2017).

Tabla 2.

Requerimientos adecuados de temperatura en el cultivo de papa.

Etapa	Temperatura
En el ambiente	
Dos semanas después de la siembra	13°C
Desarrollo Foliar	12 a 14°C
Elongación de tallo y Floración	18°C
Formación de tubérculos	16 a 20°C
En el suelo	
Emergencia y crecimiento foliar	21 a 24°C
de Formación tubérculos	15 a 24°C

Fuente: Elaboración propia del autor, con información obtenida de (Rubio et al., 2000)

2.1.4.2 Suelos.

La papa puede crecer en la mayoría de los suelos, aunque son recomendables suelos con poca resistencia al crecimiento de los tubérculos. Los mejores suelos son los francos, franco-arenosos, franco-limosos y franco-arcillosos, con buen drenaje y ventilación, que además facilitan la cosecha. Sin embargo, se pueden alcanzar altas producciones en suelos con textura arcillosa al aplicar materia orgánica y regulando las frecuencias de riego. Suelos con una profundidad efectiva mayor 50 cm, son necesarios para permitir el libre crecimiento de estolones y tubérculos de la planta. El cultivo tiene un adecuado desarrollo en un rango de pH de 5.0 a 7.0. Los suelos salinos, alcalinos o compactados provocan trastornos en el desarrollo y producción de

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

la papa. Es recomendable tener suelos con una densidad aparente de 1.20 g/cm³, contenido de materia orgánica mayor a 3.5 % y una conductividad eléctrica menor a 4 dS/m (INTAGRI, 2017).

2.1.4.3 Pendiente del terreno.

La pendiente tiene una relación muy estrecha con la retención y captación de agua, además de la profundidad del suelo y acceso de maquinaria. Para una buena productividad del cultivo se recomienda una pendiente de 0.0 a 4.0 %, pendientes mayores a 4.1 % ocasionan que disminuya la producción del tubérculo. Una manera de manejar las fuertes pendientes es mediante el surcado en curvas a nivel o mediante terrazas (INTAGRI, 2017).

2.1.4.4 Altitud.

La altitud puede variar, pues el cultivo se desarrolla bien desde alturas mínimas de 460 hasta los 3,000 msnm, pero la altitud ideal para un buen desarrollo se encuentra desde los 1,500 a 2,500 msnm, claro está que bajo estas condiciones se da la mejor producción de la papa (INTAGRI, 2017).

2.1.4.5 Vientos.

Los vientos tienen que ser moderados, con velocidades no mayores a 20 km/h, ya que las plantas de papa pueden sufrir daños y reducciones en su rendimiento (INTAGRI, 2017).

2.1.4.6 Agua.

Los requerimientos hídricos varían entre los 600 a 1000 milímetros por ciclo de producción, lo cual dependerá de las condiciones de temperatura, capacidad de almacenamiento del suelo y de la variedad. Las mayores demandas existen en las etapas de germinación y

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

crecimiento de los tubérculos, por lo que es necesario efectuar algunos riegos secundarios en los períodos más críticos del cultivo, cuando no se presenta precipitación (INTAGRI, 2017).

2.1.4.7 Luz.

Después de la emergencia del tubérculo, el cultivo requiere bastante luminosidad. Además, la luminosidad de las plantas afecta directamente en los procesos fotosintéticos, dando origen a una serie de reacciones secundarias entre las que intervienen agua y CO₂, los cuales ayudan a la formación de los diferentes tipos de azúcares, que a su vez forman parte de los tubérculos. La cantidad de luz necesaria varía según la temperatura, por lo que, para una óptima producción, la papa requiere de periodos aproximadamente de 8 a 12 e incluso 16 horas de luminosidad (20,000 a 50,000 Lux) según la variedad cultivada. La cantidad de luz tiene gran influencia en la tuberización de la papa y duración del crecimiento vegetativo. Días cortos favorecen el inicio de la tuberización y acortan el ciclo vegetativo, en cambio días largos tienen el efecto inverso (INTAGRI, 2017).

2.1.5 Labores culturales

Son las actividades básicas que se llevan a cabo durante todas las etapas del cultivo (preparación del terreno, siembra, deshierba, aporque, cosecha). Las labores se realizan con semovientes (bueyes, caballo, asno) o trabajadores con herramientas manuales o maquinaria y equipos agrícolas.

2.1.5.1 Preparación del terreno.

Según Naranjo (1978), Neira (1986), Pumisacho y Velásquez (2009) “El cultivo de papa es exigente en cuanto a la preparación del suelo. Busca dejar el terreno con una buena estructura,

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

razonablemente suelto (no pulverizado), sin capas compactas o piedras. En general el laboreo de un lote en rastrojo o barbecho (periodo de descanso del lote posterior a la cosecha) recientes, exigirá menor número de labores que aquel lote con un período de descanso más largo o un terreno con pastura”.

2.1.5.2 Arada.

Básicamente consiste en la roturación o corte de la capa superficial del suelo con el objetivo de descompactar, incorporar residuos vegetales y controlar malezas; es recomendado realizar esta labor 2 o 3 meses antes de ejecutar la siembra para que los residuos vegetales se descompongan o de ser necesario se apliquen los correctivos o enmiendas al suelo para mejorar la estructura del suelo. La profundidad de arada se efectúa entre 25 y 30 cm de profundidad. (Naranjo, 1978; Muñoz y Cruz, 1984; Oyarzún *et al.*, 2002; Pumisacho y Velásquez, 2009).

Ilustración 4.

Arada realizada con tractor y equipo de arado a una profundidad de 25 cm.



Fuente: Autor.

2.1.5.3 Retobada.

Involucra pases cruzados del campo para desmenuzar los terrones del suelo, a fin de obtener una cama superficial suelta, de 10 a 20 cm de profundidad. (Muñoz y Cruz, 1984; Oyarzún *et al.*, 2002; Pumisacho y Velásquez, 2009).

Ilustración 5.

Retobada con tractor, realizando 2 cruzadas para dejar el terreno óptimo para el surcado.



Fuente: Autor.

2.1.5.4 Surcado.

La labor de surcado se realiza en lo posible 1 día antes para mantener la humedad del terreno. La distancia entre surcos se determina según las indicaciones o requerimientos de la variedad de papa a sembrar. La orientación del trazado de surcos se hace teniendo la topografía y el drenaje del suelo a una profundidad de 10 a 15 cm (Neira, 1986). El surcado también se realiza usando herramientas como la charruga la cual es alada por un semoviente (caballo, asno, buey) y

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

dirigido por un trabajador, la distancia entre surcos varia porque no se puede realizar con mucha exactitud al igual que la profundidad.

Ilustración 6.

Surcado realizado con tractor y su equipo a una distancia entre surcos de 90 cm y a una profundidad de 12 cm.



Fuente: Autor.

2.1.5.5 Siembra.

Basado en Neira (1986), la siembra “Es la operación agronómica por la cual se deposita la semilla bajo la tierra, la calidad de la siembra influye en el éxito del cultivo de la papa. La siembra correcta asegura una emergencia rápida y uniformidad del cultivo. Un cultivo uniforme hace más fáciles las labores culturales y permite la identificación visual de plantas enfermas.”

2.1.5.6 Profundidad de siembra.

“Depende de la humedad y temperatura del suelo, del tamaño de los tubérculos y sus brotes” (Naranjo, 1978; Muñoz y Cruz, 1984; Neira, 1986; Oyarzún *et al.*, 2002). “Cuando hay suficiente humedad, los tubérculos deben ser tapados con una capa de 5 cm de tierra. En terrenos

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

secos se recomienda taparlos con una capa de 8 a 12 cm de tierra” (Muñoz y Cruz, 1984; Oyarzún *et al.*, 2002).

La profundidad de siembra también varía dependiendo de la maquinaria o herramientas de surcado que se hayan empleado, preparación y topografía del terreno.

2.1.5.7 Distancia de siembra.

Muñoz y Cruz (1984), Neira (1986) y Oyarzún *et al.* (2002) afirman que “La distancia de siembra depende de: la variedad, las condiciones de crecimiento y el tamaño deseado de los tubérculos a la cosecha (tubérculos medianos a grandes para consumo y procesos industriales; tubérculos pequeños destinados a semilla y congelados)”. La distancia entre surcos puede ser de 0.90 a 1.20 m, dependiendo de la variedad. En la producción de semilla se recomienda distancias de 1 m entre surcos y 0,25 m entre plantas (Montesdeoca, 2005).

Ilustración 7.

Distancia de siembra de 1 metro entre surcos y 35 cm entre tubérculos.



Fuente: Autor.

2.1.5.8 Densidad de siembra.

Tradicionalmente, la densidad de un cultivo se ha expresado como número de plantas por unidad de área. Sin embargo, en el cultivo de papa cada planta proveniente de un tubérculo forma un conjunto de tallos, cada uno de los cuales forma raíces, estolones y tubérculos. Como resultado, la densidad efectiva de una parcela de papa equivale a la densidad de plantas multiplicada por la densidad de tallos. (Neira, 1986; Oyarzún *et al.*, 2002).

La densidad de plantas se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad de plantas} = \frac{\text{Área de terreno (m}^2\text{)}}{\text{Área que ocupa una planta (m}^2\text{)}}$$

Donde,

Área que ocupa una planta (m²) = Distancia entre plantas (m) x distancia entre surcos (m)

2.1.5.9 Deshierba.

Es la primera labor cultural que se realiza, cuando las plantas tienen una altura aproximada de 15 a 20 centímetros (40 ó 60 días después de la siembra). Esta labor cumple 2 finalidades específicas.

- Eliminación de malezas que comienzan a competir con el cultivo por los nutrientes.
- Rotura de la costra del suelo para evitar la capilaridad y la consiguiente pérdida de humedad.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Aunque se haya realizado el control de malezas mediante el uso de herbicidas, en la época recomendada para su aplicación (20 a 25 días después de la siembra), el deshierbe no puede dejar de efectuarse en la oportunidad indicada.

Ilustración 8.

Deshierbo realizado en cultivo de papa variedad Ica única, 40 días después de la siembra.



Fuente: Autor.

2.1.5.10 Aporque.

Esta tercera y última labor cultural es realizada entre 90 y 110 días después de la siembra, inmediatamente antes de la floración, que consiste en agregar suelo alrededor de la planta y levantar la altura del surco.

Con esta labor se da forma definitiva a los surcos, los que deberán permanecer así hasta la cosecha. Por tanto, un aporque insuficiente o defectuoso tendrá resultados adversos en la producción y en el rendimiento, con el aporque se busca brindar mejores condiciones como:

- Facilitar la aireación del suelo.
- Mantener la humedad cerca de las raíces.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

- Mejorar el drenaje del agua que se presente en exceso, evitando el encharcamiento.

Con esto se logra que la planta desarrolle raíces y tubérculos, se evita que los estolones queden en la superficie convirtiéndose en tallos y no en tubérculos, se busca evitar el enverdecimiento de los tubérculos, condición que afecta la calidad del producto y el ataque de plagas y enfermedades.

La importancia de las labores culturales, más que su realización material en sí, radica en que se efectúen con eficiencia y sobre todo con oportunidad. La anticipación de las labores afecta el desarrollo de las plantas; las demoras en su realización tendrán incidencia negativa en los rendimientos (Neira, 1986).

Ilustración 9.

Aporque realizado con trabajadores usando azadón, 65 días después de la siembra.



Fuente: Autor.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Ilustración 10.

Aporque realizado con tractor y su equipo.

**2.1.5.11 Cosecha.**

La cosecha de la papa, dependiendo de la variedad y de la altitud sobre el nivel del mar donde se encuentre el cultivo, se produce entre los 6 a 7 meses después de la siembra. Para cosechar la papa, previamente se debe hacer un muestreo, extrayendo algunas plantas al azar para tomar sus tubérculos y frotarlos con la mano, si no se desprende la cáscara, el tubérculo ya se encuentra maduro, si por el contrario se desprende fácilmente le falta madurez.

Comprobando la madurez del tuberculo se inicia con la cosecha, la cual consiste en realizar un cave a los surcos de manera manual usando garabatos, semovientes y equipo de cosecha o tractor con cosechadora. La cosecha es recogida y clasificada en costales de 50 kilos y sellados previamente para su comercialización en fresco o para su almacenamiento y tratamiento si es semilla destinada para posteriores cultivos.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Ilustración 11.

Cosecha usando maquina cosechadora.



Fuente: (Syagro, s.f.)

Ilustración 12.

Cosecha de papa variedad pastusa superior, usando trabajadores de la región.



Fuente: Autor.

2.1.6 Fertilización

El objetivo del uso de fertilizantes, es asegurar que la planta como ser vivo obtenga abastecimiento de nutrientes esenciales y estén presentes en la cantidad y oportunidad requeridas para ser absorbidos en forma iónica por las plantas, se clasifican en:

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

2.1.6.1 Nutrientes primarios.

Forman parte de las estructuras proteicas de la planta, estimulan el crecimiento principalmente de hojas, tallos, tejidos vegetales (raíces) y contribuye a la nutrición de la planta en cuanto a la sanidad (Sierra et al., 2002).

- Nitrógeno, absorbido como nitrato en mayor cantidad, amonio en menor cantidad, también como urea y/o aminoácidos (en menor cantidad).
- Fósforo, absorbido como ortofosfato monovalente y en menor medida como ortofosfato divalente.
- Potasio, absorbido como magnesio iónico.

2.1.6.2 Nutrientes secundarios.

Son los elementos necesarios para el crecimiento de las plantas pero en menor proporción que los nutrientes primarios.

- Calcio, bajo la forma de catión divalente.
- Magnesio, absorbido como catión divalente.
- Azufre, absorbido como sulfato.

La aplicación de estos nutrientes por lo general se realiza cuando se ejecutan labores culturales (siembra, deshierbo, aporque).

2.1.7 Aplicación de fertilizantes.

Para la aplicación de fertilizantes encontramos varias formas, pero las más utilizadas son:

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

2.1.7.1 Radicular o al suelo.

Su aplicación se realiza a la base o alrededor de la planta con el objetivo de acercar nutrientes a las raíces para que sean absorbidos y asimilados rápidamente sobre la superficie o en la profundidad, la frecuencia de esta aplicación depende de las necesidades de la planta (fertilizante.info, 2018).

2.1.7.2 Foliar.

Esta aplicación se realiza sobre las hojas de la planta con la misión de poner a disposición nutrientes primarios cuando estos se encuentran muy fijados en el suelo o por condiciones que limitan la absorción y no son asimilados de forma óptima. Los nutrientes son absorbidos por las hojas rápidamente garantizando resultados en poco tiempo (fertilizante.info, 2018).

2.1.8 Rendimiento

El rendimiento de papa se puede definir como el resultado de calcular la cantidad de tubérculos sembrados en una área determinada, multiplicado por el promedio que se obtiene realizando un aforo del peso de varias muestras dentro del área determinada. Este rendimiento lo obtenemos en las unidades que se necesite. Por lo general se calcula en toneladas por hectárea.

2.1.8.1 Rendimiento de productores a nivel departamental (Santanderes).

A pesar de que la economía de estos departamentos se basa, en gran medida, de las industrias manufactureras, la papa está entre los cultivos transitorios más sembrados. En

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

conjunto, ambos departamentos representan el 6% de la producción nacional con una cifra esperada de 180.228 toneladas para el 2018. El área sembrada para este año se estima en las 8.204 hectáreas.

Así, para este año, se espera que el rendimiento de los Santanderes se mantenga alrededor de las 21 ton/ha, disminuyendo 2% respecto al año anterior.

Tabla 3.

Área, producción, rendimiento en el Departamento.

	2017	2018	Var. (%)
Área (has)	8.044	8.204	1%
Producción (Ton)	179.868	180.228	0.2%
Rendimiento (Ton/has)	22	21	-2%

Fuente: Elaboración propia del autor, con información obtenida de (Consejo Nacional de la Papa-Cálculos Sistemas de Información FNFP-Fedepapa).

2.1.8.2 Rendimiento de productores a nivel Nacional.

En Colombia se cultiva papa en once departamentos, pero sólo cuatro de ellos, Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia, concentran alrededor del 90% de área y la producción. Los departamentos más importantes en la producción de papa son, en su orden, Cundinamarca, Boyacá y Nariño. Cundinamarca, es de lejos el mayor productor con una participación del 39% de la producción nacional. Le siguen Boyacá con el 24% y Nariño con el 21%.

En Colombia se siembran aproximadamente 130 mil hectáreas y se producen cerca de 2,8 millones de toneladas de papa al año, con variaciones de acuerdo con el comportamiento

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

climático y la evolución en los precios pagados al productor. El rendimiento promedio nacional se encuentra en 21,1 toneladas por hectárea.

Tabla 4.

Área, producción, rendimiento a nivel nacional.

Departamento	Área (Ha)				Producción (Ton)				Rendimiento (TonHa)			
	2016	2017	2018	2019	2016	2017	2018	2019	2016	2017	2018	2019
Cundinamarca	46.400	48.256	48.289	48.215	964.607	1.075.360	1.077.222	997.816	20.8	22.3	22.3	21.4
Boyacá	34.100	36.146	35.563	35.162	625.739	713.592	671.204	725.222	18.4	19.7	18.9	21.3
Nariño	24.900	26.394	25.278	24.906	447.865	530.000	574.550	569.163	18.0	20.1	22.7	21.5
Antioquia	7.400	7.400	7.165	6.940	135.416	150.960	148.115	141.284	18.3	20.4	20.7	20.8
Otros	13.300	13.965	13.880	13.399	250.073	281.925	311.584	267.577	18.8	20.2	22.4	20.4
Total	126.100	132.161	130.176	128.622	2.423.70	2.751.837	2.782.676	2.701.062	18.9	20.5	21.4	21.1

Fuente: Elaboración propia del autor, con información obtenida de (Consejo nacional de papa).

2.1.9 Maquinaria y equipos

Los equipos agrícolas son un grupo de aparatos diseñados para mejorar y optimizar la práctica de actividades culturales en el cultivo como lo son: abrir surcos en la tierra, desmenuzar, fumigar y fertilizar en el suelo.

La maquinaria agrícola es aquella que tiene autonomía de funcionamiento y, por tanto, está al funcionamiento de un motor de combustión y unos mecanismos de transmisión que la permiten desplazarse por el campo cuando desarrolla el trabajo, aligerando las labores y mejorando las técnicas de cultivo.

2.1.9.1 Tractor.

El tractor es un vehículo autopropulsado que se utiliza especialmente en labores agropecuarias (arar, surcar, retobar, aporcar, etc.) por su capacidad de adherencia a terrenos

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

difíciles, su uso disminuye el uso de mano de obra, esfuerzo de semovientes (caballos, bueyes, asnos) y el tiempo de realización de las labores. (Boletín Agrario, s.f.). Actualmente gracias a los avances tecnológicos se cuentan con tractores no tripulados los cuales, trabajando bajo seguimiento del uso de GPS, mapeo previo a su utilización y sensores encargados de emitir señales mejorando su trabajo.

2.1.9.2 Equipo Aspersión.

Son los equipos utilizados para aplicar los diferentes productos agroquímicos (insecticida, herbicida, fungicida), para proteger el cultivo en las diferentes etapas de insectos, plagas, enfermedades y malezas. De acuerdo a su crecimiento se inicia usando la fumigadora de espalda (manual), cuando el cultivo se encuentra en proceso se desyerbe se inicia con el uso del motor estacionario (semiautomático) el cual facilita la ejecución de este proceso. Estos equipos también son utilizados para proveer los cultivos con agua (CENIPALMA, 2020).

2.1.9.3 Arado.

El arado es una herramienta de hierro utilizada en labores agrícolas la cual ha sufrido transformaciones civilizadoras, inicialmente se usaba con tracción animal y hoy en día se usa con tractores. La finalidad de su uso es romper y airear el suelo realizando cortes para la implantación de un cultivo (Biblioteca Inia, s.f.).

2.1.9.4 Retobo.

El retobo es el equipo que se utiliza para descomponer los cortes del terreno que deajo el proceso de arado, dejando lista la cama (tierra suelta) para la siembra de las semillas (Diskubota, 2021).

2.1.9.5 Motocultor.

Según Educalingo, s.f. “Un motocultor o tractor de un solo eje es un vehículo especial autopropulsado de un eje, dirigitible por manceras por un conductor que marche a pie. Utilizada para la labor superficial del suelo. Principalmente se utiliza para labrar pequeñas superficies”.

2.1.9.6 Surcadora.

La surcadora es el equipo utilizado para hacer surcos ajustada para usarse con el tractor donde la profundidad y el ancho entre surcos se pueden ajustar a los requerimientos técnicos en una sola operación (Traserpeca, 2016).

2.1.10 La agricultura

Es la actividad económica que vincula al hombre (productor) y a la tierra, porque van interactuar conjuntamente debido a las labores que se deben de realzar en el suelo para la producción de diferentes alimentos como frutas, tubérculos, hortalizas, verduras etc. Contribuyendo con la seguridad alimentaria y economía mundial.

Los productores se clasifican de acuerdo al área sembrada de la siguiente manera:

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Tabla 5.

Tipos de productor de acuerdo al área sembrada.

Tipo de productor	Descripción
Pequeños	Siembran menos de 3 hectáreas, constituyen el 95% de los cultivadores y producen alrededor de 45% del total de la producción.
Medianos	Siembran entre 3 y 5 hectáreas; constituyen el 3% de los cultivadores y participan con cerca del 35% del total de la producción.
Grandes	Siembran más de 5 Hectáreas, constituyen el 2% de los cultivadores y participan con aproximadamente el 20% del total de producción.

Fuente: Elaboración propia del autor, con información obtenida de (Consejo Nacional de la Papa).

La agricultura es la actividad que ha trasendido con el pasar de los años y ha sufrido grandes cambios estratégicos, tecnológicos y culturales, pasando del uso de herramientas rudimentarias a maquinaria y equipos que facilitan las tareas, beneficiando a quienes la practican.

2.1.10.1 Agricultura tradicional.

Este tipo de agricultura se desarrolla en terrenos pequeños en pequeñas unidades y practicada por familias es de baja tecnificación e implementación tecnológica en sus actividades. Por esto, su producción suele llegar específicamente para el consumo a menor escala.

Al realizar una actividad y utilizar herramientas rudimentarias, la producción y el rendimiento radica principalmente en las capacidades y aptitudes del agricultor y sus trabajadores, por lo que la optimización de recursos suele ser menor.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

A esto se agrega que la manera en que se trabaja el campo depende del conocimiento o práctica empírica.

2.1.10.2 Agricultura moderna.

Este tipo de agricultura se enfoca en la producción en masas (grandes cantidades), se caracteriza por incorporar la ciencia y tecnología para ser más eficiente, ahorrando recursos (tiempo y dinero), logrando más cantidad (rendimiento) y mayor calidad en la producción. Es precisamente su alta capacidad productiva la que la define como una actividad diseñada para responder a las necesidades de los mercados.

La gran diferencia de estos 2 tipos de agricultura es el resultado de la utilización de agrotecnología, es la tecnología aplicada a la agricultura. Brinda los métodos y la maquinaria adecuada para optimizar la producción, enfocándose en los procesos utilizados en el sector para eficientizar el uso de los recursos y ayudar al agricultor en sus actividades.

- Agroquímicos: creación, desarrollo y uso de fertilizantes, nutrientes, plaguicidas y procedimientos fitosanitarios.
- Mecánica: maquinarias como sembradoras, surcadoras, fumigadoras, tractores, recolectores y todas aquellas que facilitan la vida del agricultor.
- Biológica: creación de semillas, fertilizantes, nutrientes y plaguicidas a partir de modificaciones celulares.
- Informática: herramienta que utiliza plataformas y aplicaciones digitales para administrar y monitorear los procesos de cultivo.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

- Robótica: maquinaria hiperespecializada que se apoya del software agrícola para trabajar con agricultura de precisión. Los satélites y drones generan información (BigData) que es analizada para llevar a cabo procesos de fertilización, cosecha o siembra a distancia por robots ‘inteligentes’.

En Colombia con la utilización de tecnologías aplicadas al campo (Agroquímica, mecánica y biológica) ha aumentado la producción y por ende el rendimiento por hectárea sembrada, lo que significa que los cultivos de papa cada año son más rentables para los agricultores colombianos. El informe del ministerio de agricultura arroja que al transcurrir el tiempo los cultivos son más beneficiosos, ya que el aérea cosechada tiende a tener un mayor porcentaje sobre el área total sembrada.

Tabla 6.

Estadística área sembrada y cosechada, producción y rendimiento.

Año	Área Sembrada (Ha)	Área cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (TonHa)
2007	167.036	157.115	2.810.777	17.89
2008	157.225	158.076	2.807.665	17.76
2009	172.006	155.856	2.933.920	18.82
2010	183.948	168.839	3.247.731	19.24
2011	180.516	170.994	3.158.122	18.47
2012	159.581	158.176	2.957.863	18.70
2013	170.214	154.162	2.827.430	18.34
2014	169.358	160.030	3.077.008	19.23
2015	178.862	165.828	3.344.107	20.17
2016	191.796	169.209	3.473.301	20.53
2017	183.124	178.754	3.852.830	21.55

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Fuente: Elaboración propia del autor, con información obtenida de (AGRONET. Rendimiento de la papa [en línea]. Bogotá: Ministerio de Agricultura Disponible en Internet: <URL: https://www.agronet.gov.co/Documents/5-PAPA_2017_2017.pdf tabla rendiemitnp papa>)

2.1.11 Agricultura de precisión (AP)

La agricultura de precisión se rige en: Aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto. Usando tecnologías de la información se puede brindar los requerimientos que necesita el suelo debido a su variabilidad dentro de un lote involucrando sistemas de posicionamiento global y de medios electrónicos para la recolección de datos para su respectivo análisis y toma de decisiones en tiempo real; permitiendo adaptarse al manejo óptimo de grandes extensiones de cultivos optimizando el uso y la dosis de fertilizantes a aplicar, densidad de semillas, distancias de siembra, rendimiento de maquinaria etc. El uso de AP ayuda a mejorar márgenes a través del aumento del rendimiento (cantidad o calidad) (García y Flego, 2008).

Basado en Castillo y Calderón (2019) la agricultura de precisión se centra en dar soluciones a problemáticas en la agricultura como el impacto ambiental, adecuado uso tierra y agua, seguridad alimentaria, competitividad, optimización de insumos etc. Se logra con integración directa con la tecnología, experiencia y conocimientos; manteniendo control y monitoreo constante con el fin de analizar, interpretar, distribuir y utilizar la información. Dichas tecnologías y elementos se describen a continuación:

2.1.11.1.1 Sistemas de posicionamiento (GPS).

Es un sistema clave para el control de tráfico agrícola, puesto que proveen datos en tiempo real la ubicación, facilitan la gestión y control en el espacio, permiten la

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

implementación de rutas óptimas, mapeo etc. Dentro de estos sistemas se destacan GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou.

2.1.11.1.2 Sensores remotos.

Encargados de capturar datos del cultivo, suelo, humedad, precipitaciones, etc; con ayuda de tecnologías inalámbricas como Wi-Fi®, Bluetooth® y redes celulares. Dicha captura se realiza con el objetivo de adquirir información acerca de la condición del suelo, crecimiento de las plantas, infestación de plagas, niveles de agua y fertilizantes.

2.1.11.1.3 Aeronaves pilotadas remotamente (RPA, Remotely Piloted Aircraft).

También denominados drones, ofrecen soluciones novedosas y económicas en el ámbito de obtención de imágenes en zonas de difícil acceso, estimación de variables agroclimáticas, monitorización cultivos y aplicación de productos a los cultivos. El uso de Dron está en crecimiento por sus buenos resultados en la ejecución de actividades en la agricultura

2.1.11.1.4 Sistemas de soporte a decisiones (DSS, Decision Support Systems).

Hace referencia a un conjunto de sistemas de información que complementa los anteriores componentes al facilitar la toma de decisiones por parte del personal relacionado con AP. Los DSS reciben información de sistemas de posicionamiento, de sensores remotos y de drones, para su procesamiento y despliegue del personal relacionado con el cultivo.

2.2 Trabajo de campo

Se realizó el trabajo de campo mediante la aplicación de una encuesta de forma presencial, donde se logró involucrar a 10 productores de papa del municipio de Chitagá del departamento Norte de Santander. La aplicación del instrumento es con la finalidad de recolectar información sobre temas relacionados con tiempo que ha desempeñado la labor de productor, área de cultivo, distancia de siembra, rendimiento, uso de maquinaria y equipos agrícolas, herramientas de diagnóstico nutricional, asistencia técnica, buenas prácticas agrícolas (BPA) y uso de estrategias acompañadas con tecnología.

2.2.1 Metodología

- Tipo de enfoque: Cuantitativo
- Alcance de la investigación: Descriptivo y explicativo.
- Población: Productores de papa del municipio de Chitagá.
- Muestra: 10 productores de papa.
- Método recolección información: Encuesta

2.2.2 Diagnóstico

Teniendo en cuenta la información obtenida en la encuesta encontramos que cerca del 50% de los productores de papa del municipio de Chitagá llevan desempeñando esta ardua labor por más de 8 años, ejecutando sus labores con conocimientos empíricos que se han ido transmitiendo de generación en generación. El 75% de los productores usan maquinaria y

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

equipos agrícolas solo para desarrollar labores de preparación del terreno, dejando ver claramente que en los demás procesos se realizan con herramientas tradicionales (azadón, garabato), así mismo el 83% de la población se cataloga como pequeños productores de acuerdo a la cantidad de área cultivada, por otro lado El 86% de los papicultores no le han brindado asistencia técnica, la cual la realizan profesionales del sector agrícola conllevando a que el 73% no tengan conocimiento sobre las buenas prácticas agrícolas y por último el 93% de los productores no saben de la existencia de avances tecnológicos aplicados con estrategias en la agricultura (agricultura de precisión).

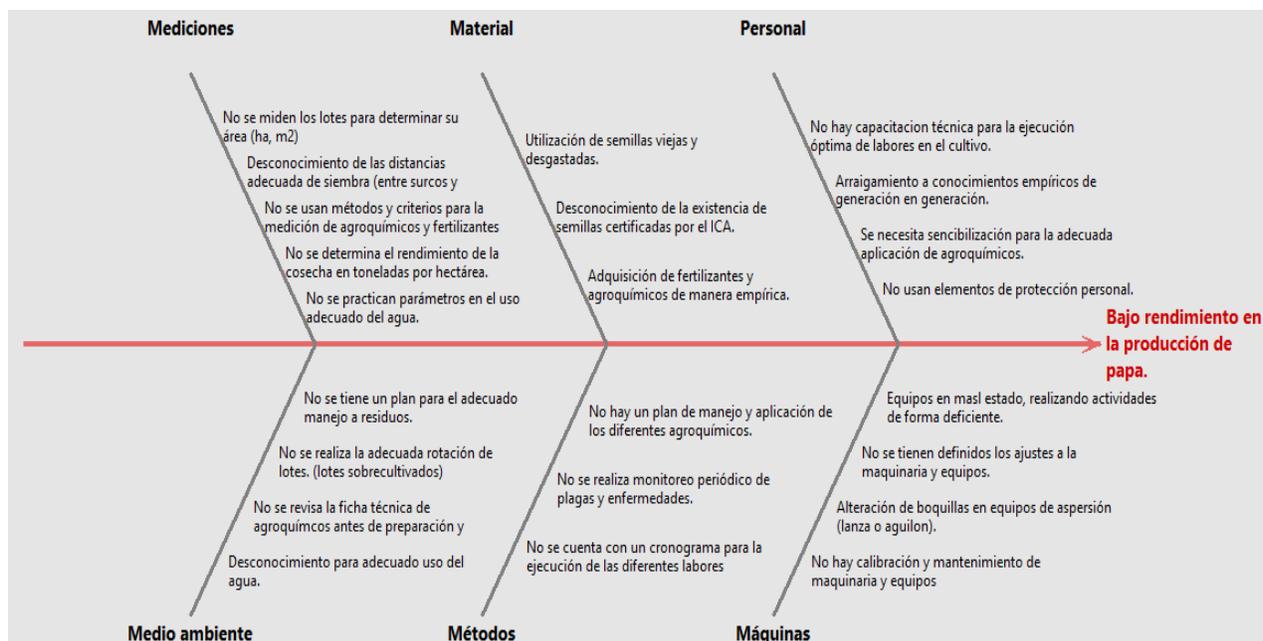
2.2.3 Evaluación

Manejo información verídica producto del trabajo de campo, es de suma importancia sensibilizar a los productores de papa tratando temas de transferencia de tecnología en la agricultura y los beneficios que se obtienen junto con la implementación de estrategias para optimizar el proceso (agricultura de precisión), como lo es el aumento del rendimiento, preservación del medio ambiente, contribuir con la seguridad a alimentaria, encaminado en mejora el proceso de producción y no continuar realizando prácticas y uso de herramientas de la agricultura tradicional las cuales hoy en día han quedado rezagadas por los avances tecnológicos puestos en marcha por la industria 4.0.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Ilustración 13.

Diagrama Causa y Efecto



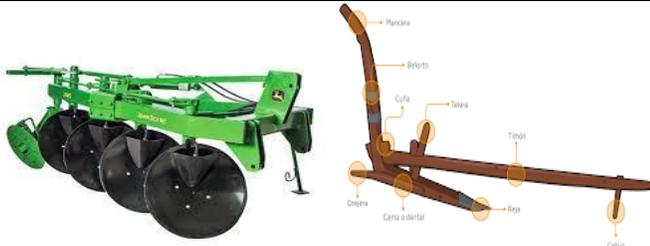
Fuente: Autor.

2.2.4 Maquinaria y equipos utilizados por los productores de Chitagá

El municipio de Chitagá actualmente no cuenta con variedad de maquinaria y equipos tecnológicos para llevar a cabo las diferentes actividades, por esta razón se utilizan herramientas rudimentarias como azadón, pica, rastrillo, garabato, etc. Igualmente se usan semovientes como caballos, asno y buey, ejecutando las actividades con mucho esfuerzo y duración. A continuación, se presentan los equipos y maquinaria utilizada.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Tabla 7.*Equipos Agrícolas.*

EQUIPO	ILUSTRACION
Equipo de aspersión	
Arado	
Retobo	
Surcadora	

Fuente: Autor.

Tabla 8.*Maquinaria Agrícola.*

MAQUINARIA	ILUSTRACION
Tractor	
Motocultor	

Fuente: Autor.

2.2.5 Rendimiento de los productores de papa municipio de Chitagá

Aplicando la ecuación para rendimiento se obtuvo.

$$\frac{\text{area de cultivo en m}^2}{\text{distancia en surcos} * \text{distancia en plantas}} * \# \text{ tubérculos}$$

* peso promedio tubérculos

Tabla 9.*Rendimiento y producción de los productores del municipio de Chitagá.*

Productor	Distancia	Distancia	Área de	# plantas por hectárea	# tubérculos por planta	Peso	Rendimiento en kg/ha	Rendimiento en toneladas
	entre tubérculos en m	entre surcos en m	la planta en m2			# del tubérculo en Kg		
Productor 1	0,45	0,9	0,405	24691,35802	6	0,12	17777,77778	17,77777778
Productor 2	0,4	0,85	0,34	29411,76471	5	0,16	23529,41176	23,52941176
Productor 3	0,4	0,8	0,32	31250	5	0,13	20312,5	20,3125
Productor 4	0,37	0,85	0,3145	31796,50238	6	0,12	22893,48172	22,89348172
Productor 5	0,4	0,8	0,32	31250	5	0,125	19531,25	19,53125
Productor 6	0,42	0,85	0,357	28011,20448	7	0,1	19607,84314	19,60784314
Productor 7	0,4	0,85	0,34	29411,76471	5	0,16	23529,41176	23,52941176
Productor 8	0,4	0,9	0,36	27777,77778	7	0,13	25277,77778	25,27777778
Productor 9	0,42	0,8	0,336	29761,90476	4	0,15	17857,14286	17,85714286
Productor 10	0,42	0,9	0,378	26455,02646	7	0,14	25925,92593	25,92592593
TOTAL	4,08	8,5	3,4705	289817,3033	57	1,335	216242,5227	216,2425227
PROMEDIO	0,408	0,85	0,34705	28981,73033	5,7	0,1335	21624,25227	21,62425227

Fuente: Autor.

La producción en promedio es de 21624 kilos por productor de papa con un rendimiento promedio de: 21.62 toneladas por hectárea, estas cantidades se encuentra dentro del promedio departamental y nacional, pero muy lejos de los rendimientos obtenidos con la implementación de tecnología y estrategias de optimización.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

2.2.6 Propuesta

La propuesta es diseñada teniendo en cuenta la maquinaria, equipos tecnológicos y asistencia técnica disponible en la región, enfocada con la agricultura de precisión; para la optimización del proceso de producción de papa. Mejorando la aplicación de agroquímicos en la cantidad y momento indicado, uso adecuado del agua, disminución del impacto ambiental, planificación del cultivo y aumento de producción (rendimiento).

La propuesta cuenta con 38 actividades que se encuentran divididas en las 7 etapas principales, usando un total de 18 elementos entre maquinaria y equipos; con una duración que oscila entre los 240-270 días dependiendo del clima, variedad y estado de brotación (talladura) de la papa. (Ver tabla 10)

Tabla 10.

Propuesta para la optimización del proceso de producción de la papa.

ETAPA DEL PROCESO	ACTIVIDADES	MAQUINARIA Y EQUIPOS A UTILIZAR	TIEMPO
1. Selección de lote.	Verificar la altitud, drenaje del suelo, recurso hídrico disponible y tomar muestra de agua, vías de acceso, cultivos aledaños, incidencia de plagas y enfermedades, condiciones climáticas, rotación de cultivos, topografía, área disponible, determinar densidad de plantas y toma muestra de suelo.	*Jama o visual. *GPS.	3 meses antes de la siembra.
2. Preparación lote.	*Aplicación herbicida. *Arada *Aplicación de correctivos o enmiendas minerales al suelo (carbonato de calcio, sulfato de calcio) según análisis de suelo.	*Dron. *Tractor tripulado. *Equipo de arado. (Arado vertedero o cincel)	2 meses antes de la siembra.
	*Retobada.	*Tractor tripulado. *Equipo de retobo.	15 días antes de la siembra.
	*Surcado del lote ajustando el equipo de acuerdo a la distancia y profundidad de siembra determinada.	*Tractor tripulado. *Equipo de surcado.	1 o 2 días antes de la siembra.
3. Siembra	*Depositar en la sembradora las semillas y el abono (de acuerdo a las recomendaciones del análisis de suelo). *Calibrar la sembradora de acuerdo a la distancia entre semillas y la cantidad de abono por semilla. *Aplicación (de acuerdo a la ficha técnica) de fungicida, bactericida e insecticida a cada una de las semillas. *Instalación de sensores para detectar humedad y temperatura *Instalación equipo de riego.	*Tractor tripulado. *Equipo sembradora. *Equipo aspersion estacionario. *Sensores. *Equipo fertirriego.	3 meses después de la selección del lote.
4. Desyerbe	*Aplicación sobre el 1/3 inferior de la planta un insecticida y fungicida de acuerdo a la ficha técnica. *Aplicación de abono fertilizante (de acuerdo a las recomendaciones del análisis de suelo). *Ejecución del desyerbe con el tractor y su respectivo equipo ajustado.	*Equipo aspersion estacionario. *Tractor tripulado. *Equipo de desyerbe.	50 a 60 días después de la siembra (depende de la emergencia de la planta)

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

5. Prevención, control de plagas y enfermedades.	<p>*Monitoreo al cultivo frecuentemente con la utilización del dron o personal encargado.</p> <p>*Aplicación de fungicida, insecticida, herbicida y fertilizantes foliares de acuerdo a la necesidad del cultivo y programa de manejo, se deben realizar de manera periódica usando los resultados del análisis de suelo y foliar.</p> <p>*Aforo para determinar incidencia o severidad de una enfermedad o plaga en el cultivo, se practica periódicamente.</p> <p>*Aplicación de fertirriego al cultivo de acuerdo a información suministrada por los sensores de humedad o temperatura y suministro de fertilizantes según el programa de nutrición hecho en base de los análisis de suelo y foliar.</p>	<p>*Dron</p> <p>*Lupa microscópica.</p> <p>*Jama o visual.</p> <p>*Equipo fertirriego.</p> <p>*Sensores</p>	<p>La atención del cultivo se realiza llevando a cabo un programa para el uso de insecticidas, fungicidas, fertilizantes y herbicidas, pero este puede variar dependiendo del monitoreo periódico o información de los sensores.</p>
6. Aporque	<p>*Aplicación de abono fertilizante si es necesario (según las recomendaciones del análisis de suelo).</p> <p>*Aplicación de insecticida y fungicida de acuerdo al programa o al resultado de los monitores.</p> <p>*Ejecución del aporque con el tractor y su respectivo equipo ajustado.</p> <p>*Toma de muestra foliar para su respectivo análisis.</p>	<p>*Tractor Tripulado.</p> <p>*Equipo aporcador.</p> <p>*Equipo aspersión estacionario.</p> <p>*Equipo fertirriego</p>	<p>70 a 75 días después de la siembra.</p>
7. Cosecha	<p>*La cosecha se ejecuta con el tractor, equipo cosechador y colaboradores (obreros).</p> <p>*Llenado de costales con ayuda de colaboradores.</p> <p>*Pesado del bulto (costal con un contenido de 50 kilogramos de papa).</p> <p>*Sellado de los bultos con el uso de cosedora.</p>	<p>*Tractor tripulado.</p> <p>*Equipo Cosechadora</p> <p>*Peso digital.</p> <p>*Cosedora de costales.</p>	<p>Entre 150 y 180 días después de la siembra, depende de la altitud y las condiciones climáticas.</p>
TOTAL	ACTIVIDADES= 38	MAQUINARIA Y EQUIPOS= 17	DURACIÓN=ENTRE 240 DÍAS A 270 DÍAS

Fuente: Autor.

2.3 Optimización del proceso de producción de papa

La optimización del proceso de producción se logra con la implementación de tecnología y estrategias en los diferentes procesos del cultivo, logrando minimizar tiempo, insumos, errores, problemáticas y maximizar rendimiento en calidad y cantidad.

2.3.1 Ejemplo de optimización

Para tener más claro el concepto de optimización del proceso, se va a colocar un ejemplo el cual viene de un estudio realizado con el título “PROPUESTA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DEL CULTIVO DE PAPA POR MEDIO DE LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA BRASILEÑA EN LA PRODUCTORA Y COMERCIALIZADORA DE PAPA SÁNCHEZ Y CALDERÓN LTDA” de (Castillo Acosta, D. García, J. A. 2019). Donde se realiza una comparación de la maquinaria y equipos usados en algunas etapas del proceso del cultivo de papa tanto en Colombia como en Brasil. (Tabla 10.)

La sigla **SyC** hace referencia a la Productora y Comercializadora de papa Sánchez y Calderón Ltda ubicada en Colombia.

Tabla 11.

Comparación de herramientas tecnológicas utilizadas en el cultivo de papa.

ETAPA DEL PROCESO.	COLOMBIA	BRASIL
PREPARACIÓN O ADECUACIÓN DEL TERRENO. (ILUSTRACIÓN 14)	SyC utiliza tractores manejados por un operario, estos son enganchados con máquinas complementarias para el desarrollo de esta actividad	En Brasil este proceso se desarrolla con tractores automatizados (sin operarios) y con localizadores GPS que permiten que el tractor realice su tarea solo por el área previamente seleccionada.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

**SIEMBRA Y
ATENCIÓN DEL
CULTIVO.
(ILUSTRACIÓN 15)**

SyC realiza esta etapa con la ayuda de un tractor, el cual es manejado por un operario y dos ayudantes quienes se encargan de poner la semilla en la sembradora, posteriormente la maquina arroja la semilla y el abono en medio de los surcos. En la atención del cultivo se realizan actividades como fumigar para esto se utilizan fumigadores de espalda que son manejadas por operarios, la cantidad de estos depende del tamaño del cultivo, si el cultivo es muy extenso se utiliza el tractor con bomba fumigadora

La siembra en Brasil se hace por medio de tractores automatizados y complementado con sistema GPS para así sembrar el terreno anteriormente preparado. La atención del cultivo se hace por áreas afectadas previamente estudiadas por drones, los cuales analizan el estado de la planta para así atacar (fumigar) directamente en la raíz del problema o de la enfermedad.

**COSECHA O
RECOLECCIÓN.
(ILUSTRACIÓN 16)**

En la empresa SyC lo realiza de forma manual y con un azadón, este trabajo lo realizan aproximadamente 30 colaboradores siempre teniendo en cuenta el tamaño del cultivo.

El proceso de recolección de la papa se realiza mediante sacadoras automatizadas que extraen la papa del suelo, la recoge y la pone en contenedores para poder ser transportada a su destino fina

Fuente: Elaboración propia del autor, con información obtenida de (Castillo Acosta, D. García, J. A. 2019).

Ilustración 14.

Comparación Tractor tripulado (Colombia) y tractor automatizado (Brasil).



Fuente: Deere & Company (2021).



Fuente: Lanner Electronics Canada Ltd (2021).

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Ilustración 15.

Comparación de trabajador fumigando con bomba de espalda y bomba fumigado del tractor (Colombia) con aeronave no tripulada Brasil



Fuente. (finca y campo, 2021)



Fuente. (Eduardoño, s.f.)



Fuente: (Aviacióncivil, 2020)

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Ilustración 16.

Cosecha cultivo de papa usando trabajadores (Colombia) y cosechadora automática (Brasil)



Fuente: Autor.



Fuente. (Agritech, 2021)

2.3.2 Revisión bibliográfica sobre sectores donde han implementado agricultura de precisión

Entre los estudios que se encuentran en la tabla encontramos el de AFJ López, DAC Pico, DYG Ramírez - Ciencia y Agricultura (2020), en el cual es un sistema automático terrestre para detección de malezas con visión artificial. Castellanos et al. (2020), implementaron un sistema de riego por goteo en un cultivo de cebolla usando electroválvulas, así mismo en la tabla 12 se detallan con más claridad estos y otros sectores donde se ha implementado agricultura de precisión.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Tabla 12.

Sectores donde han implementado agricultura de precisión.

TITULO	DESCRIPCION Y AUTOR
<p>“Sistema automático de detección de malezas y aplicación de herbicida usando tecnologías de agricultura de precisión”</p>	<p>En este proyecto se llevó a cabo el desarrollo y evaluación de un algoritmo capaz de detectar malezas mediante el procesamiento de imágenes en un cultivo de piña. Este algoritmo fue validado mediante datos al aire libre no controlados. En la aplicación, este algoritmo tuvo un 80% de eficiencia en la detección de maleza llevando a una disminución en el uso de herbicidas en plantas que no lo requieren.</p> <p>El sistema cuenta con visión artificial acoplada en un vehículo terrestre pequeño y resistente, siendo un sistema flexible con software libre o de código abierto y un hardware de mucha potencia y económico. (AFJ López, DAC Pico, DYG Ramírez - Ciencia y Agricultura, 2020)</p>
<p>Sistema inteligente de aplicación de agua con tasa variable en riego por goteo con conceptos de agricultura de precisión</p>	<p>En la Finca El Gocho, ubicada en el municipio de Nobsa departamento de Boyacá en Colombia, se llevó a cabo la investigación en un cultivo de Cebolla bulbo. El proyecto consiste en un sistema de riego inteligente el cual basa su funcionamiento en un sistema que primeramente debe obtener información de la temperatura del suelo a una profundidad y la humedad del mismo a dos profundidades, adicionalmente, esta información recolectada en campo y en la estación meteorológica determinaría la cantidad de riego que se debía aplicar. La aplicación del riego se realiza por medio de un sistema de electroválvulas con propiedades establecidas previamente.</p> <p>En la aplicación del proyecto se hizo necesario dividir el sistema en cuatro módulos:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Estación de medida: recolecta información de campo. -Estación Central: almacenamiento y análisis de información. Estación de riego: electroválvulas del sistema. Estación meteorológica: adquiere y almacena datos del medio ambiente. <p>Adicionalmente, este sistema cuenta con una app web que permite el acceso a las funciones. (Castellanos, J. S., Jiménez, A. F., Jiménez, F., Cárdenas, P. F., & Herrera,2020)</p>
<p>Determinación de normas de fertilización diferenciada para el cultivo de la papa empleando técnicas de agricultura de precisión</p>	<p>Con el propósito de recomendar una aplicación diferenciada de fertilizantes por cuadrantes para el cultivo de papa se realiza esta investigación utilizando técnicas de la agricultura de precisión.</p> <p>Para realizar el estudio se hace necesario efectuar el estudio de la fertilidad y medio químico del suelo, lo que demuestra las diferencias de los cuadrantes y a partir de eso calcular las dosis diferenciadas de acuerdo a las necesidades de los cuadrantes.</p> <p>Según los autores la fertilidad es un factor limitante del rendimiento, ya que en el estudio se pudo establecer que el cuadrante con más bajo rendimiento coincidió con los niveles más bajos de fertilidad.</p>

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

(Piedra, P. L. H., Alfonso, P. M. H., Rodríguez, H. V., Hernández, Y. Z., & Valdéz, Y. D. 2006)

Agricultura de precisión con drones para control de enfermedades en la planta de arroz	<p>El objetivo de este proyecto es la detección de enfermedades en el cultivo de arroz mediante la utilización de drones. Estos últimos emplean una cámara llamada sensor de color, el cual analiza el color del cultivo, identificando en él el área que está afectada. De esta manera, el agricultor solo trata dicha área afectada y no es necesario la aplicación de los pesticidas a todo el cultivo. Esto genera una reducción en costos en la adquisición de los productos.</p> <p>Un aspecto a resaltar es que los resultados obtenidos pueden ser transferidos a cualquier otro monocultivo, dado que al presentarse alguna enfermedad los cultivos suelen cambiar el color.</p> <p>Es así como la implementación de esta tecnología permite un trato adecuado y oportuno de cualquier enfermedad. (Barraza, J. A., Espinoza, E. J., Espinos, A. G., & Serracin, J. 2019).</p>
---	---

Fuente: Elaboración propia del autor, con información obtenida de (AFJ López, DAC Pico, DYG Ramírez - Ciencia y Agricultura, 2020), (Castellanos, J. S., Jiménez, A. F., Jiménez, F., Cárdenas, P. F., & Herrera, 2020), (Piedra, P. L. H., Alfonso, P. M. H., Rodríguez, H. V., Hernández, Y. Z., & Valdéz, Y. D. 2006) y (Barraza, J. A., Espinoza, E. J., Espinos, A. G., & Serracin, J. 2019).

2.3.3 Tecnología usada en la optimización con agricultura de precisión

Basado en Castillo y Calderón (2019) la tecnología de precisión aplicada de forma conjunta, permite a los productores mejorar no solamente en el proceso productivo, sino también en el impacto que este genera al medio ambiente, brindando una alternativa a los problemas actuales de la agricultura. De esta manera los autores mencionados anteriormente, presentan ocho herramientas de tecnología para la agricultura de precisión descritas a continuación:

2.3.3.1 Surface Water Pro Plus.

El “Surface Water Pro Plus” es un software que permite el proceso de surcado y canalización utilizando GPS, esta herramienta puede ser utilizada en cualquier máquina que se

pueda conectar a un monitor GreenStar™ mediante un conector ISO. Este software permite crear de manera automática el mapa del lote y drenajes de mayor precisión.

2.3.3.2 iTEC™ Pro.

Es un módulo del monito GreenStar que automatiza el proceso y las operaciones principales en general, permitiendo economizar en la utilización de insumos y la materia prima.

2.3.3.3 AutoTrac™.

El AutoTrac™ es una herramienta móvil de guiado que permite direccionar las operaciones agrícolas principalmente en la etapa de crecimiento del cultivo.

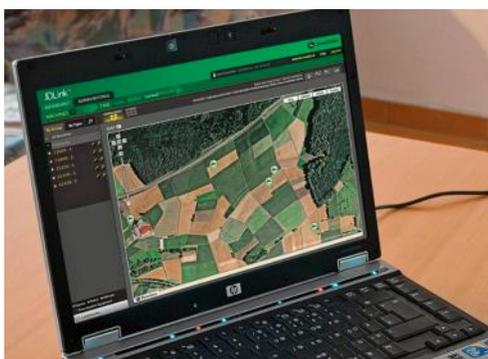
Según Deere (2019), citado por Castillo y Calderón (2019), el AutoTrac™ puede usarse en más de 600 plataformas en equipos variados, siendo compatible con vehículos agrícolas que cuentan con un sistema de dirección en óptimas condiciones, desde el punto de vista mecánico.

2.3.3.4 JDLink™ Access.

Es un sistema telemático diseñado por John Deere que permite a los productores y administradores gestionar en tiempo real todo el proceso productivo desde la oficina, sin necesidad de estar en la propia cabina de la máquina. Este sistema permite el acceso desde cualquier dispositivo móvil o de cómputo.

Ilustración 17.

Sistema temático JDlink.



Fuente: DEERE, John. JDLink™ Access y Connect Gerenciamiento de Información [en línea]. Bogotá: La Empresa . Disponible en Internet: [JDLink™ Access y Connect | Gerenciamiento de Información | John Deere LA](#)

2.3.3.5 GreenStar™.

Es un monitor táctil a color, también diseñado por John Deere cuya dimensión es de 26cm. Esta herramienta permite controlar una variedad de implementos, máquinas, aplicaciones y equipos de precisión. Permitiendo el uso de varias aplicaciones al mismo tiempo, logrando un aumento en la eficiencia y productividad de los procesos.

2.3.3.5.1 Acceso remoto a la pantalla (RDA).

Tener acceso a los ajustes necesarios, la productividad, el terreno trabajado y demás funciones de la máquina son acciones de gran utilidad al momento de dirigir e inspeccionar las operaciones. El RDA permite al operador ajustar la máquina, analizar e identificar cualquier inconveniente y brindar asistencia para resolverlo.

De esta manera, el RDA brinda beneficios en rendimiento, costo operativo y requisitos, ya que facilita un aumento en la producción y mejor desarrollo del trabajo, bajos costos de mano de obra, al igual que se puede configurar el acceso desde cualquier dispositivo o computadora.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

2.3.3.6 Mapa de productividad Harvest Doc™.

Esta herramienta de precisión Javers Doc ayuda en la generación de mapas de rendimiento (kg/ha) mediante la localización dada por el GPS y los respectivos sensores dispuestos en la cosechadora. Su principal función es brindar indicadores que permitan diagnosticar y corregir las causas de la baja en el rendimiento en el lote. Toda la información recolectada es almacenada en el monitor GreenStar para luego ser analizada.

2.3.3.7 Harvest Monitor™.

Este monitor realiza lecturas exactas de forma ininterrumpida e instantánea de la productividad y humedad durante la cosecha. Esto se hace mediante sensores instalados en la cosechadora (sensor de impacto, medición del caudal del grano y sensor de humedad). La información sobre la cosecha puede observarse a través del monitor GreenStar.

2.3.3.8 Dron XAG SERIES P.

Sistema aéreo sin tripulación apto para trabajo en diferentes terrenos (campo llano, montaña, colina, huerto). El sistema permite rociar el cultivo con una gran precisión, uniformidad y velocidad, es por eso que puede alcanzar hasta 14 ha/h equivalente al trabajo de 100 trabajadores de campo. Adicionalmente, preestableciendo las funciones de vuelo y fumigación, el sistema trabaja de forma autónoma en diferentes terrenos.

2.3.4 Beneficios de la transferencia de tecnología

La implementación de esta tecnología no solamente ayuda a optimizar las labores básicas de los cultivos, sino que también permite tener datos reales, analizarlos y a partir de eso poder

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

tomar decisiones más inteligentes y obtener mejores resultados. Así mismo, con esta tecnología se obtiene un control y monitoreo más preciso de los cultivos, lo que permitiría programar fumigaciones preventivas, minimizando la afectación por plagas y reducir costos de operaciones. Sumado a esto, el valor de precisión de las previsiones juega un papel importante, pues entre mayor precisión se tenga, mayor serán las posibilidades de mejorar en rendimiento.

2.3.5 Logros

Con la implementación de estas tecnologías, Castillo y Calderón (2019) también resaltan los beneficios y logros que brinda dicha implementación en los que se encuentra en primer lugar, una mayor seguridad en los procesos, dadas las herramientas de monitoreo constante en todas las fases del cultivo. En segundo lugar, se tiene la conservación de los recursos, como por ejemplo el agua en la fase de riego, con la agricultura de precisión, se puede calcular la humedad del cultivo y de esta manera realizar una aplicación más eficiente de este preciado líquido, llegando a economizar hasta 200 mil millones de litros de agua dulce en el mundo al año. Finalmente, considerando el alto riesgo que se corre en aspectos meteorológicos y proliferación de plagas, la agricultura de precisión, mediante la recolección de datos y un análisis predictivo, puede anticiparse al futuro y tomar decisiones oportunas que reduzcan el impacto ante posibles catástrofes.

3 Conclusiones

Al momento de diagnosticar se obtiene que el 50% de los productores de papa han desempeñado esta labor por más de 10 años, en la preparación del terreno el 75% usa tecnología (maquinaria y equipos); de acuerdo al área sembrada el 83% son pequeños productores. Así mismo con un 86% no tienen ningún tipo de asistencia técnica, conllevando a que el 73% de la muestra no tenga conocimiento de las BPA y el 93% no tengan información de la existencia de avances tecnológicos aplicados con estrategias en la agricultura (AP).

Con el fin de evaluar a los productores de papa del municipio de Chitagá, se obtiene que han implementado tecnología agrícola en la primera etapa del proceso (preparación del terreno) pero continúan practicando la agricultura tradicional en las demás etapas por su arraigamiento a conocimientos empíricos transmitidos de generación en generación y al desconocimiento de tecnología y estrategias innovadoras existentes para todas las etapas. La implementación que hoy en día realizan, no contribuye porque solo está presente en el proceso de preparación del terreno (arado, retobado, surcado), dejando a un lado la siembra, desyerbe, aporque, cosecha y control de malezas, enfermedades e insectos; los cuales son fundamentales en el establecimiento (siembra y emergencia), crecimiento (formación tallos y hojas), desarrollo (tuberización y llenado), maduración (piel bien adherida y mayor contenido de materia seca) para la obtención de buenos rendimientos (Ton*Ha).

Es de suma importancia indicar que, la agricultura es indispensable en la economía y seguridad alimentaria del país, por lo cual es necesario sensibilizar a los productores de papa al uso de tecnología y estrategias como la AP con el propósito de mejorar la eficiencia en los

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

procesos productivos aplicando la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto, uso adecuado de la tierra y agua, conservación medio ambiente y planificación del cultivo; respondiendo con calidad y cantidad a los incesantes cambios poblacionales, climáticos, biológicos y ambientales.

Para finalizar se plantea una propuesta diseñada para los productores de papa del municipio de Chitagá, teniendo en cuenta las condiciones climáticas, fuentes hídricas, topografía, asistencia técnica, maquinaria y equipos tecnológicos disponibles en la región; usando agricultura de precisión (AP), es una estrategia novedosa que genera beneficio a través de la planificación del cultivo, monitoreo constante de variables (humedad, temperatura, incidencia plagas, enfermedades, malezas, etc.) mediante la recolección de datos, análisis de datos y toma de decisiones para aplicar los correctivos y ajustes pertinentes, minimizando los márgenes de afectación en las diferentes etapas del cultivo. Los resultados se obtienen con el aumento de competitividad (cantidad o calidad) y mayor beneficio de los recursos al reducir pérdidas económicas y ambientales.

4 Bibliografía

Agritech. (2021). Cosechadora de papas Spudnik. Obtenido de

<https://agritech.cl/producto/cosechadora-spudnik/>

AGRONET. Rendimiento de la papa [en línea]. Bogotá: Ministerio de Agricultura Disponible en

Internet: <URL: https://www.agronet.gov.co/Documents/5-PAPA_2017_2017.pdf tabla
rendiemitnp papa>

Alvarez, M. (2000). Salicylic acid in the machinery of hypersensitive cell death and disease resistance. *Plant Molecular Biology* 44: 429–442.

Arribillaga García, D. (2013). Antecedentes técnicos para el cultivo de la papa en la región de Aysen. Instituto de investigaciones agropecuarias.

[https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/7669/NR39137.pdf?sequence=1
&isAllowed=y](https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/7669/NR39137.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Aviación civil. (2020). Fumigación con Drones. Obtenido de

<https://www.aviacioncivil.com.ve/fumigacion-con-drones/>

Barraza, J. A., Espinoza, E. J., Espinos, A. G., & Serracin, J. (2019). Agricultura de precisión con drones para control de enfermedades en la planta de arroz. *Revista de Iniciación Científica*, 5, 41-47.

Biblioteca Inia. (s.f.). *los arados en la agricultura*. Obtenido de

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/31105/NR06369.pdf?sequence=1>

Boletín Agrario. (s.f.). *Tractor*. Obtenido de <https://boletinagrario.com/ap-6,tractor,735.html>

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Castellanos, J. S., Jiménez, A. F., Jiménez, F., Cárdenas, P. F., & Herrera, E. Sistema inteligente de aplicación de agua con tasa variable en riego por goteo con conceptos de agricultura de precisión.

Castillo Acosta, D. A., & Calderón García, J. A. (2019). Propuesta para optimizar el proceso del cultivo de papa por medio de la transferencia de tecnología brasileña en la productora y comercializadora de papa Sánchez y Calderón Ltda.

CENIPALMA. (2020). *Calibración de equipos de aspersión en el cultivo de palma de aceite*.

Obtenido de

<https://repositorio.fedepalma.org/bitstream/handle/123456789/141097/Cartilla%20Calibraci%C3%B3n%20de%20equipos%20de%20aspersi%C3%B3n%20en%20el%20cultivo%20de%20palma%20de%20aceite.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Los%20equipos%20de%20aspersi%C3%B3n%20so>

Centro internacional de la papa. (2017). *Hechos y cifras sobre la papa*. Obtenido de centro internacional de la papa: <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/87957/CIP-Hechos-y-cifras-sobre-la-papa-Espanol-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Corzo Carrillo, P. J., Moreno Mendoza, J. D., Franco López, M., & Fierro Guzmán, L. H. (2003). Manual de papa para productores (No. Doc. 20421)* CO-BAC, Bogotá).

Cultivo de papa. (n. d.). <https://agriculture.basf.com/co/es/proteccion-de-cultivos-y-semillas/cultivos/cultivo-de-papa.html>

DEERE, John. JDLink™ Access y Connect Gerenciamiento de Información [en línea]. Bogotá: La Empresa. Disponible en Internet: JDLink™ Access y Connect | Gerenciamiento de Información | John Deere LA

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

DE, P. E. P. L. R., DE, E. C. E. E. C., & RICA, P. E. C. (2017). FICHA TÉCNICA CULTIVO DE PAPA.

Diskubota. (2021). *Rotocultivadores Sicma*. Obtenido de

<https://www.diskubota.com/sicma/rotocultivadores-sicma/>

Eduardoño. (s.f.). *CÓMO REALIZAR LABORES DE FUMIGACIÓN SEGÚN EL TIPO DE*

CULTIVO. Obtenido de <https://www.eduardono.com/agricola/blog/blog-detalles/como-realizar-labores-de-fumigacion-segun-el-tipo-de-cultivo>.

Educalingo. (s.f.). *Motocultor*. Obtenido de <https://educalingo.com/es/dic-es/motocultor>

Fao.org. (s.f.). *Producción orgánica de cultivos andinos*. Obtenido de

http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/mountain_partnership/docs/1_produccion_organica_de_cultivos_andinos.pdf

Fertilizante.info. (2018). *fertilizante. Tipos y formas de aplicación*. Obtenido de fertilizante.info:

<http://www.fertilizante.info/fertilizantes-tipos-y-formas-de-aplicacion/>

Finca y campo. (2021). *Aplicación segura de plaguicidas con bomba de espalda*. Obtenido de

<http://www.fincaycampo.com/2015/03/aplicacion-segura-de-plaguicidas-con-bomba-de-espalda/>

Fosfatos1. (2021). Grupo Fosfatos Agrominerales. Obtenido de

<http://fosfatos.gl.fcen.uba.ar/index.php/nutrientes-del-suelo/nutrientes-secundarios/#:~:text=El%20azufre%2C%20el%20magnesio%20y,o%20muy%20lixiviados%20por%20lluvias>

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

García, E., & Flego, F. (2008). Agricultura de precisión. Revista Ciencia y Tecnología.

Recuperado de http://www.palermo.edu/ingenieria/Ciencia_y_tecnologia/ciencia_y_tecno_8.html.

Gobernación de Nariño. (2019). *plan departamental de extensión agropecuaria del departamento de nariño*. Obtenido de

<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/PDEA's%20Aprobados/PDEA%20Nari%C3%B1o.pdf>

INTAGRI. 2017. Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de la Papa. Serie Hortalizas.

Núm. 10. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2013). *ANTECEDENTES TECNICOS PARA EL*

CULTIVO DE PAPA (Solanum tuberosum L.) EN LA REGION DE AYSEN. Obtenido de

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/7669/NR39137.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Insuasty-Córdoba, S. C., Ramos-Zambrano, H. S., Marcillo-Paguay, C. A., López-Peñafield, H.

V., Mateus-Rodríguez, J. F., & Martínez-Pachón, E. Diagnóstico financiero y

biofísico para la producción de semilla de papa 1 Financial and biophysical analysis

for the potato seed production.

Lamb, C., & Dixon, R. (1997). The oxidative burst in plant disease resistance. Annual Review of

Plant Physiology and Plant Molecular Biology 48: 251–275.

López, A. F. J., Pico, D. A. C., & Ramírez, D. Y. G. (2020). Sistema inteligente para el manejo

de malezas en el cultivo de piña con conceptos de agricultura de precisión. Ciencia y

Agricultura, 17(3).

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Mancilla Gonzalez, M., & Arribillaga García, D. (julio de 2013). *Antecedentes técnicos para el cultivo de la papa (Solanum tuberosum L.) en la región de Aysén*. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/7669/NR39137.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Manual producción orgánica de la papa. (n. d.). <https://ondarural.org/manual-produccion-organica-de-la-papa/>

MEDINA, Yesid. La producción de papa nacional, en desventaja por las importaciones [en línea]. Bogotá: Revista Dinero. Disponible en Internet: <URL: <https://www.portafolio.co/economia/produccion-de-papa-colombiana-afectada-por-importaciones-513924>>

Molina, J., Boanerge Santos, M., & Lesbia Aguilar, B. (Enero de 2004). *Manejo Integrado de Plagas*. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10M722.pdf>

Montesdeoca, F. (2005). Guía para la producción, comercialización y uso de semilla de papa de calidad. Quito. PNRT, INIAP, Proyecto FORTIPAPA.

Morillo Criollo, F. E. (2018). Comportamiento post cosecha de tres variedades de papa solanum tuberosum l. en dos condiciones de almacenamiento (Bachelor's thesis).

Muñoz, C., & Zapata, F. (2013). Plan de manejo de los Arrecifes Coralinos del Parque Nacional Natural Gorgona - Pacífico colombiano. Santiago de Cali, Colombia: WWF Colombia, Parques Nacionales Naturales de Colombia.

Naranjo, S. (1978). Labores de siembra, cultivo y cosecha en campos de producción de semilla de papa.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Neira A., R. (1986). Tecnología del cultivo de papa. En Quinto Curso sobre Producción de Semillas de Papa a Partir de Cultivo de Tejidos, Mejoramiento y Tecnología del Cultivo (pp. 103-136). Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina.

Ondarural. (s.f.). *Manual: Producción orgánica de la papa*. Obtenido de <https://ondarural.org/manual-produccion-organica-de-la-papa/>

Orozco, Ó. A., & Ramírez, G. L. (2016). Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 15(28), 103-124.

Piedra, P. L. H., Alfonso, P. M. H., Rodríguez, H. V., Hernández, Y. Z., & Valdéz, Y. D. (2006). Determinación de normas de fertilización diferenciada para el cultivo de la papa empleando técnicas de agricultura de precisión. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(1), 43-46.

Romero Granizo, D. F. (2013). Comportamiento Agronómico y de Poscosecha: Calidad Nutricional y Potencial para Seguridad Alimentaria de diez Cultivares Nativos y Mejorados de Papa (*Solanum tuberosum*) en Ilapo y Santa Fé de Galán (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

Sierra B, Carlos, Rojas R, Jose Santos y Kalazich B, Julio (2002) Manual Fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile [en línea]. Osorno: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 76. Disponible

Swanson, J., Kearney, B., & Dahlbeck, D. (1988). Cloned avirulence gene of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* complements spontaneous race change mutant. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 1: 5-9.

Evaluación del proceso de producción de papa del municipio de Chitagá Norte de Santander y su optimización mediante la agricultura de precisión.

Syagro. (s.f.). *Equipos para la cosecha*. Obtenido de <https://syagrosa.com/cultivos/maquinas-de-produccion-de-papa/equipos-la-cosecha-2/>

Traserpeca. (2016). *surcadoras*. Obtenido de <https://traserpeca.com/producto/surcadoras/>

Troiani, H., Prina , A., Muiño, w., Tamame, M., & Beinticinco , L. (2017). *Botánica, Morfología, Taxonomía y Fiteografía*. Obtenido de <http://www.unlpam.edu.ar/images/extension/edunlpam/QuedateEnCasa/botanica-morforlogia-taxonomia-y-fitogeografia.pdf>

VENZARIO. El Itec Pro Para Tractores John Deere [en línea]. Bogotá: Disponible en Internet: <URL: <https://venzario.wordpress.com/2008/09/02/el-itec-pro-para-tractoresjohn-deere>

Vanacker, H., & Greenberg, JT. (2001). A role for salicylic acid andnpr1 in regulating cell growth in Arabidopsis. *Plant Journal* 28: 209–216.