



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de Grado de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo
para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“Agricultura de precisión en el manejo agronómico del cultivo de maíz”

AUTOR:

Ronald Eduardo Contreras Velásquez

TUTORA:

Ing. Agr. Rosa Elena Guillén Mora, Mg.IA.

Babahoyo – Los Ríos - Ecuador

2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de Grado de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo a
la obtención del título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

TEMA:

“Agricultura de precisión en el manejo agronómico del cultivo de maíz”

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Agr. Oscar Mora Castro, MBA

PRESIDENTE

Ing. Agr. Carlos Barros Veas, MSc

PRIMER VOCAL

Ing. Marlon Pazos Roldán, MSc

SEGUNDO VOCAL

La responsabilidad por la investigación, análisis, resultados, conclusiones y recomendaciones presentadas y sustentadas en este componente práctico del Examen Complexivo son de exclusividad del autor.

Ronald Eduardo Contreras Velásquez

DEDICATORIA

A Dios; por haberme entregado salud y la fuerza para poder prevalecer en este reto de culminar mi carrera de Ingeniero Agrónomo.

A mis Padres por convertirse en esa ayuda que necesitaba durante toda mi carrera Universitaria, por darme excelentes consejos y educación; a ellos les dedico este logro porque sin ellos no podría haber culminado mis estudios universitarios.

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirnos, por guiarnos a lo largo de nuestras vidas y por darnos la fortaleza para seguir siempre y conseguir nuestros objetivos.

Gracias a mis Padres Tito Contreras y Alís Velázquez. Por ser la principal ayuda estos cinco años, y darme su confianza y creer que lo lograría.

RESUMEN

La investigación fue desarrollada mediante una investigación de tipo descriptiva y bibliográfica; la información fue obtenida de publicaciones científicas y demás documentos digitales que mantenga una relación directa con el tema del trabajo de investigación “Agricultura de precisión en el manejo agronómico del cultivo de maíz en el litoral ecuatoriano”, cuyo objetivo es Identificar las tecnologías aplicadas en la producción de maíz en el litoral ecuatoriano. Teniendo en cuenta los resultados de investigaciones realizadas, luego de ser analizadas se llegó a la conclusión: en los cultivos de maíz del litoral ecuatoriano no son aplicados los métodos de agricultura de precisión, por tanto se recomienda intervenir con investigaciones y otros métodos que aportarían con la producción del maíz amarillo y el cuidado del medio ambiente con el uso de tecnologías de dosis variables, pulverización asistida por GPS, programas de SIG, programas estadísticos, sistemas de posicionamiento global GPS, sensores remotos, sensores directo.

Palabras clave: Agricultura de precisión, maíz, litoral ecuatoriano, GPS, SIG, dosis variable, pulverización asistida, sensores.

SUMMARY

The research was developed through a descriptive and bibliographic research; the information was obtained from scientific publications and other digital documents that have a direct relationship with the subject of the research work "Precision agriculture in the agronomic management of maize cultivation on the Ecuadorian coast", whose objective is to identify the technologies applied in maize production on the Ecuadorian coast. Taking into account the results of research carried out, after being analyzed, the conclusion was reached: in maize crops on the Ecuadorian coast precision farming methods are not applied, therefore it is recommended to intervene with research and other methods that would contribute with the production of yellow maize and environmental care with the use of variable dose technologies , GPS-assisted spraying, GIS programs, statistical programs, GPS global positioning systems, remote sensors, direct sensors.

Keywords: Precision agriculture, maize, Ecuadorian coastline, GPS, GIS, variable dose, assisted spraying, sensors.

ÍNDICE DEL TEXTO PRINCIPAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	vi
SUMMARY.....	vii
ÍNDICE DEL TEXTO PRINCIPAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	3
1.1. Definición del tema caso de estudio	3
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos.....	4
1.5. Fundamentación teórica	5
1.6. Adopción de la agricultura de precisión.....	10
1.7. Beneficios de la agricultura de precisión.....	11
1.8. Sistemas de posicionamiento global y su aplicación en la agricultura.....	12
1.9. Monitoreo de rendimiento y elaboración de mapas	13
1.10. Tecnología de dosis variable	16
1.11. La agricultura convencional versus la agricultura de precisión	17
1.12. Hipótesis	18
1.13. Metodología de la investigación	18
CAPÍTULO II	19
2.1. Desarrollo del caso.....	19
2.2. Soluciones planteadas.....	21
2.3. Conclusiones	21
2.4. Recomendaciones	22

Bibliografía..... 24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Las etapas de la agricultura de precisión, según AGCO Corporation, 2005	7
Figura 2. Mapa de rendimiento de maíz, temporada de siembra de 2002; EMBRAPA, Maíz y sorgo Estación Experimental, Brasil; En el momento de la cosecha, el mapa del rendimiento o la identificación de la variabilidad del suelo representada en los mapas de rendimiento y/o fertilidad del suelo.....	9
Figura 3. Variabilidad temporal del rendimiento del maíz, 2000, 2001 y 2002; cosechas/temporadas; EMBRAPA, maíz y sorgo Estación Experimental, Brasil.....	10
Figura 4. Tipos de monitores de rendimiento más difundidos en la agricultura de precisión. Fuente: Bongiovanni <i>et al.</i> (2006).....	14
Figura 5. Caso 1: Experiencia en el manejo de mapas de productividad en cultivo de caña de azúcar, Colombia.....	15
Figura 6: Caso 2: Experiencia en el manejo de mapas de productividad en cultivos de caña de azúcar, Colombia.....	16
Figura 7. Caso 3: Experiencia en el manejo de mapas de productividad en cultivo de caña de azúcar, Colombia.....	16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Etapas para la aplicación de agricultura de precisión	8
Tabla 2. La Agricultura convencional versus la agricultura de precisión	17
Tabla 3. Tecnologías de la agricultura de precisión aplicadas en las etapas productivas del cultivo de maíz.....	19
Tabla 4. Tecnologías de la agricultura de precisión que son aplicadas en la producción de maíz del litoral ecuatoriano	20

INTRODUCCIÓN

Los procesos de innovación¹ se presentan como factores importantes para la supervivencia de organizaciones que se basan en economía de conocimientos. Álvarez y Bolaños (2014) afirman “Justamente el conocimiento se convierte en una innovación (...) Para permitir a las empresas u organizaciones ser competitivas frente a otras”. Estos factores de innovación gestionados para crear el valor, servicios, tecnologías y nuevos procesos empresariales. Según el Manual de Oslo (Como se citó en Álvarez y Bolaños [2014]) determina que “Una innovación es la implementación de una nueva o significativa mejora de un producto (bien o servicio), o proceso, un buen método de mercadotecnia, o un método organizacional en las prácticas de negocios, el lugar de trabajo de la organización o en las relaciones externas”. Por todo lo anterior es necesario considerar a la innovación como el éxito desde un punto de vista técnico y económico.

Con las nuevas implementaciones tecnológicas en el campo agrícola que se vive en la actualidad, la agricultura tradicional ha ligado gran reformación, avances que contribuyen en las mejoras productivas, en el rendimiento de los cultivos y su sostenibilidad. La agricultura de precisión (AP) son estrategias de manejo en cultivos donde se hace uso de tecnologías para la toma de decisiones técnicas, económicas y ambientales debidamente adecuadas; implementando sistemas alternativos sostenibles en la producción agrícola, con el único propósito de obtener la información necesaria en tiempo real sobre lo que está ocurriendo o puede ocurrir en los suelos y cultivos establecidos, y así proceder a tomar las decisiones correctas para incrementar las producciones de un cultivo con disminución en los costos de inversión e impactos ambientales; rescatando siempre los sistemas de producción locales existentes. (Castellanos y Morales 2016)

¹ Es en el año de 1934 cuando Shumpeter introducía el término innovación, asociándolo a los experimentos que se daban en el mercado y los cambios en los sectores productivos; concentrándose con la introducción de nuevos productos o métodos de producción. Citado por Avendaño y William (2012)

Los cambios de los cultivos desempeñan un papel de gran importancia en la agricultura de precisión, debido que estos cambios existentes en las horas extras son inestables (Pierpaoli *et al.* 2013; Somayeh y Kurosh 2015). El avance tecnológico es la herramienta esencial para implementarla, nombrando algunas como: programas de software, dispositivos y maquinaria agrícola inteligente. Los productores agrarios tienen que aceptar estos mecanismos y programas con inteligencia artificial como sistemas de gestión, y confiar completamente en ellos, de ese modo lograr su utilidad completa. (Allahyari *et al.* 2016)

Para optimizar el uso de la capa fértil o suelo agrícola; las buenas prácticas en la utilización de la tierra, una adecuada planificación es fundamental para garantizar el máximo desarrollo y mejoras económicas y sociales (Mohammad *et al.* 2016). La implementación de estas tecnologías agrícolas en los cultivos de maíz amarillo son muy indispensables para la mejora de su producción, y el Litoral ecuatoriano al ser la región con mayor producción de esta gramínea su uso se vuelve indispensable en todas las etapas del cultivo de maíz. Al existir varios instrumentos tecnológicos que se hace uso en la agricultura de precisión; ¿Cuáles son los utilizados por los maiceros de la región costa del Ecuador? De este modo se justifica el desarrollo de esta investigación bibliográfica, cuyo objetivo es de identificar las tecnologías aplicadas en la producción de cultivo de maíz.

CAPÍTULO I

1.1. Definición del tema caso de estudio

En el presente trabajo de investigación se efectuó con el propósito de identificar y describir las tecnologías que son utilizadas en la producción de maíz en el Litoral Ecuatoriano

1.2. Planteamiento del problema

La agricultura de precisión se ha convertido a nivel mundial en una predisposición en cuanto al uso de nuevas tecnologías como estrategias confiables para la producción de cultivos cortos y/o perennes; definiéndose de cierta manera como una intendencia administrativa que mediante el uso de avanzadas tecnologías mejora la toma de disposiciones que se relacionan directamente en la producción de cultivos y el cuidado del medio ambiente.

El maíz después del banano es considerado el segundo cultivo más explotado en el litoral ecuatoriano, en especial en las provincias de Los Ríos, Manabí y Guayas, regiones donde sus áreas productivas superan las 70 mil hectáreas. Y junto con el progresivo asunto del cuidado medioambiental, y la necesidad de producir alimentos de calidad que sean amigables con el ambiente, son los puntos de mira de agroindustrias que en la actualidad prefieren productos provenientes de cultivos agro-sostenibles. Con esto aludido se atribuye la siguiente pregunta para plantear el problema de la investigación: ¿Se aplican métodos de agricultura de precisión en los cultivares de maíz del Litoral Ecuatoriano?

1.3. Justificación

La producción de maíz en el Litoral Ecuatoriano se está convirtiendo en el cultivo de ciclo corto de mejor beneficio para los agricultores rurales; debido a los costos de inversión, al tiempo que este se lleva para ser cosechado y al número de empresas que requieren de este producto como materia prima para la elaboración de ciertos derivados, en especial para la fabricación de balanceado. Convirtiéndose así en un cultivo económicamente activa en las provincias de Los Ríos, Guayas y Manabí; regiones donde se encuentran las mayores extensiones de cultivos de maíz amarillo en el Ecuador.

El trabajo que se desarrolla a continuación trata de analizar desde el punto de vista bibliográfico los aspectos que intervienen en el proceso de la aplicación de una agricultura de precisión en los cultivos de maíz, todas las herramientas que son utilizadas desde la preparación del terreno hasta la cosecha. Y de identificar si estas técnicas son aplicadas en los cultivos de maíz en el litoral ecuatoriano, como una tendencia para mejorar la producción maicera del Ecuador y al mismo tiempo las aplicaciones de métodos de cuidado ambiental.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Identificar la tecnología aplicada en la producción del cultivo de maíz.

1.4.2. Objetivos específicos

- Describir las tecnologías utilizadas en las etapas productivas de cultivo de maíz.
- Indicar las mejoras tecnológicas utilizadas en la producción de maíz en el litoral ecuatoriano

1.5. Fundamentación teórica

1.5.1. ¿Qué es la agricultura de precisión?

Desde la década de 1990, el concepto de la agricultura de precisión ha demostrado ser el interés público de cientos de profesionales. Este método generaliza todos los medios utilizados por productores agrícolas para encontrar soluciones, herramientas y prácticas “modernas” que pudieran amplificar la productividad y rentabilidad, y al mismo tiempo proteger el medio ambiente (Stoces *et al.* 2017). En la pesquisa, “Métodos cuantitativos para la investigación agropecuaria: Agricultura de precisión en el cultivo de maíz” publicado en la Universidad Nacional de Córdoba por Bigatton *et al.* (2018) atribuyen que, gracias a las tecnologías provistas en la agricultura de precisión, que utilizan ciertos productores agrícolas, las dosificaciones de insumos agropecuarios son cada vez más factibles, arrojando buenos resultados en la producción de sus cultivos.

Hasta la actualidad se han publicado varias definiciones en lo que respecta a la agricultura de precisión, Glen C. Rains (2009) (Citado por Bigatton *et al.* [2018]) entrega una sencilla pero inusual definición a la agricultura de precisión aludiendo que se trata de una habilidad de poseer el potencial de desarrollar los beneficios mediante el uso de la información con más precisión sobre los recursos agrícolas. En cuanto Selivanova *et al.* (2018) contemplan un concepto de la agricultura de precisión guiada a las acciones industriales de la producción, atribuyendo con su investigación “Features of formation of the accounting policy the enterprise in a part of accounting of manufacturing reserves” que los métodos desarrollados en la agricultura de precisión son actividades de una empresa de producción y son utilizadas en los procesos operativos, transferencia en su valor de costos de producción, teniendo un impacto significativo en los resultados de la empresa.

The International Society of Precision Agriculture ha adoptado la siguiente definición de la agricultura de precisión en el año 2019²:

“La Agricultura de Precisión es una estrategia de gestión que reúne, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otra información para respaldar las decisiones de gestión de acuerdo con la variedad estimada para mejorar la eficiencia del uso de los recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola”.

Entonces, con las conceptualizaciones mencionadas de los autores referidos más la definición general de la agricultura de precisión otorgado por la Sociedad Internacional de Agricultura de Precisión, se puede resumir que la AP son métodos orientados para mejorar el uso de los productos o insumos agrícolas como agroquímicos, semillas y maquinaria en empleo a todos los parámetros de la movilidad espacial y del temporal en una producción agrícola. Pero se debe tener presente, que la agricultura de precisión no solo consiste en la medición de la variabilidad en el área; para esto Bongiovanni *et al.* (2006) En el libro “Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable” publicado por el Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR) y por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) mencionan que la

² The International Society of Precision Agriculture en el 2018 propuso una encuesta a todos sus miembros con disposición del Presidente Nicolas Tremblay en asociación con el Secretario de la Universidad McGill el señor Viacheslav Adamchuk y el miembro Alex Escolà de la Universidad de Lleida, acordaron desarrollar un programa de cuatro pasos, que consistían en: 1) Una encuesta de elementos clave; 2) La elaboración de definiciones de Kernel; 3) Una consulta codigital; 4) Aprobación de la Junta del ISPA. El trivutario con los resultados obtenidos y sugerencias elaboraron esa definición planteada en la 12^a Conferencia Internacional sobre Agricultura de Precisión en Montreal en junio de 2018. Disponible en <https://www.ispag.org/>

agricultura de precisión también es adoptada en la práctica administrativa que se desarrollan en función a la variabilidad.

Para esto Robert (1999) (Citado por Chartuni *et al.* [2007]) sustenta que “Lo diferente, en realidad, es la posibilidad de identificar, cuantificar y mapear esa variabilidad. Más aún es posible georeferenciar y aplicar los insumos con dosis variables (...) De esta forma se definen prácticas agrícolas orientadas a sustituir la recomendación habitual de insumos con base al valor promedio, como ocurre en la agricultura tradicional, por una más precisa”. Todas estas prácticas de la agricultura de precisión se ven involucradas por agentes de desarrollo que suelen ser divididas en etapas; y de acuerdo con AGCO Corporation³ suelen fragmentarse en tres diferentes etapas (Fig. 1).

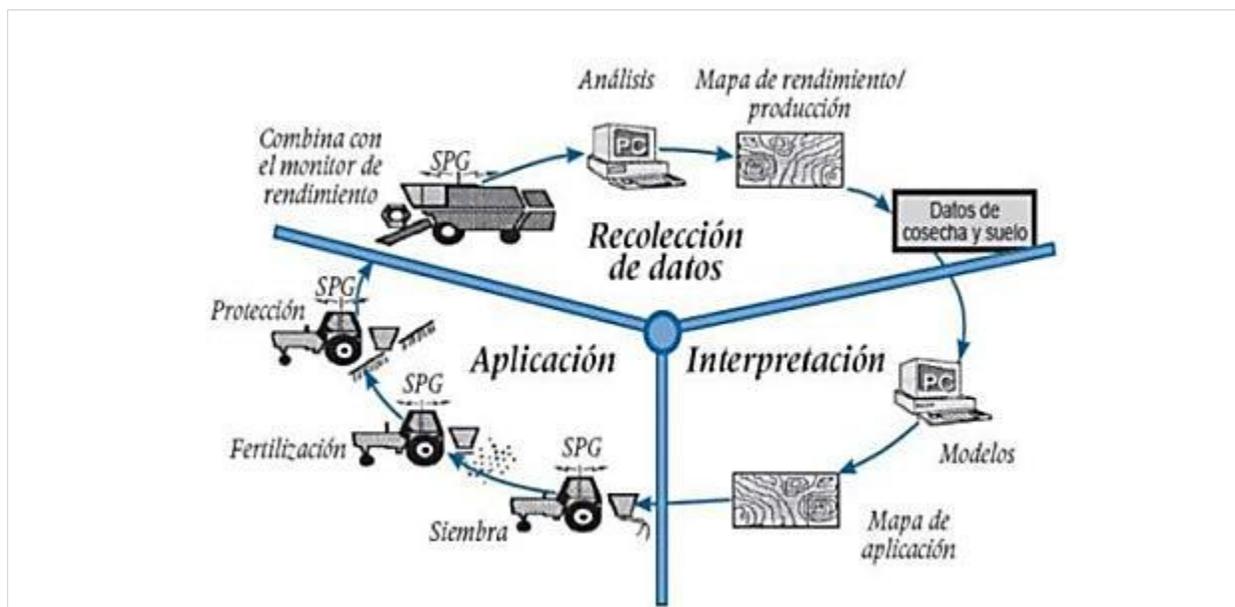


Figura 1. Las etapas de la agricultura de precisión, según AGCO Corporation, 2005

Para una interpretación más precisa de la figura 1, Ortega y Flores (2000) en su publicación “Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico” presenta las principales etapas para la aplicación de la agricultura de precisión en conjunto con

³ AGCO Corporation, una empresa dedicada a la comercialización de equipamiento agrícola, fundada en el año de 1990 en Georgia, Estados Unidos. Disponible en: <http://www.fieldstar.com/agco/FieldStar/FieldStarUK/System/DataCollection.htm>

las tecnologías que se involucran y las actividades que se desarrollan en cada etapa (Tabla 1).

Tabla 1. Etapas para la aplicación de agricultura de precisión

<i>Etapa</i>	<i>Tecnología involucrada</i>	<i>Actividades</i>
Recolección de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de posicionamiento global (GPS). • Sistemas de información geográfica (SIG). • Instrumentos topográficos. • Sensores remotos. • Sensores directos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de la topografía del suelo. • Muestreo de suelos en grilla. • Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades. • Monitoreo de rendimientos. • Medición directa de propiedades del suelo y cultivos. • Sensoramiento remoto de suelos y cultivos. • Digitalización de mapas.
Interpretación	<ul style="list-style-type: none"> • Programa de SIG. • Sistemas expertos. • Programas estadísticos. • Experiencia del operador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de dependencia espacial. • Confección de mapas de evaluación. • Confección de mapas de prescripción. • Otras.
Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología de dosis variables. • Pulverización asistida por GPS. • Programas computacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación variable de nutrientes. • Aplicación variable de plaguicidas. • Siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas. • Otras.

Fuente: Tomado de Ortega y Flores (2000) Adaptado de USDA (1998)

Y en base a esta información Bongiovanni *et al.* (2006) menciona que el proceso de la agricultura de precisión no es más que un ciclo de prácticas que sustituyen las recomendaciones habituales dadas por la agricultura tradicional en una agricultura más precisa que considera las variaciones del rendimiento en toda el área, y con mejor optimización en el uso de los productos o insumos agrícolas.

De otra manera, para poder entender de una forma más sencilla y poder ser aplicada adecuadamente, es impredecible que el lector de este documento conozca sobre dos conceptos básicos sobre la agricultura de precisión. 1) Variabilidad espacial; y 2) Variabilidad temporal. Chartuni *et al.* (2007) en la publicación “Precision agricultura: New tool to improve technology management in agricultural enterprises” entrega las siguientes definiciones:

- Variabilidad espacial: Diferencias en la producción en un solo campo, durante una sola temporada y la cosecha (Fig. 2).
- Variabilidad temporal: Cambios en la producción en un solo campo, en diferentes estaciones (Fig. 3).

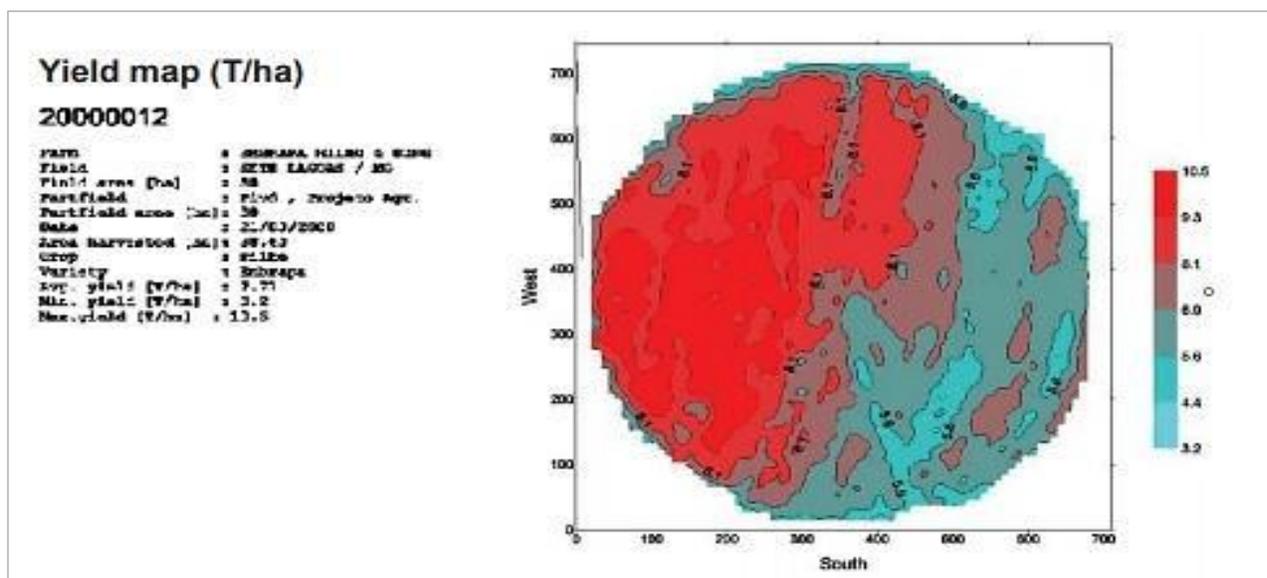


Figura 2. Mapa de rendimiento de maíz, temporada de siembra de 2002; EMBRAPA, Maíz y sorgo Estación Experimental, Brasil; En el momento de la cosecha, el mapa del rendimiento o la identificación de la variabilidad del suelo representada en los mapas de rendimiento y/o fertilidad del suelo.

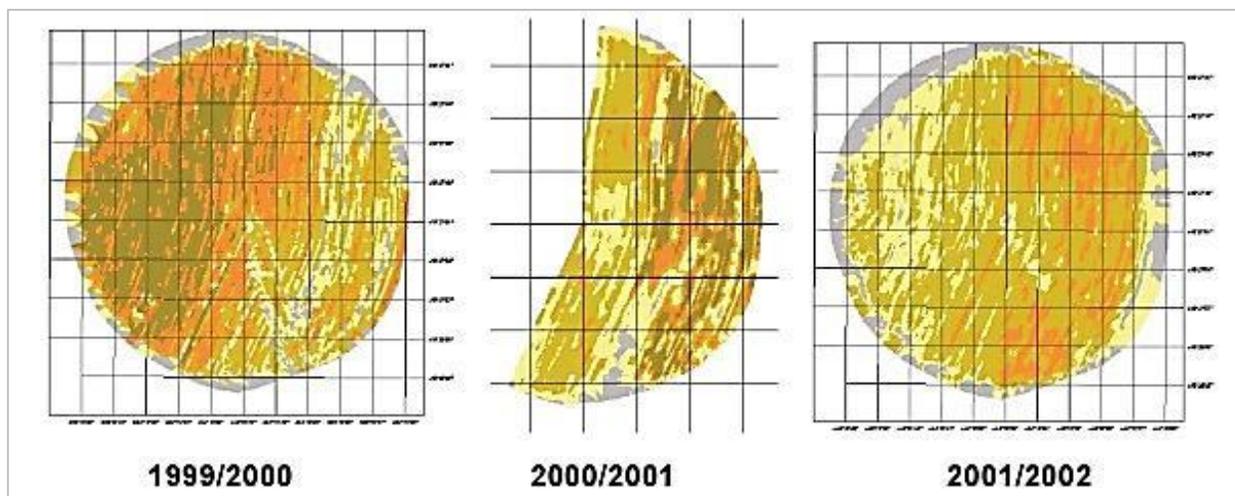


Figura 3. Variabilidad temporal del rendimiento del maíz, 2000, 2001 y 2002; cosechas/temporadas; EMBRAPA, maíz y sorgo Estación Experimental, Brasil.

Para finalizar con esta sección de la investigación se puede citar la conceptualización de Bongiovanni *et al.* (2006) donde menciona que la agricultura de precisión es posible a cinco tecnologías que no deben faltar en su proceso:

1. Sistema de posicionamiento global (GPS).
2. Sistemas de información geográficas (SIG).
3. Percepción remota.
4. Tecnologías de dosis variable (Sensores, controladores, entre otros).
5. Análisis de datos georeferenciados (Geoestadística, econometría espacial, análisis multifactorial, análisis de Cluster y CART, entre otros).

1.6. Adopción de la agricultura de precisión

No es tarea sencilla adoptar nuevas tecnologías y, en las labores agrícolas es igual, los productores agrarios de Latinoamérica no aceptan ciertos métodos tecnológicos para mejorar los rendimientos de sus cultivos, ellos se quedan inmersos con la metodología tradicional. En cuanto en países con mayor desarrollo la aplicación de tecnologías en los cultivos es algo de lo más común. A pesar que en la actualidad el

desarrollo tecnológico ha evolucionado a ritmos elevados de progreso; pues la necesidades de dulcificar los trabajos del campo, que por las características obligan al campesino introducir la tecnología más eficiente, ayudando con las producciones de las siembras y a su vez con las condiciones sociales y económicas de las personas que viven de la tierra. Los cambios existentes que han sido observados con la implementación de nuevas tecnologías en el campo agrícola son los que se enlista a continuación. (Quevedo *et al.* 2006)

1. La necesidad en primer lugar de elevar el nivel cultural, científico y técnico del agricultor, esto se debe a la manipulación de modernas técnicas altamente sensibles.
2. Elevación de los rendimientos y disminución de los costos con un menor empleo de mano de obra.
3. Se incrementa la emigración del campo a la ciudad.
4. Se acentúan las diferencias entre los más ricos y los más pobres.
5. Provoca un salto cualitativo en la agricultura hasta niveles de cualquier proceso industrial altamente desarrollado.
6. Se garantiza un mejor cuidado del medio ambiente y por tanto un aumento de la calidad de vida en el campo. (Quevedo *et al.* 2006)

1.7. Beneficios de la agricultura de precisión

Uno de los más controversiales desafíos a través del proceso tecnológico en la agricultura, ha sido la búsqueda de los beneficios que esta conlleva y su comprobación, particularmente en lo que respecta a los costos de inversión; debido que, la implementación de la agricultura de precisión requiere de una inversión de hardware, software y capacitaciones. Se tiene que tener presente, antes que los agricultores se acojan a estos cambios tecnológicos como alternativas para la mejora de su estado socio-económico; estos deben estar plenamente convencidos que estos métodos funcionan y que son la solución de su economía. Aunque existen varios estudios que proyectan en sus resultados que existe un ahorro monetario en la implementación de la

agricultura de precisión, como la aplicación de las tasas variables, los impactos directos a los cultivos y al medio ambiente. (Koutsos y Menexes 2017; Prause 2019)

Desde el punto de vista económico, todos los ahorros potenciales en aplicaciones de los insumos agrícolas, precisa y el mejor desarrollo del cultivo conducen a dividendos económicas. (...) Un modo de visualizar la información es de generar un mapa de ingresos neto. Desde el punto de vista ecológico, se pueden conseguir beneficios en la medida en que se haga un uso más racional de los insumos agrícolas aplicados. (Leiva 2003)

Para Bongiovanni *et al.* (2006) mencionan que en la agricultura de precisión se desatacan dos grandes áreas de trabajo:

1. El desarrollo de sensores que permitan obtener, en tiempo real, de forma eficiente y confiable, la eficiencia nutricional o de estrés hídrico de la planta durante su desarrollo para aplicación y corrección en el tiempo preciso.
2. El desarrollo de dispositivos, programas de computación y estrategias que posibiliten una mayor integración de los datos obtenidos, facilitando así la interpretación y análisis de los mapas y haciendo también más efectivo el manejo localizado,

1.8. Sistemas de posicionamiento global y su aplicación en la agricultura

Los nuevos programas de computación que encontramos en la actualidad son mejor utilizados; estos software aumentan sus beneficios y potencialidad en lo que se refiere al análisis de datos, a la vez son amigables para los usuarios y al medio ambiente. Las fotos satelitales e imágenes aéreas son respuestas muy útiles si logramos interpretar lo que expresan en las variaciones de colores que muestran (Bongiovanni *et al.* 2006).

“El empleo de la tecnología del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, siglas en inglés) (...) en la Agricultura de Precisión se puede definir como la posibilidad de aplicar tratamientos distintos a escala local de un cultivo y obtener una mayor producción con un menor costo. El rendimiento agrícola resume el resultado de todo el ciclo de producción de un cultivo, por lo que su censado y mapeo brindan la posibilidad de conocer cómo fue su variabilidad sobre el terreno y ofrecen la posibilidad de manejarlo. Con la elaboración de un mapa de rendimiento y una vez obtenido el rendimiento de cada punto se le puede aplicar una dosis variable de pesticidas, abonos, fertilizantes, etc., contribuyendo a minimizar el costo de la producción y a lograr un mejor equilibrio ambiental” (Lago *et al.* 2011)

1.9. Monitoreo de rendimiento y elaboración de mapas

El monitoreo de rendimiento es una actividad muy frecuente en países que toman la agricultura muy en serio; las máquinas encargadas en realizar la cosecha de los cultivos vienen ya incorporados con monitores en su propia electrónica. Estos mapas de rendimiento ofrecen información valiosa, como comprobar la calidad de la tarea, velocidad del trabajo, evaluar las pérdidas, etc. Estos dispositivos realizan a través de una placa de impacto o midiendo el volumen de granos en las mediciones indirectas. (Rattay 2009)



Figura 4. Tipos de monitores de rendimiento más difundidos en la agricultura de precisión.
Fuente: Bongiovanni *et al.* (2006)

Información suministrada por el monitor (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina [INTA] 2000):

1. Mide y muestra en la pantalla el rendimiento instantáneo (Tn/ha), humedad del grano (%), velocidad de avance (Km/h), flujo del grano (Tn/ha), superficie cosechada y calidad de recepción de la señal DGPS.
2. Calcula y graba el rendimiento promedio y máximo, humedad promedio y máxima, superficie, distancia, tonelada de grano, humedad y seco, día y hora de cosecha.

Bongiovanni *et al.* (2006) en el capítulo III del manual “Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable” atribuye ciertos pasos que son necesarios para la ejecución de un mapa de rendimiento utilizado en la agricultura de precisión, los mismo que se detallan a continuación:

1. Una vez que se ha logrado realizar la calibración del monitor: Se debe corroborar que los datos de GPS se guarden continuamente en la tarje de almacenamiento.

2. Una vez cosechada el área deseada la tarjeta de almacenamiento debe extraída del monitor para descargar los datos obtenidos en el momento de la cosecha, para luego pasarlos a una computadora.

3. Los datos obtenidos serán confeccionados en algún programa para elaborar el mapa; el programa debe permitir manejar los datos georreferenciales que salgan de los monitores de rendimiento.

Una vez realizado los pasos que se mencionaron, se obtendrán imágenes como se muestra en la figuras que fueron obtenidas por Mosquera (2014) en su investigación “Mapas de productividad como herramienta para entender y gerenciar el cultivo de caña de azúcar en el valle del Cauca, Colombia”. Desarrollando en su trabajo tres casos: Caso 1 Variabilidad influenciada por condiciones de drenaje y nivel de humedad del suelo en el momento de realizar la roturación (Fig. 5). Caso 2. Variabilidad influenciada por condiciones de población, pendiente del tablón y conformación de los surcos después de cosecha (Fig. 6). Caso 3. Variabilidad influenciada por el drenaje superficial, el porcentaje de arcillas del suelo y el grado de computación de los tablones (Fig. 7).

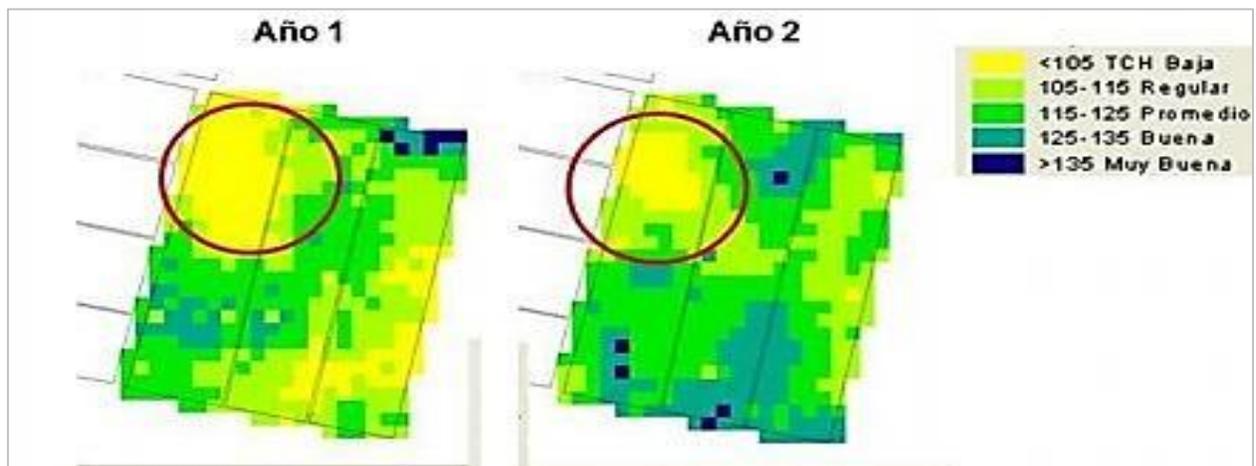


Figura 5. Caso 1: Experiencia en el manejo de mapas de productividad en cultivo de caña de azúcar, Colombia

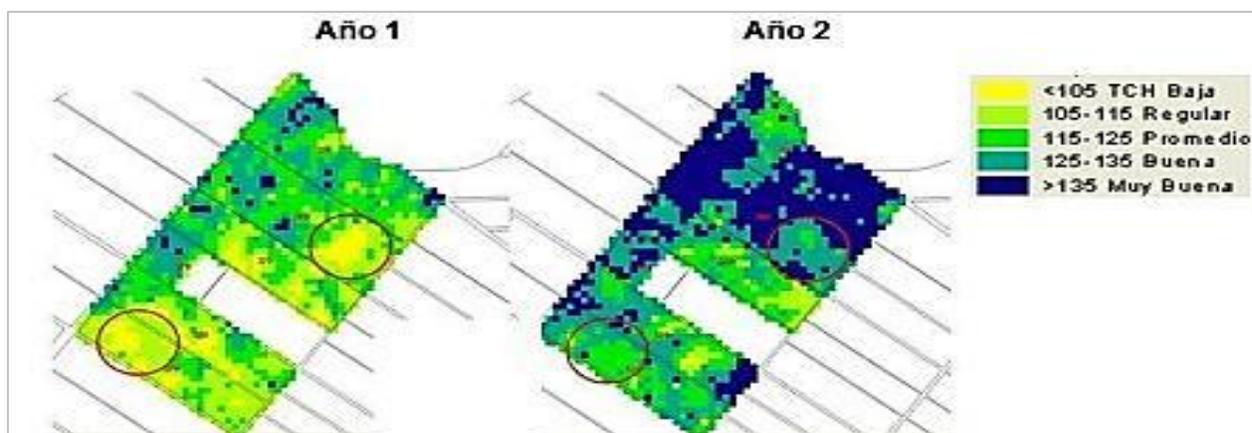


Figura 6: Caso 2: Experiencia en el manejo de mapas de productividad en cultivos de caña de azúcar, Colombia

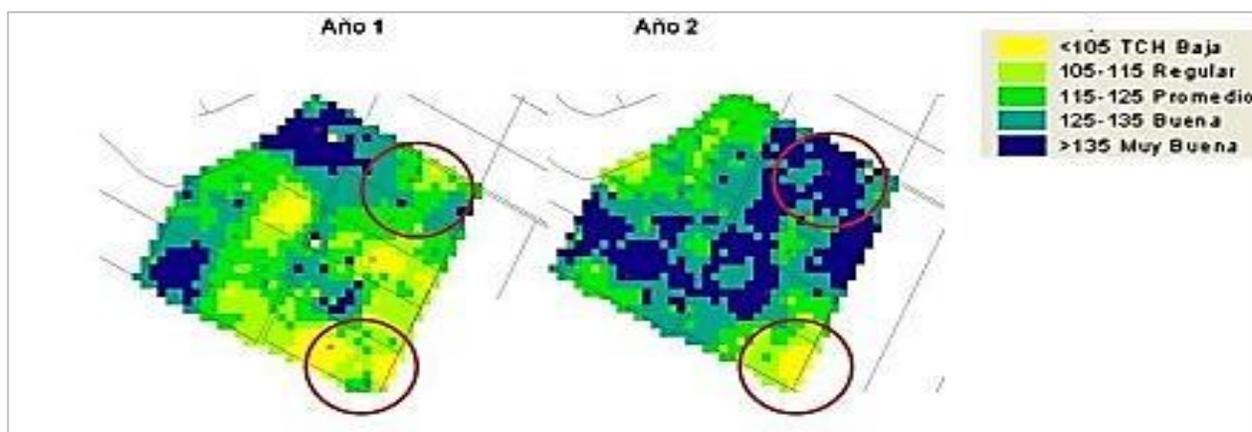


Figura 7. Caso 3: Experiencia en el manejo de mapas de productividad en cultivo de caña de azúcar, Colombia

1.10. Tecnología de dosis variable

La tecnología de dosis variable es más que otra cosa que el ajuste de las aplicaciones de productos agrícolas como fertilizantes, plaguicidas y otros agroquímicos esenciales para los cultivos, estableciéndose en la información que ha sido obtenida en un mapa eléctrico del terreno. El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (INTA 2000) menciona que la tecnología de la dosis variable en un cultivo o lote puede ser desarrollada de dos maneras, las cuales son las siguientes:

1. En forma manual, a través del conocimiento agronómico de los sitios diferentes, se lo realiza mediante un controlador eléctrico en la cabina del tractor.

2. En forma automática, es guiado por un posicionado DGPS que ubica espacialmente el móvil en tiempo real, este posicionado informa a un navegador que posee la precisión a través de un software con las variaciones de dosis espacial del lote.

1.11. La agricultura convencional versus la agricultura de precisión

En la tabla 2 se puede apreciar las características esenciales entre la agricultura convencional y la agricultura de precisión

Tabla 2. La Agricultura convencional versus la agricultura de precisión

<i>Agricultura convencional</i>	<i>Agricultura de precisión</i>
<i>Aplicación de pesticidas</i>	
Trata todo el campo de cultivo como una superficie uniforme con necesidades similares	Gracias al tratamiento de imágenes aéreas, junto con las técnicas de digitalización, GPS y GIS, puede elaborarse un mapa del terreno con diferentes zonas detalladas, pudiendo prescribir la cantidad exacta de pesticida a aplicar en cada zona, según sus necesidades.
Empleo de banderas humanas para señalar a los aeroplanos dónde aplicar los pesticidas	Empleo de GPS para indicar a los aeroplanos dónde descargar los pesticidas, y en qué cantidad, gracias a los mapas previamente elaborados.
<i>Aplicación de abonos</i>	
La cantidad de abono a aplicarse se determina por medio de la composición de diferentes muestras del terreno: al final requiere una aplicación uniforme de lo que se cree una buena estimación de la cantidad apropiada (se trata de una media)	Permite una aplicación específica según las necesidades de cada región, con dos métodos: <ul style="list-style-type: none"> • Empleo de DGPS para dividir el terreno según una rejilla, con celdas de tamaño determinado por el usuario, posibilitando el acceso preciso a un punto concreto de cada celda, recoger una muestra y aplicar el abono estimado para cada celda. • Empleo de fotografías aéreas. Estas se digitalizan, georreferencian, y basándose en sus características se determina la cantidad de abono a aplicar en cada

	coordinada al vehículo de abono, así como la cantidad a aplicar
<i>Mapas de rendimiento</i>	
Sólo es posible sospechar que unas zonas producen más que otras; un estudio detallado supondría un elevado esfuerzo y muchas horas de trabajo.	Durante la cosecha, mediante la combinación de DGPS y sensores de grano, es posible recopilar los datos necesarios para elaborar un mapa preciso y detallado del rendimiento del cultivo.
Decidir si una zona del terreno produce por encima de los costes es una labor arriesgada.	Las técnicas de variabilidad temporal junto con los mapas de rendimiento y los costes variables permiten tomar una decisión adecuada acerca de qué zonas sería mejor no cultivar, ya que producen gastos.

Fuente: Tomado de Ezcaray (2012)

1.12. Hipótesis

Ho = Las técnicas de agricultura de precisión son aplicadas en los cultivos de maíz del litoral ecuatoriano como métodos para mejorar la producción y el cuidado medio ambiental.

Ha = Las técnicas de agricultura de precisión no son aplicadas en los cultivos de maíz del litoral ecuatoriano como métodos para mejorar la producción y el cuidado medio ambiental.

1.13. Metodología de la investigación

La elaboración de este trabajo de titulación fue desarrollado mediante una investigación de tipo: Descriptiva y Bibliográfica. La información necesaria fue obtenida de publicaciones científicas, manuales, Dspace y demás documentos digitales que mantengan una relación directa con el tema de la investigación. Se tuvo en cuenta los resultados de investigaciones realizadas, para luego ser analizadas y descritas en este trabajo de titulación.

CAPÍTULO II

2.1. Desarrollo del caso

2.1.1. Situaciones detectadas

2.1.1.1. Tecnologías utilizadas en las etapas productivas del cultivo de maíz

Tabla 3. Tecnologías de la agricultura de precisión aplicadas en las etapas productivas del cultivo de maíz

Tecnologías de agricultura de precisión aplicadas	Etapas del cultivo de maíz									
	Siembra	Emergencia	V1	V4	V6	V9	Floración masculina VT	Floración femenina R1	Madurez	Cosecha
<i>Aplicación</i>										
<i>Tecnología de dosis variable</i>										
a. Aplicación variable de nutrientes				x	x			x	x	
b. Aplicación variable de plaguicidas	x	x		x	x		x	x		
<i>Programas computacionales</i>										
a. Siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas	x									
<i>Recolección de datos</i>										
<i>Sistemas de posicionamiento global GPS</i>										
a. Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades			x	x	x	x	x	x		
b. Sistemas de información geográfica SIG										x
c. Sensores remotos			x	x	x	x	x	x		
d. Sensores directos	x	x	x							
<i>Interpretación</i>										
<i>Programas de SIG</i>										
a. Confección de mapas de evaluación					x					x
b. Confección de mapas de prescripción										x
<i>Programas estadísticos</i>										
a. Análisis de dependencia espacial										x

Fuente: Elaborado con base en INTA 2000; INTA 2000; Ortega y Flores 2000; Bongiovanni *et al.* 2006; Quevedo *et al.* 2006; Chartuni *et al.* 2007; Rattay 2009; Lago *et al.* 2011; Mosquera 2014

2.1.1.2. Tecnologías utilizadas en la producción de maíz del litoral ecuatoriano

En el Ecuador existen instituciones públicas que dedican parte de su tiempo a las investigaciones agrícolas tales como institutos, universidades y ministerios que han elaborado temas sobre técnicas de la agricultura de precisión aplicadas en cultivos de maíz en el litoral ecuatoriano. Y empresas privadas que ofertan en el mercado agrícola dispositivos usados en esta misma área, como drones, sensores remotos y sensores directos.

Con la metodología aplicada en este compendio previo al título de Ingeniero Agrónomo se obtuvo la información siguiente:

La agricultura de precisión al ser un tema nuevo en nuestro país las instituciones públicas está en sus inicios en implementar las técnicas de la agricultura de precisión en sus investigaciones, para este caso investigaciones relacionadas en los cultivos de maíz amarillo producidos en terrenos del litoral ecuatoriano. Instituciones como el Ministerio de Agricultura, la Escuela Superior Politécnica del Litoral, la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, tal como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Tecnologías de la agricultura de precisión que son aplicadas en la producción de maíz del litoral ecuatoriano

<i>Institución</i>	<i>Tema</i>	<i>Método</i>	<i>año</i>
Ministerio de Agricultura y Ganadería	Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador (SIPA)	Plataforma tecnológica para la toma de decisiones del sector agropecuario, mediante: Metadatos, geoservicios, mapas interactivos.	2019
Escuela Superior Politécnica del Litoral	Sistema de control de enfermedades y plagas, que afectan al cultivo de	Se inspeccionó el cultivo utilizando un vehículo aéreo no tripulado, permitiendo tomar	2018

	maíz, mediante el monitoreo continuo con un dron e información de estas por medio de un aplicativo móvil	fotografías para luego ser comparadas y detectar las enfermedades que afectan a las plantas.	
Universidad Técnica Estatal de Quevedo	Optimización del proceso de fumigación agrícola mediante la utilización de los drones.	Se planteó la optimización de los procesos de fumigación en cultivos de maíz mediante la implementación de los drones fumigadores. Demostrando que mediante la implementación de este nuevo sistema se puede abarcar una mayor área de fumigación en menor tiempo.	2019

Fuente: Elaborado con base en González y Heredero 2018; MAG 2019; Navia 2019

2.2. Soluciones planteadas

Al desarrollar la siguiente revisión del trabajo desarrollado se menciona como solución al problema obtenido de acuerdo con los resultados, el ejecutar trabajos de campo e investigativos que involucren las metodologías que se aplican en cultivos de maíz, de acuerdo a la agricultura de precisión, y al agricultor rural para incentivar el uso de medios tecnológicos y de tecnificación en sus cultivos de maíz para mejorar la producción, obtener productos de calidad y ser amigables con el medio ambiente.

2.3. Conclusiones

Una vez finalizado el trabajo de titulación y desarrollada la metodología para obtener los datos pertinentes se determinaron las siguientes conclusiones:

- La agricultura de precisión reúne, procesa y analiza datos obtenidos de cultivos para mejorar la eficiencia de recursos, productividad, rentabilidad y sostenibilidad en la producción de cultivos.

- Los instrumentos tecnológicos utilizados en la agricultura de precisión en países como Argentina, Colombia, México y Estados Unidos son aplicados en cultivos de maíz durante toda su etapa de producción.
- En cultivos de maíz del Litoral ecuatoriano no son aplicadas las técnicas de la agricultura de precisión a más que para métodos investigativos desarrollados por dos universidades del país; mientras que, el Ministerio de Agricultura y Ganadería desde el mes de octubre del 2019 inició una campaña para establecer la agricultura de precisión como un nuevo instrumento agrícola del país para pequeños y grandes productores.

2.4. Recomendaciones

Obtenidas las conclusiones del trabajo de investigación en especial el último punto se atribuyen las siguientes recomendaciones:

- La agricultura de precisión al ser un método para mejorar del cuidado ambiental y contribuir con la productividad de uno de los cultivos con mayor producción en el litoral ecuatoriano como lo es el maíz, debe ser introducida en los maiceros de zonas rurales.
- La Universidad Técnica de Babahoyo al ser la institución de educación superior de mayor prestigio de la provincia de Los Ríos, una zona maicera de gran importancia del país, tiene la obligación de atribuir con investigaciones de la agricultura de precisión en la producción de maíz.

Bibliografía

- Allahyari, MS; Mohammadzadeh, M; Nastis, SA. 2016. Agricultural experts' attitude towards precision agriculture: Evidence from Guilan Agricultural Organization, Northern Iran. *Information Processing in Agriculture* 3(3):183-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.07.001>.
- Álvarez, L; Bolaños, G. 2014. Innovación y Estrategia: dos conceptos aparentemente contradictorios. *Rev. Nova Scientia* 3(5):118. DOI: <https://doi.org/10.21640/ns.v3i5.203>.
- Avendaño, C; William, R. 2012. Innovación: Un proceso necesario para las pequeñas y medianas empresas del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander (Colombia) (en línea). *Rev. Semestre Económico* 15(31):187-207. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/1650/165024299008.pdf>.
- Bigatton, E; Bonetto, M; De Battista, F; Ochoa, A; Soria, F. 2018. Métodos cuantitativos para la investigación agropecuaria (en línea). Argentina, s.e. p. 34. Disponible en [https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/6566/Agricultura de precisión en el cultivo de maíz.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/6566/Agricultura%20de%20precisi3n%20en%20el%20cultivo%20de%20ma%20z.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Bongiovanni, R; Chartuni, E; Best, S; Roel, A. 2006. Agricultura de Presición: Integrando Conocimientos para una Agricultura Moderna y Sustentable (en línea). IICA. Mmntevideo, Programa Cooperativo para el Desarrollo Teconológico Agroalimentario del Cono Sur, vol.10. 143-166 p. Disponible en <http://www.gisandbeers.com/RRSS/Publicaciones/Agricultura-Moderna-Precision.pdf>.

Castellanos, R; Morales, M. 2016. Análisis Crítico Sobre La Conceptualización De La Agricultura De Precisión (en línea). Rev. Ciencia en su PC (2):23-33. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/1813/181349391004.pdf>.

Chartuni, E.; Carvalho, F; Queiroz, D; Ruz, E. 2007. Agricultura de precisión : nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuaria. Revista Palmas 28(4):29-34.

Chartuni, E; Carvalho, F; Marçal, D; Ruz, E. 2007. Precision agriculture: New tools to improve technology management in agricultural enterprises. Journal ComunICA :24-31.

Ezcaray, I. 2012. Agricultura De Precisión: Elaboración De Mapas De Consumo Y Resbalamiento (en línea). s.l., Universidad Pública de Navarra. 158 p. Disponible en <https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/6624/577934.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

González, D; Heredero, C. 2018. Esquematizar un sistema de control de enfermedades y plagas, que afectan al cultivo de maíz, mediante el monitoreo continuo con un drone e información de estas por medio de un aplicativo móvil (en línea). s.l., Escuela Superior Politécnica del Litoral. . Disponible en <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/129133/D-CD106470.pdf>.

INTA. 2000. Componentes de Agricultura de Precisión. INTA :1-20.

_____. 2000. Tecnología de aplicación variable de insumos (vrt). :1-7.

- Koutsos, T; Menexes, G. 2017. Benefits from the adoption of precision agriculture technologies. A systematic review (en línea). 18th Panhellenic Forestry Congress & International Workshop "Information Technology, Sustainable Development, Scientific Network & Nature Protection" (November):12. Disponible en <http://ikee.lib.auth.gr/record/293951>.
- Lago, C; Sepúlveda, J; Barroso, R; Fernández, F; Maciá, F; Lorenzo, J. 2011. Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión. *Rev. Idesia* 29(1):59-70.
- Leiva, F. 2003. La agricultura de precisión: una producción más sostenible y competitiva con visión futurista (en línea). *Memorias VIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos* (January 2003):8. Disponible en http://www.researchgate.net/profile/Fabio_Leiva/publication/228425520_La_agricultura_de_precisin_una_produccion_ms_sostenible_y_competitiva_con_visin_futurista/links/555ce20508ae8c0cab2a6901.pdf.
- MAG. 2019. Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador (SIPA) (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-cuenta-con-un-nuevo-sistema-de-informacion-publica-agropecuaria/>.
- Mohammad, A; Masoumeh, M; Stefanos, N. 2016. Agricultural experts' attitude towards precision agriculture: Evidence from Guilan Agricultural Organization, Northern Iran (en línea). *Information Processing in Agriculture* 3(3):183-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.07.001>.
- Mosquera, C. 2014. Mapas de productividad como herramienta para entender y gerenciar el cultivo de caña de azúcar (en línea, sitio web). Disponible en <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/monitores-rendimiento.asp>.

- Navia, J. 2019. Optimización del proceso agrícola mediante la utilización de los drones (en línea). s.l., Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 92 p. Disponible en <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3708/1/T-UTEQ-0061.pdf>.
- Ortega, R; Flores, L. 2000. Agricultura de precisión: Introducción al manejo sitio-específico (en línea). Informaciones Agronómicas del Cono Sur 7:1-5. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/42C40288498C96B78525799C0058ED51/\\$FILE/AgricPrecisionOrtega.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/42C40288498C96B78525799C0058ED51/$FILE/AgricPrecisionOrtega.pdf).
- Pierpaoli, E; Carli, G; Pignatti, E; Canavari, M. 2013. Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review (en línea). Journal Procedia Technology 8(Haicta):61-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.010>.
- Prause, M. 2019. Challenges of Industry 4.0 technology adoption for SMEs: The case of Japan. Journal Sustainability (Switzerland) 11(20):1-13. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11205807>.
- Quevedo, I; Rodríguez, Y; Hernández, P; Freire, E. 2006. La aplicación de la Agricultura de Precisión : Su impacto social (en línea). Rev. Red de Agricultura de Precisión 15(3):42-44. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/932/93215309.pdf>.
- Rattay, D. 2009. Aprovechando una valiosa fuente de información (en línea, sitio web). Disponible en <http://www.gestiondeprecision.com.ar/static/pdf/9/9.pdf>.
- Selivanova, N; Bubilich, S; Popko, Y. 2018. ENTERPRISE IN A PART OF ACCOUNTING OF MANUFACTURING RESERVES. Economics: Time realities Journal 5(39):89-96. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2571494>.
- Somayeh, F; Kurosh, M. 2015. Determinants of Iranian agricultural consultants' intentions

toward precision agriculture: Integrating innovativeness to the technology acceptance model (en línea). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 16(3):280-286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.09.003>.

Stoces, M; Jarolímek, J; Simek, P; Charvát, K; Masner, J; Pavlik, J; Vanek, J. 2017. User-technological index of precision agriculture: Methods of collecting data. *CEUR Workshop Proceedings* 2030:383-389.