



**“UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO”  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA.**



**I PROGRAMA DEL CURSO DE ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL**

**“ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INFLUIRÍAN EN LA ADOPCIÓN DE  
LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE  
LAMBAYEQUE.”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRICOLA**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. MARIELA CARRERO DÁVILA.**

**ASESOR:**

**Dr. JUAN MANUEL SAAVEDRA TINEO**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2018.**



**"UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA.**



**I PROGRAMA DEL CURSO DE ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL**

**"ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INFLUIRÍAN EN LA ADOPCIÓN DE  
LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE  
LAMBAYEQUE."**


**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.**


**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRICOLA**


**PRESENTADA POR:**

**Bach. MARIELA CARRERO DÁVILA.**

**APROBADO POR:**

  
**M.Sc. MANUEL MACO CHUNGA**  
**PRESIDENTE**

  
**MSc. ENOCH MONTES BANCES**  
**MIEMBRO**

  
**DR. JUAN MANUEL SAAVEDRA TINEO**  
**ASESOR**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2018.**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Aurora y Grimaldo, por su apoyo incondicional en mis estudios, por los consejos y motivación en cada paso de mi vida universitaria.

A mis hermanos, porque siempre han estado conmigo apoyándome y deseándome éxito en todo lo que emprendo.

Mariela.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por bendecirme en todos los aspectos de mi vida.

A mis padres, que con su amor y trabajo me educaron en toda mi formación profesional.

A mis profesores por el apoyo y las enseñanzas que me brindaron durante la etapa universitaria.

Mariela.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>II</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>V</b>
<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
TÍTULO: .....	1
PERSONAL INVESTIGADOR: .....	1
TIPO DE INVESTIGACIÓN: .....	1
ÁREA DE INVESTIGACIÓN: .....	1
INSTITUCIÓN O LOCALIDAD DÓNDE SE EJECUTARÁ EL PROYECTO: .....	1
DURACIÓN DEL PROYECTO: .....	1
FECHA DE INICIO: .....	1
FECHA DE TÉRMINO: .....	1
<b>RESUMEN .....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO I: REALIDAD PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>5</b>
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	6
3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
4. OBJETIVOS .....	7
4.1. Objetivo General: .....	7
4.2. Objetivos Específicos: .....	7
<b>CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>8</b>
1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	8
2. BASES TEÓRICAS .....	9

2.1.	Caracterización de la Agricultura en Lambayeque .....	9
2.2.	Agricultura de Precisión .....	26
2.3.	Agentes Involucrados en la Agricultura de Precisión. ....	34
2.4.	Herramientas de la Agricultura de Precisión .....	35
2.5.	Manejo Sitio Específico y Tecnología de Dosis Variable .....	58
2.6.	Análisis de Datos .....	67
2.7.	Beneficios, Limitaciones y Barreras de la Agricultura de Precisión .....	71
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>		<b>76</b>
1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	76
2.	MATERIALES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	76
3.	DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN .....	76
3.1.	Ubicación geográfica de la Región .....	77
3.2.	Demarcación política de la Región .....	77
3.3.	Clima de la Región .....	77
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....</b>		<b>78</b>
1.	FACTORES QUE FAVORECEN LA ADOPCIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE: .....	78
1.1.	Fortalezas .....	78
1.2.	Oportunidades .....	81
2.	FACTORES QUE DESFAVORECEN LA ADOPCIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE: .....	83
2.1.	Debilidades .....	83
2.2.	Amenazas .....	85
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....</b>		<b>86</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>87</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>89</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>91</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFICIE AGRÍCOLA Y NO AGRÍCOLA .....	11
TABLA 2: PRODUCCIÓN AGRARIA SEGÚN LOS PRINCIPALES CULTIVOS EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE (AÑO 2017) .....	12
TABLA 3: EXPORTACIONES DEL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE (AÑO 2009) .....	16
TABLA 4: ASOCIACIONES DE PRODUCTORES AGROPECUARIOS EN LAMBAYEQUE .....	18
TABLA 5: UNIDADES PRODUCTIVAS REGISTRADAS EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE .....	21
TABLA 6: DETALLE DEL USO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE .....	23

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: DISTRIBUCIÓN DE LOS GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR DE LAS TIERRAS .....	11
FIGURA 2: LA TRES ETAPAS DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN.....	31
FIGURA 3: EJEMPLO DE VARIABILIDAD ESPACIAL DE UN CAMPO .....	32
FIGURA 4: EJEMPLO DE VARIABILIDAD TEMPORAL DE UN CAMPO .....	33
FIGURA 5: DISPOSICIÓN DE LOS SATÉLITES DE LA CONSTELACIÓN NAVSTAR .....	36
FIGURA 6: ESTACIONES DE CONTROL .....	37
FIGURA 7: USO DEL GPS MEDIANTE TRIANGULACIÓN PARA UN TRACTOR AGRÍCOLA .....	38
FIGURA 8: GPS PARA USO AGRÍCOLA .....	40
FIGURA 9: CAPAS DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....	45
FIGURA 10: SUPERPOSICIÓN DE CAPAS .....	46
FIGURA 11: MODOS DE REPRESENTACIÓN DE DATOS EN SIG .....	47
FIGURA 12: LOS SIG EN LA AGRICULTURA .....	50
FIGURA 13: MONITORES DE RENDIMIENTO MÁS DIFUNDIDOS .....	51
FIGURA 14: COSECHADORA EQUIPADA CON MONITOR DE RENDIMIENTO. UBICACIÓN DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL Y SENSORES .....	52
FIGURA 15: SISTEMA DE AERO-RELEVAMIENTO Y EJEMPLOS DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS .....	56
FIGURA 16: TECNOLOGÍAS Y PRÁCTICAS ASOCIADAS AL MANEJO SITIO ESPECÍFICO. ....	58
FIGURA 17: ETAPAS DEL MANEJO SITIO ESPECÍFICO .....	60
FIGURA 18: DELIMITACIÓN DE AMBIENTES O ZONAS DE MANEJO EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN .....	61
FIGURA 19: EJEMPLO DE MAPA DE PRESCRIPCIÓN DE FERTILIZANTE .....	63
FIGURA 20: EJEMPLO DE UN MAPA DE RENDIMIENTO .....	64
FIGURA 21: APLICACIONES DE DOSIS VARIABLE MEDIANTE MÁQUINAS PULVERIZADORAS .....	66
FIGURA 22: MAPA DE BENEFICIOS ECONÓMICO DE UN CULTIVO DE TRIGO EN INGLATERRA .....	73

## **GENERALIDADES**

### **TÍTULO:**

Análisis de los factores que influirían en la adopción de la agricultura de precisión en el departamento de Lambayeque.

### **PERSONAL INVESTIGADOR:**

Bachiller: CARRERO DÁVILA MARIELA

Asesor: SAAVEDRA TINEO JUAN MANUEL

### **TIPO DE INVESTIGACIÓN:**

Bibliográfica.

### **ÁREA DE INVESTIGACIÓN:**

Mecanización Agrícola.

### **INSTITUCIÓN O LOCALIDAD DÓNDE SE EJECUTARÁ EL PROYECTO:**

Departamento de Lambayeque.

### **DURACIÓN DEL PROYECTO:**

3 meses

### **FECHA DE INICIO:**

01 de setiembre de 2018

### **FECHA DE TÉRMINO:**

30 de noviembre de 2018



## RESUMEN

El sistema agrícola de Lambayeque hace un uso ineficiente de los insumos de la producción, lo que genera, menor rentabilidad y competitividad para el agricultor Lambayecano, y a su vez, ha generado la pérdida de tierras agrícolas por el incremento de áreas salinizadas y desertificadas; por lo que la implementación de la agricultura de precisión en Lambayeque, es determinante, para la competitividad continua del agricultor Lambayecano, ya que, según estudios permite incrementar el rendimiento en los principales cultivos y se puede ahorrar hasta un 60% de herbicidas, realizando un manejo eficiente de los insumos, e incrementando las ganancias en los procesos productivos de cultivos intensivos y extensivos. Por ello, el objetivo general del trabajo de investigación es analizar los factores que influirían en la adopción de la agricultura de precisión en el departamento de Lambayeque, mediante la recopilación y revisión de información bibliográfica. Se concluye que la adaptación y la adopción de la agricultura de precisión es un proceso que debe darse por etapas, empezando con la comprensión del concepto mismo y paulatinamente avanzando hacia el uso de tecnologías y técnicas que benefician su implementación, por lo que probablemente en principio, se va a limitar, a aquellas áreas con agricultura mecanizada y a gran escala.

**Palabras clave:** agricultura de precisión, tecnologías de la información y las comunicaciones, manejo sitio específico, dosis variable.

## **ABSTRACT**

The agricultural system of Lambayeque makes inefficient use of production inputs, which generates lower profitability and competitiveness for the Lambayecano farmer, and in turn, has generated the loss of agricultural land due to the increase in salinated and desertified areas; so the implementation of precision agriculture in Lambayeque, is crucial for the continued competitiveness of the Lambayecano farmer, since, according to studies, it allows to increase the yield in the main crops and can save up to 60% of herbicides, making a efficient management of the inputs, and increasing the gains in the productive processes of intensive and extensive crops. Therefore, the general objective of the research work is to analyze the factors that would influence the adoption of precision agriculture in the department of Lambayeque, through the collection and review of bibliographic information. It is concluded that the adaptation and adoption of precision agriculture is a process that must be carried out in stages, beginning with the understanding of the concept itself and progressively moving towards the use of technologies and techniques that benefit its implementation, so probably in principle, will be limited, to those areas with mechanized and large-scale agriculture.

**Keywords:** precision agriculture, information and communication technologies, site-specific management, variable dose.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura, tiene el desafío constante de incrementar la producción, y con ello, garantizar la seguridad alimentaria, en respuesta a la creciente demanda de la población, siendo una de las principales preocupaciones de nuestro país y del mundo; por ello, la necesidad de usar de manera efectiva y sostenible nuestros recursos naturales suelo y agua, tratando de incrementar el rendimiento de la producción y al mismo tiempo generar el menor impacto posible en el medio ambiente.

Atendiendo al concepto de sustentabilidad ambiental y económica, surge la necesidad de desarrollar técnicas que cuantifiquen y manejen diferencialmente la variabilidad natural de cada área agrícola, de allí, nace el concepto de agricultura de precisión, que gracias al uso de las tecnologías de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores, satélites e imágenes aéreas junto con Sistemas de Información Geográfica (SIG), nos permite analizar en una misma parcela su variabilidad espacial, temporal y predictiva, generando mapas de producción, de humedad, etc. y aplicar de manera precisa la cantidad de agua, semilla, fertilizante y abonos requeridos, según el potencial y necesidad de cada espacio de manejo.

Siendo Lambayeque una región con importantes ventajas comparativas para el desarrollo de la agricultura, y teniendo en cuenta que, se están ampliando las fronteras agrícolas, implementando sistemas de riego tecnificado y mecanizando los cultivos; es que, el objetivo del presente trabajo de investigación es, determinar los factores que influirían en la adopción de la Agricultura de Precisión en Lambayeque; en cuanto a aspectos técnicos, económicos, sociales y ecológicos para la preservación del medio ambiente, que lleve a la región a aprovechar los suelos teniendo en cuenta la diversidad existente en los mismos; obteniendo una agricultura de calidad, respetuosa con el medio ambiente y sobre todo rentable.

## **CAPÍTULO I: REALIDAD PROBLEMÁTICA**

### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El ideal de la agricultura es gestionar de manera eficiente los insumos de la producción (suelo, agua, semilla, fertilizante, agroquímicos, maquinaria agrícola, asistencia técnica y financiamiento), para ello se debe tratar a la parcela teniendo en cuenta la diversidad existente del suelo, el entorno ambiental y las necesidades de las plantas; obteniendo una agricultura de calidad, respetuosa con el medio ambiente y sobre todo rentable.

Sin embargo, el sistema agrícola actual trata a la parcela como si fuera homogénea, haciendo un uso ineficiente de los insumos de la producción. Lo que genera, menor rentabilidad y competitividad, para el agricultor Lambayecano, y a su vez, ha generado la pérdida de tierras agrícolas por el incremento de áreas salinizadas y desertificadas.

El uso ineficiente del suelo, agua, semilla, fertilizante y agroquímicos, se debe, a que éstos no se aplican en la cantidad correcta, cuando se requieren y en dónde se requieren, y ello genera que el costo de inversión por hectárea agrícola sea mayor y los desperdicios generados contribuyen a contaminar los acuíferos y salinizar los suelos.

Usando la experiencia de Argentina, que como mencionan Bragachini, Méndez y Vélezen, “Argentina, es un referente mundial en tecnología de Agricultura de Precisión.”; basándose en los resultados obtenidos del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), que han determinado que la aplicación de tecnologías y técnicas de Agricultura de Precisión en el manejo de cultivos permite incrementar el rendimiento en los principales cultivos entre un 10 a un 15% promedio realizando un manejo eficiente de los insumos, impactando de manera directa sobre el margen bruto de procesos productivos

en cultivos intensivos y extensivos; y en un ensayo sobre control de malezas, los técnicos Diego Ustarroz, Juan Pablo Vélez y Diego Villarroel del INTA Manfredi demostraron que, combinando el uso de aplicación selectiva y cultivos de cobertura, se puede ahorrar hasta un 60% de herbicidas y con un control de yuyo colorado que alcanza el 80%.

De esta manera el agricultor Lambayecano puede abordar la problemática de variabilidad en la parcela, pérdida de áreas agrícolas y rentabilidad de su producción, ya que la Agricultura de Precisión permite establecer estrategias de manejo para usar los recursos necesarios en la cantidad requerida, en el lugar adecuado y en el momento oportuno, por lo cual tiene un inmenso potencial para mejorar la gestión de la actividad agropecuaria en aspectos ambientales y económicos.

La implementación de la Agricultura de Precisión en Lambayeque, es determinante, para la competitividad continua del agricultor Lambayecano, ya que, al aplicarla, este menguara el impacto que la agricultura tiene sobre el medio ambiente, aumentara en gran medida sus beneficios económicos, reducirá los costos de producción, mejorara la calidad y rendimiento del cultivo, disminuirá los insumos, y usara de manera óptima el suelo.

## **2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son los factores que influirían en la adopción de la agricultura de precisión en el departamento de Lambayeque?

## **3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

La agricultura es uno de los principales medios de generación de ingresos económicos de los hogares peruanos, principalmente del área rural del país. Sin embargo, la agricultura tradicional y mecanizada que está actualmente implementada en Lambayeque, además de ser costosa en comparación con los beneficios económicos que genera, es altamente contaminante; debido a que, las parcelas se trabajan de manera homogénea, sin considerar la variabilidad espacio - temporal presentes en las mismas, generando la salinización de los suelos y contaminación de los mismos, por lo que se han

perdido grandes extensiones agrícolas, en muchos valles del territorio nacional y en especial en el valle Chancay-Lambayeque.

Es por ello, la importancia de este trabajo de investigación, que permitirá analizar los factores que influirían en la adopción de la agricultura de precisión en el departamento de Lambayeque

#### **4. OBJETIVOS**

##### **4.1. Objetivo General:**

- Analizar los factores que influirían en la adopción de la agricultura de precisión en el departamento de Lambayeque.

##### **4.2. Objetivos Específicos:**

- Dar a conocer la situación actual de la agricultura en Lambayeque.
- Explicar que es la agricultura de precisión.
- Dar a conocer quiénes son los agentes involucrados en la agricultura de precisión.
- Definir cuáles son las herramientas de la agricultura de precisión.
- Definir que es el manejo sitio específico.
- Definir la importancia y métodos de análisis de datos.
- Establecer los beneficios y limitaciones de la adopción de la agricultura de precisión en Lambayeque.

## **CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

De acuerdo con el Plan Estratégico Sectorial Multianual 2012-2016, el Agro es un Sector importante para el crecimiento económico y la reducción de la pobreza rural en el Perú, en el país, casi un tercio de la población vive en las zonas rurales y aproximadamente el 50% de sus ingresos proviene de la agricultura, por lo que la agricultura tiene un importante peso económico y social.

Según los resultados del IV Censo Nacional Agropecuario 2012, del total de la superficie del territorio regional (1,485 577.29 hectáreas), Lambayeque cuenta con una superficie agropecuaria de 691 070.1 hectáreas, de las cuales la superficie agrícola corresponde a 254458.4 hectáreas, que corresponde al 36.82% del total de la superficie agropecuaria.

La agricultura en el Perú, ha sufrido importantes cambios en los últimos 50 años, pasando de ser una agricultura concentrada en grandes haciendas en la década de los cincuentas y sesentas, a un proceso de reforma agraria que se iniciara en 1969 y culminara en 1976, que luego desembocó en un proceso de parcelación. Y, de ser una agricultura tradicional (con apero conducido por una yunta de bueyes y herramientas manuales: picos, palanas, etc.) a llegar a ser una agricultura mecanizada (realizar las labores agrícolas con cosechadoras, sembradoras, tractores e implementos agrícolas, etc.).

La agricultura que actualmente se realiza en Perú, según refiere en una entrevista Pedro Hugo Injante, especialista del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), es de tecnología 2.0, pues realiza análisis del suelo, que es una tecnología del siglo pasado y que permite medir los

requerimientos del terreno de manera uniforme (en promedio) en un alcance de 9 metros de diámetro. Sin embargo, si se utiliza un dron o un satélite, el suelo es georeferenciado, obteniéndose un muestreo de 1.111 puntos, con lo que se obtiene una precisión de casi el 100% del campo, lo que sería la agricultura de precisión, o también llamada “Agricultura 3.0”. En ese sentido, es necesario que Perú comience a hacer este tipo de agricultura porque actualmente solo el 10% de los productores usan tecnología, mientras que el resto sigue utilizando agricultura rudimentaria y tecnología que en otros países ya dejó de usarse.

En el Perú, a pesar de que ya se han empezado a dar los primeros pasos para implementar este nuevo sistema agrícola con el convenio de Sierra y Selva Exportadora y la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (Conida), para usar la información del Satélite Perú SAT, tal y como refirió en una entrevista, el presidente ejecutivo de Sierra y Selva Exportadora, Alfonso Velásquez (Agricultura de Precisión: Desafío de los Agricultores, 2017), y de algunos estudios realizados por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), aún estamos muy atrasados en cuanto a la aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación, en la agricultura, es decir, aún estamos lejos de llegar a implementar una agricultura de precisión, convirtiéndose en el principal reto de los agricultores peruanos.

## **2. BASES TEÓRICAS**

### **2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA AGRICULTURA EN LAMBAYEQUE**

Pese a que la agricultura no alcanza para considerarse como de alta especialización, el departamento de Lambayeque existe una tradicional vocación agrícola (Oficina de Planificación y Ordenamiento Territorial del Gobierno Regional de Lambayeque, 2017), debido a que, es una región que está ubicada estratégicamente en el marco de la región norte y su ubicación le permite acceder a mercados internacionales, además, cuenta con importantes ventajas comparativas para el desarrollo de la agricultura, en



virtud de un clima uniforme que permite cultivar a lo largo de todo el año. Asimismo, cuenta con más horas luz al día que otras regiones agrícolas y la capacidad de realizar riego regulado. Cabe destacar que esta actividad tiene una historia de casi 4 mil años en la región, según lo evidencian los últimos hallazgos arqueológicos (Banco Central de Reserva del Perú, 2008); sin embargo sus niveles de producción y productividad se ven limitados por la escasez de agua y limitadas tecnologías para el desarrollo de la actividad (Gobierno Regional de Lambayeque, 2010).

### **2.1.1. Recurso Agua**

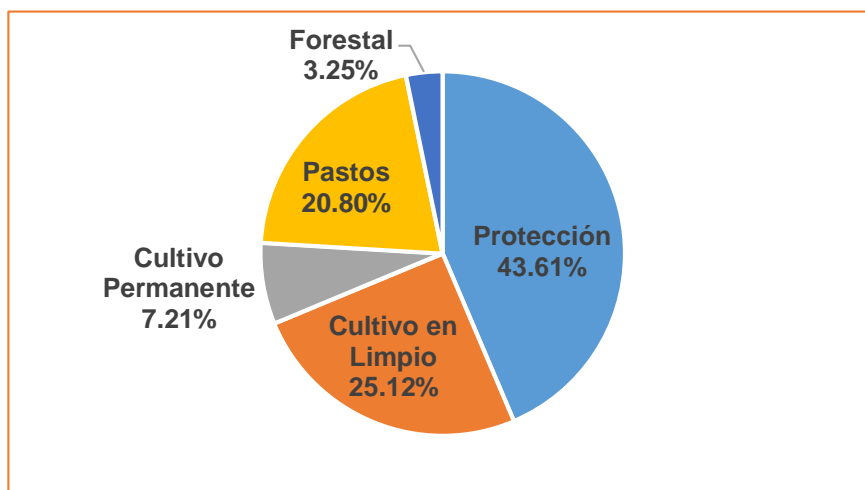
Existen 06 cuencas hidrográficas, en el departamento, de las cuales cinco (05) forman parte de la gran cuenca del Pacífico y una (01) de la cuenca del Atlántico (cuenca del río Chamaya). Las cuencas del Pacífico son las conformadas por el río Cascajal, río Olmos, río Motupe – La Leche, río Chancay y río Zaña. Dichas cuencas comprenden a su vez, 17 subcuencas definidas cada una por un curso o río principal, cinco (05) zonas de escurrimiento, entendidas como áreas secas que eventualmente drenan hacia un río principal en cualquier parte de su trayectoria y tres (03) inter cuencas, como áreas de depresión o vasos naturales que no drenan hacia ningún río principal (Oficina de Planificación y Ordenamiento Territorial del Gobierno Regional de Lambayeque, 2017).

Los recursos hídricos en la región son limitados para el uso agrícola y urbano (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2003), sin embargo, una particularidad del recurso hídrico es su escasez e irregularidad de sus descargas, y junto con el suelo lo convierten en el recurso natural más estratégico para el desarrollo de Lambayeque; características que se hacen cada vez más evidentes como consecuencia de los impactos negativos del cambio climático (Gallardo Bernal, et. al. 2018).

### **2.1.2. Recurso Suelo**

De acuerdo a los resultados del Estudio de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras Año 2012 (CUM), se han identificado 64 unidades de tierras (1,485,577.29 ha); las cuales se distribuyen en cinco grupos de capacidad de uso mayor de los suelos: cultivo en limpio, cultivo permanente, pastos, forestales y protección; el gráfico siguiente muestra la distribución espacial de los cinco grupos de clasificación de las tierras en el departamento de Lambayeque, prevaleciendo las zonas de protección con 43.61%, seguido del cultivo en limpio con 25.12%, y en menor porcentaje las tierras aptas para producción forestal con un 3.25%. (Gobierno Regional de Lambayeque, 2012).

**Figura 1: DISTRIBUCIÓN DE LOS GRUPOS DE CAPACIDAD DE USO MAYOR DE LAS TIERRAS**



*Fuente: Memoria Descriptiva, Estudio de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras Año 2012 -Gobierno Regional de Lambayeque*

### 2.1.3. Superficie Agrícola y No Agrícola

Según el Anuario de Estadísticas ambientales, Territorio y Suelos, basado en los resultados del IV Censo Nacional Agropecuario 2012, Lambayeque cuenta con una superficie agropecuaria de **691 070.1 hectáreas**, de las cuales la superficie agrícola corresponde a 254458.4 hectáreas, que corresponde al 36.82% del total de la superficie agropecuaria, (Instituto

Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2015), cuya distribución se encuentra a continuación:

**Tabla 1: DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFICIE AGRÍCOLA Y NO AGRÍCOLA**

USO ACTUAL DE LOS SUELOS	EXTENSIÓN (ha)	PORCENTAJE
<b>A. TIERRAS AGRÍCOLA</b>	<b>254 458. 4</b>	<b>36.82</b>
Bajo Riego	241 563.2	34.96
En secano	12 895.2	1.86
<b>B. TIERRAS NO AGRÍCOLAS</b>	<b>436 611.7</b>	<b>63.18</b>
Pastos Naturales	52 746.3	7.63
Montes y Bosques	144 360.8	20.89
Otro Uso	239 504.6	34.66
<b>TOTAL DEPARTAMENTAL</b>	<b>691 070.1</b>	<b>100.00</b>

*Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario 2012 - Instituto Nacional de Estadística e Informática.*

#### **2.1.4. Principales productos de la actividad agrícola**

En la Región Lambayeque, la actividad agrícola se desarrolla en dos tipos de explotación; en la Costa con un nivel más tecnificado y desarrollado, pero direccionada sobre todo a monocultivos de arroz y caña de azúcar; en la Sierra la agricultura posee un limitado desarrollo tecnológico y su producción se limita a satisfacer el auto consumo. (Gobierno Regional de Lambayeque, 2008)

De acuerdo al Anuario Estadístico de Producción Agrícola 2017 del MINAGRI, la producción agrícola en la región Lambayeque está dividida en Cultivos Transitorios, Permanentes, Semipermanentes, Pastos y Forrajes; siendo los cultivos predominantes según la superficie cosechada; el arroz cáscara (50 012.0 ha), la caña de azúcar (24 065.4 ha) y el maíz amarillo duro (12 453.0 ha); y en menor medida están hortalizas, las menestras y frutales de exportación como el mango, uva, maracuyá y arándanos. (Ministerio de Agricultura y Riego - Dirección General de Evaluación y Seguimiento de Políticas, Dirección de Estadística Agraria, 2018)

**Tabla 2: PRODUCCIÓN AGRARIA SEGÚN LOS PRINCIPALES CULTIVOS EN LA**

**REGIÓN LAMBAYEQUE (AÑO 2017)**

<b>Cultivo</b>	<b>Superficie Cosecha (Ha)</b>	<b>Producción (Tn)</b>	<b>Rendimiento Promedio (Kg/ha)</b>	<b>Precio Promedio en chacra (Soles/Kg)</b>
<b>CULTIVOS TRAN SITORIOS</b>				
Ají	68.0	739	10868	2.79
Arroz cáscara	50012.0	400575	8010	1.30
Arveja grano seco	815.0	627	769	2.59
Arveja verde	1343.0	3578	2664	1.71
Betarraga	117.0	1386	11846	0.90
Caigua	40.0	200	5000	1.62
Camote	1942.0	23638	12172	0.51
Cebada grano	60.0	52	867	0.88
Cebolla cabeza	397.0	13746	34625	0..82
Cebolla china	36.0	307	8528	2.01
Col	53.0	1703	32132	1.27
Culantro	34.0	127	3735	2.11
Frijol castilla	1334.0	1436	1076	2.19
Frijol grano seco	532.0	511	961	3.89
Garbanzo	315.0	291	924	4.91
Haba grano seco	171.0	146	854	2.13
<b>Cultivo</b>	<b>Superficie Cosecha (Ha)</b>	<b>Producción (Tn)</b>	<b>Rendimiento Promedio (Kg/ha)</b>	<b>Precio Promedio en chacra (Soles/Kg)</b>
Haba verde	125.0	304	2432	1.00
Lechuga	71.0	751	10577	2.37
Maíz a. duro	12453.0	83428	6699	0.92
Maíz amiláceo	2827.0	5459	1931	1.34
Maíz choclo	2391.0	27690	11581	2.16
Melón	8.0	154	19250	1.42
Oca	295.0	629	2132	0.80
Olluco	373.0	895	2399	1.11
Pallar grano seco	2792.0	4959	1776	2.21
Papa	660.0	4950	7500	0.68
Páprika	786.0	3948	5023	5.16
Pepinillo	76.0	947	12461	0.97
Pepino	10.0	300	30000	0.50
Pimienta	885.0	37516	42391	0.80
Piquillo	613.0	17205	28067	0.74
Quinua	44.0	112	2545	4.34

Rabanito	23.0	130	5652	1.66
Sandía	77.0	2120	27532	0.36
Tomate	240.0	5544	23100	0.90
Trigo	1730.0	1490	861	0.89
Yuca	384.0	4656	12125	0.86
Zanahoria	260.0	2739	10535	1.12
Zapallo	75.0	1882	25093	0.67
Zarandaja	1906.0	2290	1201	2.05
<b>CULTIVOS PERMANENTES</b>				
Cacao	67.0	32.4	484	6.19
Café pergamino	2404.0	1553	646	7.78
Chirimoya	100.0	126	1260	1.96
Ciruela	265.0	1318	4974	0.53
Coco	25.0	17	680	0.55
Granada	68.0	902	13265	3.60
Guanábana	1.0	4	4000	2.00
Lima	89.0	388	4360	0.99
Limón dulce	2.0	4	2000	0.45
Limón sutil	1764.0	31387	17793	0.98
Mamey	120.0	703	5858	0.75
Mango	4123.0	61787	14986	0.46
Naranja	482.0	2625	5446	0.97
Pacae	70.0	952	13600	0.74
Palta	1419.0	9904	6980	2.54
<b>Cultivo</b>	<b>Superficie Cosecha (Ha)</b>	<b>Producción (Tn)</b>	<b>Rendimiento Promedio (Kg/ha)</b>	<b>Precio Promedio en chacra (Soles/Kg)</b>
Tamarindo	345.0	345	1000	1.25
Toronja	2.0	6	3000	1.20
Uva	1018.0	9318	9153	2.91
<b>CULTIVOS SEMI PERMANENTES</b>				
Aguaymanto	73.0	147	2014	2.64
Alcachofa	3.0	9	3000	2.00
Algodón rama	168.0	170	1012	3.51
Arándanos	1054.0	10560	10019	11.08
Caña para alcohol	570.0	9382	16460	
Caña para azúcar	24065.4	2489374.09	103442	
Espárrago	1243.0	8348	6716	4.56
Frijol de palo	348.0	316	908	2.19

Granadilla	79.0	422	5342	2.78
Maracuyá	932.0	9251.5	9927	1.03
Papaya	43.0	1156	26884	0.50
Plátano	731.0	12070	16512	0.63
<b>PASTOS Y FORR AJES</b>				
Alfalfa	1035.0	75339	72791	0.26
Maíz chala	1671.0	58351	34920	0.13

*Fuente: Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA) - Dirección de Estadística Agraria del MINAGRI, 2017*

### **2.1.5. La agricultura para el mercado local y nacional**

De acuerdo al Plan Estratégico Regional del Sector Agrario de Lambayeque 2009-2015, la comercialización de productos agrícolas se viene desarrollando dentro de un marco desordenado y confuso, que afecta tanto a los productores como a los consumidores. Debido a que el movimiento de los productos alimenticios, desde los centros de producción a los de consumo es realizado principalmente por intermediarios particulares, que al operar libremente (sin normas definidas), hacen del servicio prestado un instrumento para someter a los productores y consumidores a condiciones desfavorables de compra – venta, teniendo a su favor el hecho de que tanto la oferta como la demanda se encuentran dispersas y desorganizadas.

Según el Plan de Desarrollo Concertado Provincia de Lambayeque 2011-2021, existe un productor orientado básicamente al mercado doméstico ya sea local o nacional (cultivos como menestras, hortalizas y legumbres y por lo menos parcialmente arroz, maíz y frutas pueden ser considerados de autoconsumo y de venta en el mercado local) y otro productor orientado hacia el mercado externo, sin embargo, los rendimientos de los cultivos aún son bajos y allí se tiene un problema estructural que tiene que ser encarado con una política integral de promoción agraria que considere aspectos de capacitación, reconversión productiva, asociatividad, capacidades empresariales y financiamiento. Pero lo que ahora nos importa es señalar que la producción agropecuaria tiene dos destinos y que ambos debieran ser alentados y promovidos por el Estado.

### **2.1.6. La Agricultura de Agro exportación**

Según la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo (2012), existe una sólida presencia institucional pública, privada y académica que impulsan el desarrollo exportador y, como menciona el Plan de Desarrollo Concertado Provincia de Lambayeque 2011-2021, luego de varios años de promoción de la actividad agroexportadora tenemos una línea de productos de exportación que se viene afirmando con algunas fluctuaciones temporales.

Actualmente hay cierta actividad agroexportadora con productos como mango fresco y congelado, espárrago, frijol de palo, frijol caupí, pallar baby, café y ají paprika, principalmente y la condición agro-meteorológica de Lambayeque, permite el desarrollo agrícola y agroindustrial de productos como el limón, mangos, menestras, maracuyá, uvas, etc., tanto fresco como procesado (Gobierno Regional de Lambayeque, 2008).

Lo que aparece como un sector que resulta beneficioso en este tiempo es el sector empresarial constituido por firmas exportadoras – comerciales, y que se agrupan en la una organización especializada de la Cámara de Comercio de Lambayeque. Igualmente aparece el sector de molineros – procesadores de arroz como un sector que se ha fortalecido en las dos últimas décadas (Municipalidad Provincial de Lambayeque, 2010).

Ya en el plano más empresarial, según refiere el Plan de Desarrollo Concertado Provincia de Lambayeque 2011-2021, es importante mencionar la conformación de la Asociación Regional de Exportadores de Lambayeque – AREX – que en cierta forma expresa la dinámica que viene desarrollando este sector. En esta línea mencionaremos la presencia en Lambayeque de varias empresas tales como: Agro Trade, Procesadora S.A.C., Perales Huancaruna S.A. Perhusa, Sun Packers S.A.C., Proassa, Arsa, Globenatural Internacional S.A.C., Agro

Industrias Backus S.A., Altomayo Perú S.A.C., Gandules Inc. S.A.C., Cecanor, Nestlé Perú S.A., Pronatur E.I.R.L., Agropecuaria San Carlos, Gandules INC. S.A.C., Agroindustrias A&B, Negociación, Agrícola San Juan, Agrogenesis, Agrícola Cerro Prieto., E.A.I. Pomalca.

**Tabla 3: EXPORTACIONES DEL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE (AÑO 2009)**

PRODUCTO	VOLUMEN EXPORTADO
Café	10 759.60
Frijol Castilla	4 240.06
Arroz Pilado	3 952.00
Frijol de Palo	2 371.24
Mango	37 898.18
Pimiento	1075.70
Pallar	947.86
Banano	548.56
Uva	250.96
Frijol Zarandaja	137.00
Pepas de Pimiento	118.30
Frijol Loc Tao	24.70
Limón Tahiti	9.04

*Fuente: Dirección Regional de Agricultura de Lambayeque - Municipalidad Provincial de Lambayeque, 2010*

Los agricultores de las zonas pobres de Lambayeque tienen más dificultad para acceder a los circuitos de las empresas agroexportadoras y agroindustriales. Si bien el Estado ha contribuido al fortalecimiento de los vínculos productivos en la región, con el mejoramiento de carreteras y caminos, y la extensión de los servicios sociales como educación y salud, la crisis económica, la pobreza, las debilidades institucionales, entre otros aspectos, han debilitado dichos vínculos.

Un marco institucional adecuado que permita fomentar la presencia de nuevos agentes (sociedad civil, organismos de cooperación internacional, sector privado) así como el mejoramiento de la infraestructura y de los servicios sociales permitiría fortalecer los vínculos productivos regionales y facilitar el desarrollo de la actividad económica en esas zonas (Municipalidad Provincial de Lambayeque, 2010)

La presencia de nuevos mercados internacionales como destino de nuestras exportaciones evidencia que el mercado mundial está siendo cada vez más



receptivo a nuestras exportaciones agropecuarias; esto es resultado de los acuerdos comerciales y también por los cambios en la demanda de los mercados externos, donde además de la cantidad, exigen calidad, estándares de producción, modalidades de producción, equidad y sustentabilidad. Especialistas de la exportación agraria señalan que las perspectivas son interesantes en el mediano y largo plazo, debido a la aparición de mercados emergentes densamente poblados como la China y la India. A pesar de estas halagadoras perspectivas, nuestra participación en el contexto del comercio internacional es todavía reducida. Esta debilidad es resultante de serias deficiencias en la estructura productiva interna asociadas a las características estructurales de la economía agraria nacional: propiedad, infraestructura, servicios etc., y la ausencia de una coherente política promotora \_ capaz de generar competitividad agraria (Vasquez Villanueva, 2016).

#### **2.1.7. Situación actual de los productores Lambayecanos.**

Si bien la agricultura está creciendo sosteniblemente debido al dinamismo de la economía y la apertura comercial, encontramos un sector con bajo nivel de desarrollo agrario y rural, que debe superarse para aprovechar mejor las oportunidades que se están generando (Oficina General de Planificación Agraria, MINAG, 2008), el agro nacional presenta una serie de problemas de corte estructural, los cuales pueden ordenarse según cuatro dimensiones vinculadas al desarrollo, tales como: Dimensión institucional, Dimensión económica, Dimensión social, y Dimensión ambiental (Oficina de Planeamiento y Presupuesto, MINAG, 2012).

En la Región Lambayeque, mayormente son minifundistas, es decir, los productores tienen propiedades de parcelas de menos de 5 hectáreas, y se dedican en su mayoría a los Cultivos de Arroz, Caña de Azúcar, Frutales, Maíz Amarillo Duro y complementariamente a productos de hortalizas, legumbres.

(Gobierno Regional de Lambayeque, 2008)

Según el Plan estratégico Regional del Sector Agrario de Lambayeque 20092015, el desarrollo de los productores Lambayecanos no está consolidado, pues afronta graves problemas, tales como:

- Débil Organización de los Productores.
- Limitada formación Empresarial.
- Limitado acceso a los principales servicios: Financieros y de Asistencia Técnica.
- Sobre endeudamiento.
- Propiedad legal de los terrenos no saneada.
- Actitudes proteccionistas del Estado contribuye a la debilidad del Productor Participación de financistas informales con elevadas tasas de interés y de atención rápida no les permite la acumulación de excedentes para mejorar sus condiciones de vida y desarrollo productivo.

En el siguiente cuadro, se presenta el registro de organizaciones de productores agropecuarios en Lambayeque:

**Tabla 4: ASOCIACIONES DE PRODUCTORES AGROPECUARIOS EN LAMBAYEQUE**

N°	NOMBRE DE LA ASOCIACIÓN Y REPRESENTANTE LEGAL	UBICACIÓN	HAS.	N° DE SOCIOS	ACTIVO
01	Asociación Agrícola, Agroindustrial y Pecuaria "Miraflores". - Román Chacón Mendoza.	Popan Zaña	110	10	Agrícola Ganadera
02	Asociación de productores de maíz, menestras y otros "Cruz de Mayo". - Antonio Acosta Balcazar.	Nueva Arica	71.5	24	Agrícola
03	Asociación de productores de algodón del distrito de Mórrope. - José Vigilio Bances Sandoval.	Mórrope	159	26	Agrícola
04	Asociación de productores agrícolas "La Otra Banda". - Ricardo Zapata Chiroque.	Zaña	117	42	Agrícola
N°	NOMBRE DE LA ASOCIACIÓN Y REPRESENTANTE LEGAL	UBICACIÓN	HAS.	N° DE SOCIOS	ACTIVO
05	Asociación Empresarial de productores de menestras. - Nazario Damián Yovera.	Mórrope	145	44	Agrícola

06	Asociación de productores de maíz y otros productos agropecuarios parte alta Valle La Leche. - Jorge Carlos Oblitas Paredes.	Pítipo	00	83	Agrícola
07	Asociación de productores de maíz sector Mocupe – Úcupe. - Gregorio Becerra Falero.	Mocupe - Ucupe	600	57	Agrícola
08	Asociación Civil de productores agrarios – Mórrope. - Asunción Acosta Damián.	Mórrope	200	80	Agrícola
09	Asociación de pequeños productores de maíz amarillo duro y ganadero de Chongoyape. - Carlos Bustamante Villalobos	Chongoyape		45	Agrícola-Ganadera
10	Asociación Civil de pequeños ganaderos y campesinos “El Porvenir”. - Augusto Rivas Becerra.	Nueva Arica	120	60	Agro-Pecuaría
11	Asociación Agricultores del Sector Collique Bajo - Hipólito Guevara Gamonal.	Collique Bajo	80	35	Agrícola
12	Asociación de productores agrarios San José. - Segundo Avelino Lozada Delgado.	Motupe	80	25	Agrícola
13	Comité de productores de caña de azúcar Lambayeque.	Chiclayo			
14	Asociación de sembradores caña de azúcar – Lambayeque.	Vicente de la vega 862 - Chiclayo			
15	Comité Regional de maíz amarillo duro – Lambayeque. - Ing. Flavio Moreno Jiménez – Presidente.	Elías Aguirre 560- Jayanca			
16	Asociación Pequeños y medianos productores de maíz amarillo duro del distrito de Pacora. - René Jaime Rivera Rodríguez.	Pacora			
17	Asociación Regional productores de maíz amarillo duro. - Srta. Dolores Niño Sobrino.	Motupe			
18	Asociación Regional productores de maíz amarillo duro. - Sr. Gastón Villamonte Reyes.	Mórrope			
19	Asociación Productores lecheros y productores agropecuarios La Traposa. - Leocadio Ramos Sánchez.	La Traposa	30	100	Agrícola Pecuaría
20	Asociación De comuneros agricultores ganaderos y apicultores. - José M. Santiesteban Zeña.	Arbolsol - Mórrope	250	80	Agrícola Pecuaría
<b>N°</b>	<b>NOMBRE DE LA ASOCIACIÓN Y REPRESENTANTE LEGAL</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>HAS.</b>	<b>N° DE SOCIOS</b>	<b>ACTIVO</b>

21	Asociación Productores agropecuarios El Triunfo, Mesones Muro. - Cesar Rodríguez Ramírez.	Mesones Muro - Ferreñafe	150	50	Agrícola Pecuaria
22	Asociación Productores de arroz del sub sector de riego Lambayeque. - Lucio E. Callanca Muro.	Lambayeque	1000	300	Agrícola
23	Asociación Productores de arroz del sub sector de riego Mochumi. - Rafael Martínez Inoñan.	Mochumi	1500	500	Agrícola
24	Asociación Productores de arroz del sub sector de riego Granja Sasape. - Berardo Zapata Suclupe.	Tucume	1000	300	Agrícola
25	Asociación Productores agropecuarios fuente de vida. -Ramón Odar Sotero.	Olmos	150	50	Agrícola - Pecuario
26	Asociación de sembradores de caña de azúcar de la comisión de regantes del sub sector de riego Lambayeque. - Felipe García Gutiérrez.	Lambayeque	300	100	Agrícola
27	Central de productores de mango CEPROMAN. - Jorge Valencia Mendoza.	Olmos	1000	300	Agrícola

*Fuente: Gobierno Regional de Lambayeque, 2008.*

### **2.1.8. Situación actual de la Infraestructura de Riego**

Según Autoridad Nacional del Agua (2018), la Administración del agua en el departamento está a cargo de tres Administraciones Locales del Agua (ALA): Chancay - Lambayeque, Zaña y Motupe - Olmos - La Leche; con apoyo de los agricultores organizados en 5 Juntas de Usuarios:

- Junta de usuarios de Chancay - Lambayeque, con, 14 Comisiones de Usuarios
- Junta de usuarios de Zaña, con 11 Comisiones de Usuarios.
- Junta de usuarios del Valle La Leche, con 8 Comisiones de Usuarios
- Junta de usuarios del sector hidráulico menor Valle de Motupe, con 4 Comisiones de Usuarios
- Junta de usuarios de Olmos, con 2 Comisiones de Usuarios

Teniendo como marco legal la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, sus reglamentos y otras sobre la materia.

Según el reglamento de operadores de infraestructura hidráulica, las juntas de usuarios, están a cargo de sectores hidráulicos mayores, menores o de

aguas subterráneas. Para lo cual tienen el apoyo de comisiones y comités de usuarios las que intervienen en los subsectores hidráulicos (Autoridad Nacional del Agua, 2011).

Para el caso de la infraestructura menor, son las Comisiones de Regantes las responsables directas del manejo del agua, delimitada a través de los llamados subsectores de riego. (Gobierno Regional de Lambayeque, 2008).

#### **2.1.9. Situación actual de la Titulación de Tierras.**

La situación de la titulación de tierras es dinámica, proceso que fue ejecutado inicialmente por el Proyecto Especial Titulación de Tierras y Catastro Rural (PETT) y en la actualidad por Organismo de Formalización de la Propiedad Informal (COFOPRI RURAL), según el Plan Estratégico Regional del Sector Agrario de Lambayeque 2009 – 2015, las características más relevantes son:

- Cambio permanente de los titulares de los predios por la frecuente venta de los mismos
- Falta del titular de los predios
- Numerosos problemas judiciales por la venta fraudulenta de los predios.

**Tabla 5: UNIDADES PRODUCTIVAS REGISTRADAS EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE**

REGIÓN	UNIDADES PRODUCTIVAS	%	SUPERFICIE HAS	%
CHICLAYO	13 154	28.8	179 496	25.1
LAMBAYEQUE	23 035	50.5	377 409	52.8
FERREÑAFE	9 457	20.7	157 781	22.1
<b>TOTAL</b>	<b>45 646</b>	<b>100.0</b>	<b>714 686</b>	<b>100.0</b>

*Fuente: Gobierno Regional de Lambayeque, 2008.*

#### **2.1.10. Características del grado de Tecnificación en la Región.**

Según refiere el Plan Estratégico Regional del Sector Agrario de Lambayeque 2009-2015, la tecnología del agro regional para el manejo de los cultivos es

de nivel medio a baja, las unidades agrícolas bajo administración empresarial organizada cuentan con la capacidad técnico – profesional y asistencia técnica asegurada y competente. A nivel de los pequeños productores existen marcadas diferencias para la participación en los programas de capacitación generadas, en primer lugar, por el predominante bajo nivel cultural de los productores, el asistencialismo familiar y la avanzada edad de los patriarcas y administradores de los predios, que no están preparados para asistir a eventos de capacitación y formación.

En relación a la distribución del recurso hídrico, su atención se brinda en la mayoría de los casos a través de tomas rústicas, generando ello, pérdida y/o merma del recurso, determinando ello la falta de una infraestructura menor de riego moderna que permita el uso óptimo del mismo (Gobierno Regional de Lambayeque, 2008).

Por otro lado, la escasez de agua para irrigar más tierras se está tratando de superar con la ejecución de los proyectos de irrigación Olmos- Tinajones y Jequetepeque - Zaña. Asimismo, los nuevos cultivos de agro exportación se vienen instalando en base a riego tecnificado (Banco Central de Reserva del Perú, 2008), y debido a que los niveles productivos son limitados ante la escasez de aguas y por la gran fertilidad de sus tierras, los agricultores han tenido que hacer uso del agua subterránea, por lo que las empresas requieren repotenciar sus pozos tubulares, varios de los cuales se encuentran hoy en día inoperativos, siendo una alternativa de emergencia frente a eventos de escasez del recurso hídrico, sin embargo esta modalidad conlleva a mayores costos, por tanto los agricultores buscan cultivos con mayor margen de rentabilidad y con menor uso del recurso hídrico, tales como son: los cultivos agroindustriales como el limón, maracuyá, ajíes y mango. (Gallardo Bernal, et. al. 2018)


El proyecto de Irrigación Tinajones, permite al valle Chancay Lambayeque aprovechar el agua proveniente de los ríos Chotano, Conchano y Chancay e irrigar a más de 85,000 hectáreas; las principales obras del Sistema Tinajones fueron ejecutadas en el período 1950 a 1990 con el apoyo financiero del Gobierno Alemán, éstas alcanzaron una inversión superior a los US\$ 180

Millones de dólares. Y El proyecto Hidroenergético Olmos es una infraestructura trasandina que permite trasvasar las aguas del río Huancabamba, desde la vertiente del Atlántico hasta la vertiente del Pacífico para fines agrícolas e hidroenergético. (Oficina de Planificación y Ordenamiento Territorial del Gobierno Regional de Lambayeque, 2017)

### 2.1.11. Servicios de Mecanización Agrícola.

Las Unidades Agrícolas bajo manejo empresarial cuentan con maquinaria que les permite atender de manera oportuna y permanente las necesidades de su proceso productivo, situación contraria es la del pequeño y mediano productor que no cuenta con acceso directo al uso de maquinaria por ser económicamente elevado, en cuanto a sus costos de alquiler del servicio. La atención que el Estado podría brindar es bastante limitada, debido a que sus unidades no están en las condiciones óptimas de operatividad y no se cuenta con programas de mantenimiento preventivo de los equipos. En conclusión, este servicio es deficiente, costoso e inoportuno para los productores. (Gobierno Regional de Lambayeque, 2008)

**Tabla 6: DETALLE DEL USO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE**

DETALLES	TOTAL DE MAQUINAS	OPERATIVAS	NO OPERATIVAS	N° DE HAS ATENDIDAS	N° DE H/MAQUINA UTILIZADAS
<b>MAQUINARIA AGRÍCOLA</b>	<b>74</b>	<b>26</b>	<b>48</b>	<b>12 189</b>	<b>17 547</b>
SHANGAY	05	02	03		
MASSEY FERGUSON	36	20	16		
YANMAR	05	02	03		
COSECHADORA	28	02	26		

Fuente: Gobierno Regional de Lambayeque 2008.

### **2.1.12. Servicios de Financiamiento y Crédito Agrario.**

El crédito para el sector agropecuario siempre estará presente en las agendas de gobierno. Con la liquidación (en 1992) de lo que fue el Banco de Fomento Agropecuario, el financiamiento para este sector, por sus propias restricciones y limitaciones, pasó a ser marcadamente diferenciado en su atención. A pesar de haberse creado el 2003 el Banco Agropecuario o llamado Agrobanco, el crédito agropecuario sigue constituyendo hoy más que nunca uno de los débiles mecanismos de financiamiento público disponibles para los pequeños agricultores. (Vasquez Villanueva, 2016)

De acuerdo al Plan Estratégico Regional del Sector Agrario de Lambayeque 2009-2015, el Servicio de Financiamiento a las actividades del Sector Agrario es atendido por la presencia de las diferentes instituciones vinculadas al sector financiero nacional. Se cuenta con la disponibilidad de las instancias correspondientes a la Banca Privada, la misma que en la actualidad se ha visto reforzada por la presencia de las cajas municipales, rurales y de las organizaciones no gubernamentales (Edypime, Solidaridad entre otras) y por el reflatamiento del Banco Agropecuario; sin embargo, como menciona Vasquez Villanueva (2016), los puntos débiles en el financiamiento público para el agro están asociados a la insuficiente cantidad de recursos disponibles para financiar las actividades agropecuarias; la inseguridad jurídica de la propiedad, las recurrentes pérdidas económicas en los cultivos y crianzas y, los altos costos del crédito (tasas de interés).

El funcionamiento del Banco Agrario, de acuerdo al Plan Estratégico Regional del Sector Agrario de Lambayeque 2009-2015, es similar a la presencia de las otras instancias financieras localizadas en la región, no se ha constituido en el organismo promotor de la actividad agraria, no cuenta con líneas promocionales en apoyo a la actividad agraria y del mismo modo, las tasas de intereses y requisitos son los mismos o mayores que de otras entidades financieras. La mayoría de agricultores no son sujetos de créditos, debido a



que no cuentan con las garantías suficientes que son exigidas por la Banca de Fomento, Privada y Municipales.

El crédito y los costos del mismo para financiar a la agricultura, además de su reducida cobertura en términos de créditos otorgados, esconde otra realidad que está referida a la existencia de agentes prestamistas informales, quienes a pesar de conocer los procesos de descapitalización o reducidos niveles de excedentes facilitan recursos para que la actividad productiva siga su dinámica económica. La banca tradicional no juega partido en el financiamiento, ni es de su interés la pequeña agricultura, pero si es facilitador de recursos para agentes económicos que relacionados, directa o indirectamente, con la agricultura actúan de prestamistas de campañas agrícolas (Vasquez Villanueva, 2016). Esta situación no permite implementar programas de reconversión de cultivos, así como tampoco ampliar la cobertura de atención hacia otras líneas de inversión en el sector Agrario y pecuario. (Gobierno Regional de Lambayeque, 2008)

De acuerdo con Vasquez Villanueva (2016), lo más recomendable para tener un sólido y eficiente sistema financiero público, para la agricultura de las mayorías, pasa por organizar sobre la base del Agrobanco, un sistema de financiamiento de administración mixta en donde los accionistas sean el Estado (minoría), productores, organizaciones agrarias, organizaciones de la sociedad civil y agentes privados. Esta modalidad de operación contribuirá realmente a tener al fin un sistema de financiamiento en donde el crédito, deje de ser concebido como un medio para explotar cultivos y crianzas y convertirse en factor de desencadenamientos para mejorar productividad, competitividad, rentabilidad y, finalmente el aseguramiento de retorno de los capitales - créditos.

## **2.2. AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

### **2.2.1. Antecedentes y evolución de la agricultura de precisión**

A partir de la década de los setentas, se comenzó a esbozar una nueva forma de hacer agricultura con los estudios sobre automatización de máquinas agrícolas. Posteriormente, a finales de la década de los ochentas y comienzos

de los noventas, con la liberación del sistema de posicionamiento global por satélite para uso civil, fue posible desarrollar equipos inteligentes que permitieron el manejo localizado de las prácticas agrícolas, con una mayor eficiencia de aplicación de insumos. Esto redujo el impacto ambiental y, como consecuencia, disminuyeron los costos de la producción de alimentos. A este conjunto de procesos y sistemas aplicados se les denomina Agricultura de Precisión (AP). (Chartuni Mantovani, De Assis de Carvalho Pinto, & Marçal de Queiroz, Introducción a la Agricultura de Precisión, 2006)

**\* Desde la línea agronómica:**

Según Robert, (1999), citado por Chartuni et. al. (2006), se desarrolla desde los años 70 a 80, en Minnesota, Estados Unidos, basados en muestreos a campo de suelos, fotografías aéreas y análisis de cultivos, para conocer mejor la variabilidad de los factores de suelo y planta.

Fue posible establecer gracias a la unión de las empresas estadounidenses, CENEX, FARMERS Unión Central Exchange Inc. Y la compañía de computadoras Control Data Corporation, el primer concepto de variabilidad de suelo y planta en los campos, así como los potenciales beneficios del gerenciamiento de estos campos por zona de manejo, en vez de toda el área cultivada.

**\* Desde la línea de la Ingeniería Agrícola:**

Se refiere a la evolución de las máquinas agrícolas utilizando sensores y sistemas de posicionamiento global (GPS) para mapeo y aplicación de insumos con dosis variables.

**2.2.2. Adopción de la Agricultura de Precisión en el Cono Sur de América**

La aplicación de la Agricultura de Precisión en países en vías de desarrollo se considera incipiente. Dos limitantes importantes radican en la adaptación de la tecnología a las condiciones particulares de estos países y en el costo de la misma. (Leiva, 2003), por lo que la adopción de la agricultura de precisión ha sido más rápida en aquellos países donde la mano de obra es

cara, y tanto la tierra como el capital relativamente barato. La adquisición de los equipos necesarios se ve favorecida cuando el precio de los productos obtenidos es alto y el tipo de interés bancario es bajo (Swinton y Lowenberg DeBoer, 2001, citado por Álamo Romero, 2003).

**AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN ARGENTINA:** La difusión de la agricultura de precisión en Argentina comenzó a principios de 1996 en el INTA Manfredi, Córdoba, con el lanzamiento de lo que hoy es el Proyecto Nacional de Agricultura de Precisión. Este proyecto alcanzó nivel nacional en 1999 y actualmente incluye cinco estaciones experimentales ubicadas en cuatro provincias (Buenos Aires, Córdoba, Santa Fé y Entre Ríos). Las principales actividades de este proyecto son la experimentación adaptativa y la extensión (Bongiovani & Lowenberg De Boer, 2006). Desde esa oportunidad, todas las herramientas disponibles de Agricultura de Precisión en Argentina, han sido probadas y evaluadas ampliamente. Si bien actualmente hay mucho por aprender sobre la interpretación y toma de decisión en base a esta tecnología, en Argentina se utilizan, con diferentes niveles de adopción, todas las herramientas de Agricultura de Precisión, y con todas se han obtenido buenos resultados. La Agricultura de Precisión y la tecnología de gestión de manejo por zonas han mejorado mucho en los últimos 15 años. La mayoría de los agricultores y actores de la agroindustria tienen adoptadas al menos algunas de las tecnologías de Agricultura de Precisión. (Bragachini, Méndez, & Vélez, Red

Agricultura de Precisión del INTA, 2011)

**AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BOLIVIA:** La agricultura de precisión en Bolivia está orientada a cultivos extensivos y es por eso, que la mayoría de estas tecnologías están siendo utilizadas en el departamento de Santa Cruz, porque es ahí donde se realiza una agricultura mecanizada e intensiva, condiciones ideales para poder hacer trabajos en este campo. A nivel general se puede mencionar que la agricultura de precisión se inició a partir del 2002. En la actualidad, existen diferentes casas comerciales que están difundiendo el uso de herramientas y equipos de agricultura de precisión para optimizar

los procesos de producción en campo. Sin embargo, la difusión está siendo lenta, para lo cual es necesaria la participación de organizaciones públicas y privadas para fomentar el uso de estas tecnologías que están orientadas a lograr una mejor productividad (Mejía, 2006).

**AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN BRASIL:** En Brasil, se adelantan programas de investigación por parte de las universidades y centros de investigación en cultivos de café, maíz millo, soya y naranja, (Por ejemplo el Proyecto agricultura de precisión de la Universidad de Sao Paulo, EMBRAPA) y se cuenta desde 1998 con un Proyecto cooperativo en el estado del Paraná, con participación de productores agrícolas. (Leiva, 2003)

**AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN CHILE:** La agricultura de precisión en Chile ha sido exitosamente, planteada e introducida, principalmente por el INIA en Chile, y aplicada comercialmente en cultivos de exportación, principalmente el sector vitivinícola. Sin embargo, se visualiza un incremento de brechas tecnológicas entre el sector productivo empresarial y los agricultores de menores dimensiones, ya que no existe en la actualidad un desarrollo cabal de capacitación e información de estas tecnologías, principalmente, por falta del recurso humano capacitado para llevarla a cabo. Este último punto es de vital importancia para que exista una transferencia vertical de estos conceptos tecnológicos que permitan generar una mayor demanda tecnológica y a la vez, genere una respuesta tecnológica del medio a través de empresas de servicio y de investigación. Bajo nuestra apreciación, creemos fervientemente que la mejor forma de llevar a cabo esta capacitación tiene que tener un componente fuerte en el uso de las tecnologías de la información, debido a la falta de recursos humanos y monetarios necesarios para una difusión masiva y rápida como la que se requiere para lograr avances significativos en el campo (Best, 2006).

**AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN PARAGUAY:** En Paraguay se cuenta con iniciativas privadas para la aplicación de agroquímicos, la nivelación de lotes con equipos láser, mapas de cosecha, georeferenciamiento para sistemas de labranza y manejo del cultivo de arroz (Leiva, 2003). Es así que, especialistas del Centro Regional de Investigación Agrícola (CRIA),

dependiente de la Dirección de Investigación Agrícola (DIA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Paraguay, realizaron un estudio de investigación aplicada en 2005, en el que presentaron una metodología de trabajo para productores de porte mediano a pequeño, con el objetivo de elaborar mapas de rendimiento mediante los cuales puedan realizar un manejo de sitio-específico de cultivo y suelos (Kawamura, Palacios, Quintana, & Ken Hoshiba, 2006).

**AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN COLOMBIA:** En Colombia, se vienen adelantando experiencias en agricultura de precisión por parte de algunos productores comerciales con cultivos tecnificados como banano (plagas y enfermedades), caña de azúcar (suelos). En la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, se han realizado investigaciones puntuales en manejo de plagas y suelos. (Leiva, 2003)

**AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN URUGUAY:** El proyecto de Agricultura de Precisión de INIA se alinea con las crecientes exigencias de los mercados por obtener productos de alta calidad, producidos en forma amigable con el ambiente, trazables e inocuos. El Programa Arroz de INIA Uruguay incorporó Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), Sistemas de Información Geográficos (SIG) y monitores de rendimiento para investigar la variabilidad de rendimiento dentro de las chacras de arroz. Estas tecnologías abren nuevas posibilidades para la investigación que permitirán desarrollar capacidades tecnológicas en el país tendientes a consolidar una agricultura sustentable. En forma paralela, se comenzó a trabajar a nivel comercial en un proyecto financiado por el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca del Uruguay que tenía por objetivo el mapeo y monitoreo con GPS de los recursos naturales y otros factores de producción, para la toma de decisiones y la gestión de la empresa arrocera durante tres zafas del cultivo (Alvaro Roel & Firpo, 2006).

### **2.2.3. Definición de agricultura de precisión**

En las últimas dos décadas, gracias a la disponibilidad de las nuevas tecnologías geo-espaciales, se ha comenzado a administrar las explotaciones

agrícolas de forma más precisa, recolectando y almacenando información espacial de diversas variables, como puede ser cultivo, suelo, altitud, clima y otros. Este conjunto de tecnologías que mejoran la gestión de la producción agrícola recibe el nombre de Agricultura de Precisión. (Bramley, 2009, citado por Méndez Ángel, 2016)

Es así que se puede definir a la agricultura de precisión (AP) como, la utilización y aplicación de las nuevas tecnologías, teniendo en cuenta la diversidad del suelo, el entorno ambiental y las necesidades de las plantas con el fin de gestionar y optimizar la aplicación de insumos (semillas, fertilizantes, fitosanitarios, riego...) para obtener una producción rentable, de calidad y respetuosa con el medio ambiente. (Pérez de Ciriza Gainza, J.J., 2001, citado por Ezcaray Borda, 2012)

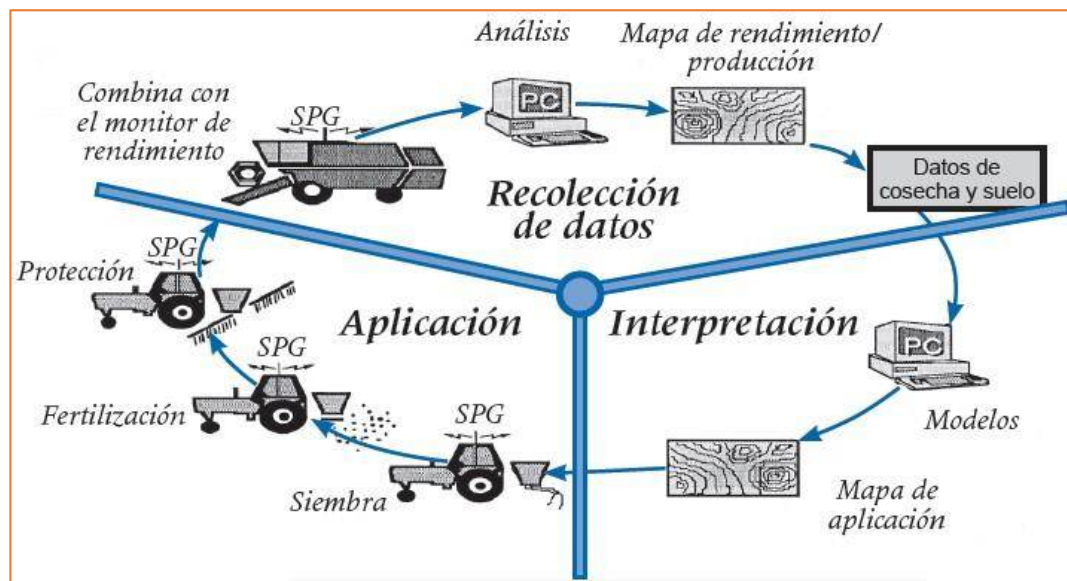
De acuerdo con Robert (1999) citado por Chartuni et al. (2006), no es una novedad la observación de la existencia de variabilidad en las propiedades o factores determinantes de la producción en los agro-ecosistemas. Lo que es diferente, en realidad, es la posibilidad de identificar, cuantificar y mapear esa variabilidad. Más aún es posible geo-referenciar y aplicar los insumos con dosis variables en puntos o áreas de coordenadas geográficas conocidas; lo que se logra con la agricultura de precisión, ya que como menciona Kreimer, P. (2003) citado por Ezcaray Borda (2012), la agricultura de precisión proporciona la capacidad de recopilar, interpretar y aplicar información específica de las explotaciones, transformando datos e información en conocimiento y rentabilidad. Estos sistemas además permiten aumentar la precisión de las labores y la eficiencia de los equipos.

El término Agricultura de Precisión se utiliza para referirse al manejo de los campos agrícolas de forma individualizada y específica. En la práctica se resume en “hacer lo correcto”, en “el lugar adecuado” y en “el momento preciso”, de forma automática, utilizando sensores, ordenadores y otros equipos electrónicos (Lowenberg, 2001, citado por Alámo Romero, 2003). De esta forma, se definen prácticas agrícolas orientadas a sustituir la recomendación habitual de insumos con base en valores promedio, como

ocurre en la agricultura tradicional, por una más precisa, con manejo localizado, que considera las variaciones del rendimiento en toda el área. (Chartuni Mantovani, De Assis de Carvalho Pinto, Marçal de Queiroz, & Ruz, Agricultura de Precisión, 2007)

Es así que los agentes involucrados en el desarrollo y adopción de las prácticas de agricultura de precisión, suelen dividir el ciclo de la agricultura de precisión en tres etapas diferentes, de acuerdo con AGCO (2005), citado por PROCISUR/ IICA (2006): 1) Recolección de datos; 2) Procesamiento e interpretación de la información; y 3) Aplicación de insumos.

**Figura 2: LA TRES ETAPAS DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN**



Fuente: AGCO 2005 en PROCISUR/ IICA, 2006

#### 2.2.4. Variabilidad en la Parcela

La principal característica de la agricultura de precisión es la adquisición de datos de todas las posiciones del terreno, de esta forma se puede trabajar con más detalle. Al tener información exacta de cada posición se puede comparar las características de distintas coordenadas introduciendo la variabilidad; en este tipo de agricultura se tienen en cuenta las variaciones temporales, espaciales e históricas o predictivas. (Kreimer, P., 2003, citado por Ezcaray

Borda, 2012)

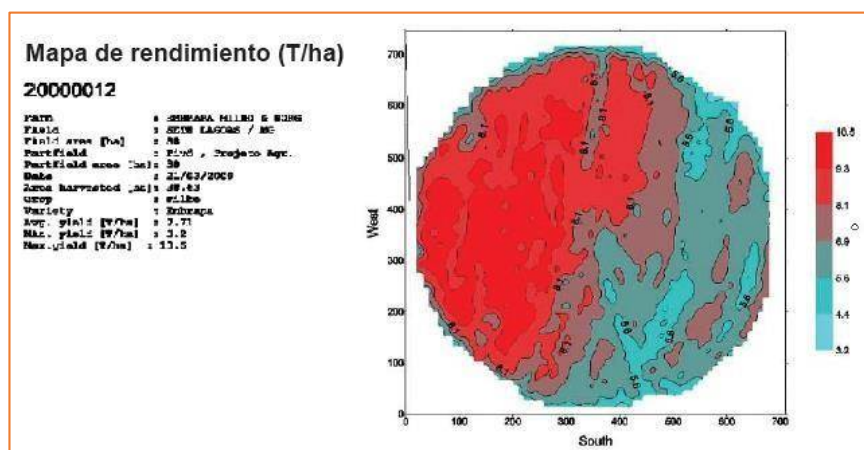
El estudio de variabilidad del suelo y de la planta permite establecer tendencias de rendimiento en una misma área y, a lo largo del tiempo según variaciones climáticas y modificaciones del suelo. (PROCISUR/IICA, 2006). Una vez encontrada la variabilidad se debe establecer una estrategia para manejarla. Desde el punto de vista técnico y económico, el cultivo se debe manejar según aquellas variables que tengan un alto efecto en la productividad, presenten mayor variabilidad y expliquen en mayor medida esa variabilidad en el rendimiento, siempre y cuando puedan ser controladas (Plant, 2001, citado por Polak, 2013).

### **Variabilidad espacial.**

Se concibe como los cambios presentados a lo largo del terreno, es decir, expresa las divergencias de producción de una misma parcela, en una misma campaña y cosecha. Estos cambios se pueden ver, por ejemplo, en un mapa de rendimiento, para lo cual es necesario recopilar datos en posiciones precisas (Ezcaray Borda, 2012). Para localizar estas posiciones en latitud y longitud se utiliza un sistema DGPS (GPS diferencial), al tiempo que se van recopilando otros datos de interés que mantengan una relación espacial, como pueden ser la calidad del suelo, cantidad de agua en el terreno, densidad del cultivo. Con ello se busca obtener mapas que resulten representativos del terreno y de utilidad para el agricultor (Kreimer P., 2003, citado por Ezcaray Borda, 2012).



**Figura 3: EJEMPLO DE VARIABILIDAD ESPACIAL DE UN CAMPO**



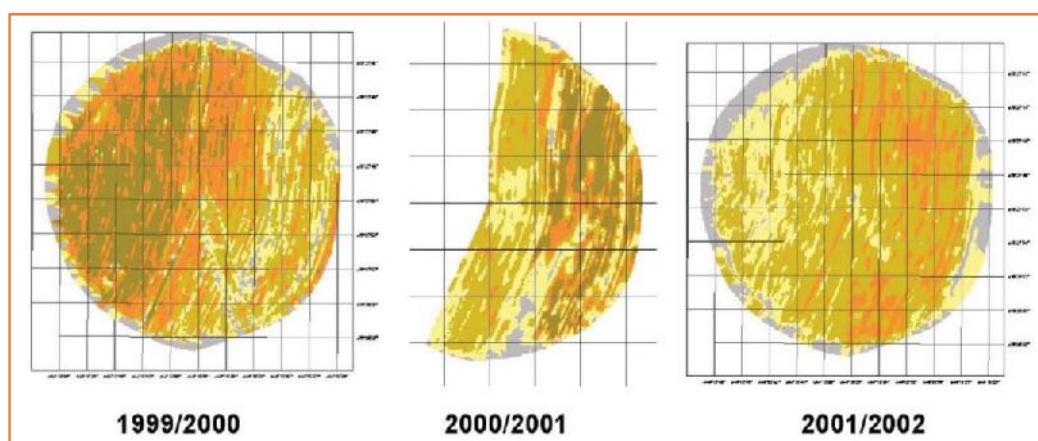
**Mapa de Rendimiento de maíz, campaña 2002. EMBRAPA, Estación Experimental Maíz y Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brasil. Fuente: PROCISUR/ IICA, 2006.**

### Variabilidad temporal.

Expresa los cambios de producción de un mismo campo, en distintas campañas de cosecha (Chartuni Mantovani et al., 2007).

La variabilidad temporal es el resultado de comparar un determinado número de mapas del mismo terreno a través de los años. Al interpretar este tipo de variabilidad se obtienen deducciones, pero aun así pueden obtenerse mapas de tendencias que muestren características esenciales (Kreimer P., 2003, citado por Ezcaray Borda, 2012).

**Figura 4: EJEMPLO DE VARIABILIDAD TEMPORAL DE UN CAMPO**



**Variabilidad temporal del Rendimiento de maíz, cosechas/ campañas 2000, 2001 y 2003. (EMBRAPA, Estación Experimental Maíz y Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brasil) Fuente: PROCISUR/ IICA, 2006.**

### **Variabilidad predictiva.**

Se refiere a la discrepancia entre los valores predichos y los valores actuales.

Este tipo de variabilidad está más relacionada con los errores de administración, como, por ejemplo, los precios estimados para la venta. Ésta puede ser calculada midiendo la diferencia entre los valores esperados y los valores realmente logrados. (Kreimer P., 2003, citado por Ezcaray Borda, 2012)

## **2.3. AGENTES INVOLUCRADOS EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN.**

Según Kreimer P. (2003) citado por Ezcaray Borda (2012), los agentes que directamente están involucrados en la agricultura de precisión se puede decir que son el productor empresario, los asesores o consultores, las empresas proveedoras de insumos y las empresas proveedoras de equipamiento.

### **2.3.1. El productor empresario.**

Debido al crecimiento productivo y al incremento de las tareas gerenciales que debe realizar el productor, cada vez tiene menos tiempo para recorrer sus parcelas y hacerles un seguimiento adecuado. Mediante la agricultura de precisión dispondrá de información más detallada pudiendo realizar el seguimiento de los resultados de sus cultivos. También podrá evaluar y supervisar el trabajo de sus tractoristas y de los responsables de campo porque todo queda perfectamente registrado y geo-referenciado en los mapas de rendimiento. El productor, mediante estas herramientas, podrá cuantificar fácilmente la variabilidad natural de su campo para luego realizar los ajustes de manejo oportunos, evaluar el resultado de nuevas técnicas, el comportamiento de diferentes materiales genéticos, las recomendaciones de su consultor o proveedor, los errores de manejo que pueden haber cometido por decisiones equivocadas u omisiones, etc. (Kreimer P., 2003, citado por Ezcaray Borda, 2012).

### **2.3.2. Los asesores y consultores.**

Los asesores o consultores encontrarán en esta tecnología una importante ayuda para su trabajo. Las fotos aéreas, satelitales y digitalizadas, les permitirán observar los cultivos durante el desarrollo del mismo, pudiendo identificar y ubicar aquellos ambientes o sectores con problemas que requieren una rápida atención. Los sensores a tiempo real, permitirán relacionar aspectos del cultivo o del suelo con cuestiones de gestión. En lo referido a los ajustes de gestión no sólo se tiene en cuenta el ajuste en la dosis o mezclas de fertilizantes, sino a todos los aspectos agronómicos que puedan tener repercusión en el resultado económico de los cultivos. (Kreimer P., 2003, citado por Ezcaray Borda, 2012).

### **2.3.3. Las empresas proveedoras de insumos**

Estas empresas proveedoras dispondrán de una tecnología que les permita ofrecer recomendaciones a los productores sobre el uso de sus productos ajustado para los ambientes más representativos de cada zona, como forma de aprovechar al máximo el potencial de sus insumos y ofrecer un mejor servicio (Kreimer P., 2003, citado por Ezcaray Borda, 2012).

### **2.3.4. Las empresas proveedoras de equipamiento**

Las empresas dedicadas al equipamiento deberán estar muy cerca del productor y de su asesor para poder detectar sus necesidades y poder responder a las mismas (Kreimer P., 2003, citado por Ezcaray Borda, 2012).

## **2.4. HERRAMIENTAS DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

### **2.4.1. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)**

### **¿Qué es el GPS?**

El Sistema de Posicionamiento Global, conocido por sus siglas en inglés como GPS (Global Positioning System), es un sistema de radionavegación satelital operado por el departamento de defensa de los Estados Unidos de América y tiene como objetivo la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia mundial. Los puntos pueden estar ubicados en cualquier lugar del planeta, pueden permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones pueden realizarse en cualquier momento del día y bajo cualquier condición climática (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005).

El fundamento del sistema GPS, se basa en la constelación de satélites NAVSTAR (Navegación por Satélites en Tiempo y Distancia), y consiste en la recepción de señales de radio de mínimo 4 satélites, de 24 que existen en órbita, de los cuales se conoce de forma muy exacta su posición orbital con respecto a la tierra; Cada satélite envía constantemente una señal radio con información precisa de la hora en que se emite. Los receptores (GPS en Tierra) analizan dicha señal y calculan la diferencia de tiempo desde que se emitió hasta que se recibe. La velocidad de la radio en el vacío es la misma que la luz, y se puede estimar aproximadamente la velocidad en la atmósfera, por lo que los receptores GPS pueden calcular la distancia al satélite con bastante precisión. Conociendo la posición de los satélites, la velocidad de propagación de sus señales (velocidad de la luz) y el tiempo empleado en recorrer el camino hasta el usuario, por triangulación se puede establecer la posición en términos absolutos del receptor (Sistema de Posicionamiento Global-GPS, 2007). **Segmentos del GPS**

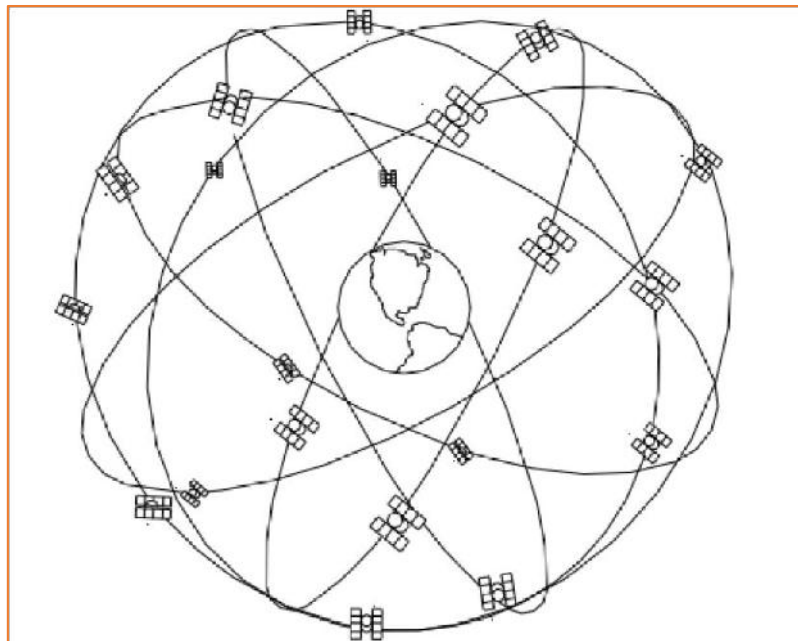
El sistema GPS se compone de tres segmentos: espacial, control y usuario. **El segmento espacial**

Está compuesto por la constelación NAVSTAR, cuyos satélites cuentan con relojes atómicos que permiten garantizar una alta precisión en la generación y emisión de la información que es transmitida vía ondas de

radio y que permite a los receptores GPS determinar su posición (Huerta et al., 2005).

En la Figura 5, se puede observar la disposición aproximada que tienen los satélites de la constelación NAVSTAR, GPS que integran el segmento espacial.

**Figura 5: DISPOSICIÓN DE LOS SATÉLITES DE LA CONSTELACIÓN NAVSTAR**



Fuente: [www.fceia.unr.edu.ar/gps/GGSR/libro\\_gps.pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/gps/GGSR/libro_gps.pdf)

### **El segmento de control**

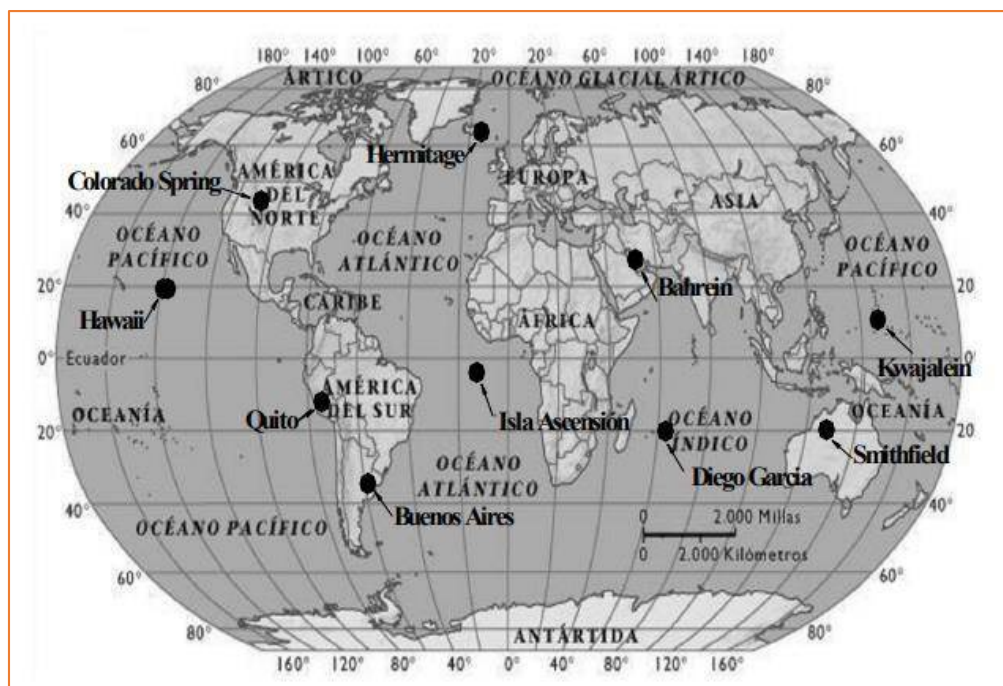
Está compuesto por bases dedicadas al seguimiento continuo de todos los satélites de la constelación NAVSTAR con la finalidad de asegurar el correcto funcionamiento de cada satélite y determinar su posición en el espacio. De esta manera es posible calcular los parámetros necesarios para predecir dónde se encontrará el satélite en un momento dado. Esta información es transmitida a los satélites por el segmento de control y se conoce como efeméride. (PROCISUR/IICA, 2006)

Según Huerta et al. (2005), está integrado por una Estación de Control Maestra (MCS), varias Estaciones de Monitoreo (MS) y Antenas Terrestres (GA); y las funciones principales del segmento de control,

denominado internacionalmente con las siglas OCS (Operational Control Segment) son:

- Monitoreo y control permanente de los satélites con el objeto de determinar y predecir las órbitas y los relojes de a bordo.
- Sincronización de los relojes de los satélites con el tiempo GPS □ Transmisión, a cada satélite, de la información procesada.

*Figura 6: ESTACIONES DE CONTROL*



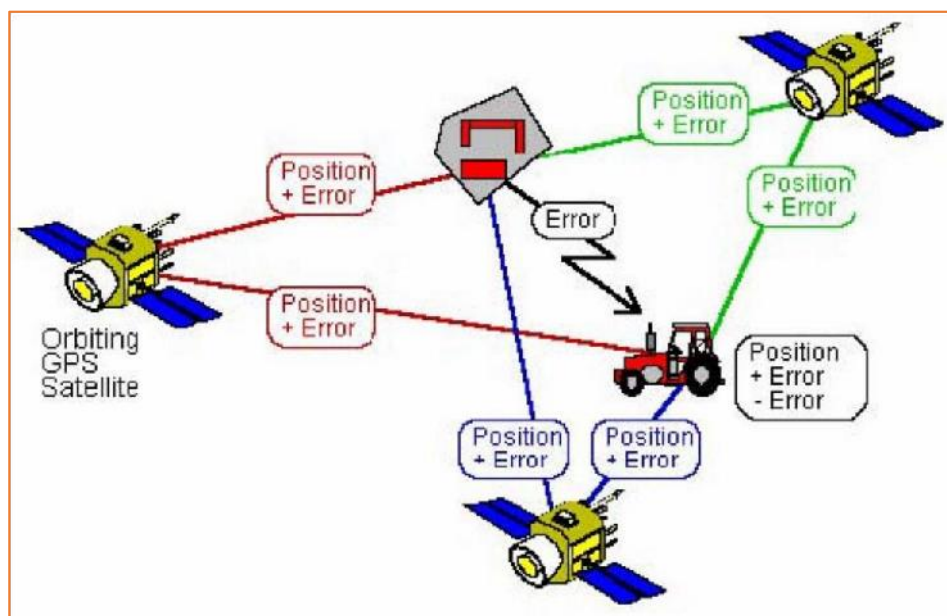
Fuente: [www.fceia.unr.edu.ar/gps/GGSR/libro\\_gps.pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/gps/GGSR/libro_gps.pdf)

### **El segmento de usuarios**

Está constituido por los instrumentos utilizados para recepcionar y procesar la señal emitida por los satélites. Estos instrumentos están integrados esencialmente por una antena, una sección de radiofrecuencia, un microprocesador, una unidad de control y monitoreo (CDU), unidades de almacenamiento de información y una fuente de energía. Un equipo complementario es usado, en ocasiones, para transferir datos entre receptores (Huerta et al., 2005).

Para determinar una posición espacial, es necesarios que los tres segmentos se relacionen mediante los siguientes pasos: 1) Triangulación de los satélites; 2) Medición de distancias a los satélites; 3) Control del tiempo; 4) Determinación de la posición de los satélites; y 5) Corrección de errores. (PROCISUR/IICA, 2006)

**Figura 7: USO DEL GPS MEDIANTE TRIANGULACIÓN PARA UN TRACTOR AGRÍCOLA**



Fuente: [www.researchgate.net/publication/228425520](http://www.researchgate.net/publication/228425520)

Los satélites procesan los datos que permiten conocer su ubicación exacta y con relación a los otros satélites de la red. Cuando se enciende un receptor GPS portátil y se apunta la antena hacia el cielo, se reciben las señales de los satélites (el receptor GPS no emite ninguna señal, solo las recibe), empezando por las más fuertes, de manera que puede empezar a calcular la distancia exacta hasta ese satélite, así como saber dónde buscar los demás satélites en el espacio. Una vez que el receptor GPS ha captado la señal de por lo menos tres satélites, entonces puede calcular su propia posición en la tierra. Esa es la información que presenta en la pantalla como Longitud y Latitud. Si un cuarto satélite es captado, esto proporciona precisión a los

cálculos y se muestra también la Altitud calculada en pantalla. (García & Flego, 2005)

### **GPS Diferencial**

Los errores reducen la precisión del GPS, resultando en un error de entre 5 y 20 m (previo a la eliminación de la disponibilidad selectiva el error ascendía hasta los 100 m). Esto puede resultar útil para algunas actividades, pero no para algunos usos en la agricultura por la precisión que se requiere en las posiciones. Por ende, se requiere un método para mejorar sustancialmente la precisión. El método más usado hoy en día es la corrección diferencial (DGPS Sistema de Posicionamiento Global Diferencial) (Ezcaray Borda, 2012).

El DGPS o GPS diferencial, es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones de los datos recibidos de los satélites GPS, con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada. (Giménez Rodríguez & Ros Bernabeu, 2009).

Es necesario utilizar dos receptores para corregir los datos diferencialmente. Uno de estos receptores debe ser instalado sobre un punto de coordenada conocida y configurado como base, mientras que otro operará como móvil, para realizar el registro propiamente dicho (IICA/ PROCISUR, 2014). El receptor GPS fijo en tierra (referencia) que conoce exactamente su posición basándose en otras técnicas, recibe la posición dada por el sistema GPS, y puede calcular los errores producidos por el sistema GPS, comparándola con la suya, conocida de antemano. Este receptor transmite la corrección de errores a los receptores próximos a él, y así estos pueden, a su vez, corregir también los errores producidos por el sistema dentro del área de cobertura de transmisión de señales del equipo GPS de referencia (Giménez Rodríguez et. al., 2009).

### **Equipos que dependen de un GPS diferencial (DGPS)**



Los equipos de Agricultura de Precisión que utilizan GPS diferencial para su correcta operación se pueden diferenciar en dos tipos: aquellos que permiten realizar monitoreo de parámetros productivos, tales como monitores de rendimiento, de calidad y de contenido otros equipos de aplicación variable, que permiten la aplicación de productos en forma diferencial, es decir, que consideran la variabilidad espacial de los requerimientos del cultivo (agua, fertilizantes) o de plagas y enfermedades (insecticidas, fungicidas) (PROCISUR/IICA, 2006).

#### **2.4.2. EL GPS EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

Una vez entendida la funcionalidad del GPS, se pueden imaginar diversas aplicaciones en diferentes sectores de las actividades económicas (IICA/PROCISUR, 2014). Un buen ejemplo de las capacidades del sistema GPS es su uso en Agricultura de precisión, ya que la captura de datos en terreno para aplicar esta tecnología depende en forma crítica de la componente espacial, y por ende de coordenadas GPS, que por la precisión y exactitud que se requiere deben ser obtenidas mediante señales obtenidas en forma diferencial. Entonces toda la información que se genera en el terreno está siempre georeferenciada para su correcta ubicación dentro de la finca (PROCISUR/IICA, 2006).

*Figura 8: GPS PARA USO AGRÍCOLA*



*Fuente: [www.eveliosuero.com/gps-agricola-para-tractores/](http://www.eveliosuero.com/gps-agricola-para-tractores/)*

Según el Manual de Agricultura de Precisión de IICA/ PROCISUR (2014), los principales usos del GPS en la agricultura son en el relevamiento planialtimétrico, en la dirección de máquinas agrícolas, en el georeferenciamiento de parámetros de suelo y planta (humedad, fertilidad, conductividad eléctrica, abonado diferencial, área foliar, presencia de plagas o enfermedades etc.) y en el banderilleo satelital. Sobre la base de esta información, posteriormente, se tomarán las decisiones de aplicación de tasas variable de semillas, fertilizantes o pesticidas.

### **El GPS en el relevamiento planialtimétrico**

El GPS, debido a su facilidad operacional, ha sido bastante utilizado para delimitar áreas en el establecimiento rural. Incluso los aparatos menos precisos, como los de navegación, son utilizados para ese fin. Sin embargo, debido a los errores que presentan este tipo de aparatos, los mapas planimétricos que realizan deben utilizarse en forma restringida a decisiones administrativas de la propiedad rural como, por ejemplo, estimar la cantidad de insumos a ser transportados para una determinada área. Para su uso fuera del contexto administrativo de la propiedad rural, se deben utilizar aparatos

de mayor precisión que sigan las legislaciones pertinentes de cada país.  
(IICA/

PROCISUR, 2014)

### **El GPS en la dirección de máquinas agrícolas**

Es conocido el uso del GPS para auxilio de la dirección de máquinas agrícolas en el momento de la distribución de insumos en área (dirección con auxilio de barras de luces), o incluso en la completa automatización de esta operación (pilotos automáticos) (IICA/ PROCISUR, 2014). La principal ventaja del uso del piloto automático en la agricultura es mantener la eficiencia, productividad y seguridad al mismo nivel a lo largo de toda la jornada laboral; reduce notablemente la fatiga del operario; se logran cultivos más prolijos, los cuales permiten un mejor tratamiento a lo largo de sus ciclos logrando aplicaciones fitosanitarias y cosechas de mayor eficiencia y menos pérdidas (Scaramuzza, Villaroel, & Velez, Sistemas de Corrección Diferencial de la Señal GPS, Según Labores Agrícolas., 2017).

### **El GPS en el georeferenciamiento de parámetros de suelo y planta**

De acuerdo al Manual de Agricultura de Precisión (2014), con la disponibilidad del uso del GPS a partir de la década de 1990, se inició una revolución en el manejo de la producción agrícola, comparando la eficiencia del uso de los insumos en las prácticas de manejo de la producción agrícola, comparando la eficiencia del uso de los insumos en las prácticas de manejo por el rendimiento promedio con el manejo por ambiente (sitio-específico). De esta manera se proponen diversas técnicas dónde se realizan intervenciones en la agricultura, basados en el georeferenciamiento de las propiedades físico-químicas del suelo, de la nutrición de la planta y de ataque de plagas y enfermedades.

### **El GPS en el Banderillero Satelital**

Es un sistema guiado por GPS, usado para que el equipamiento siga una trayectoria determinada en el mapa de aplicación. Permite trabajar en líneas rectas o curvas, orienta al operador para permanecer sobre una línea de aplicación predeterminada, a través de aviso sonoro e indicación en la pantalla. Cuando el operador se sale de la línea predeterminada, la pantalla indica el desvió o error, y emite un sonido característico de error para cada lado de la línea. Se puede instalar en cualquier unidad con cabina que posea alimentación de 12 voltios, puede ser tractor, pulverizador o cosechadora. (García & Flego, 2005)

Los sistemas de guía satelital son utilizados en pulverizaciones, fertilización o en sembradoras, básicamente todos los programas de banderilleo satelital cuenta con las mismas funciones para la aplicación y uso a campo, los cuales son muy completos y contemplan todas las situaciones que se puedan presentar durante el trabajo. Considerando el costo del agroquímico o bien el daño por un mal control ocasionado por solapamiento o áreas sin aplicar, sumado al efecto de fitotoxicidad por sobredosis, indican la necesidad de marcadores eficientes (PROCISUR/IICA, 2006).

Según García & Flego (2005), los principales usos del banderillero satelital son: pulverización, apertura de surcos, aplicación de fertilizantes, cultivo, marcación de líneas para plantaciones en áreas extensas, contabilización de líneas durante las maniobras en cultivos ya plantados y preparación de suelos.

Según García & Flego (2005), los principales beneficios del banderillero satelital son:

- Aumentar el rendimiento de la maquinaria.
- Reducir solapamientos y evitar dejar zonas sin trabajar en las pasadas sucesivas.
- Aumentar la duración de la jornada permitiendo trabajar con precisión aún durante la noche.
- Ayuda a reducir la fatiga del operador.

- Elimina los marcadores de espuma.
- Permite al operador controlar más de cerca el funcionamiento del implemento o pulverizador.
- Aplicación más racional de productos químicos.
- Permite trabajar a velocidades más altas, cubriendo más superficie con menores costos.
- Facilita la operación, especialmente en labores de difícil orientación.

### **2.4.3. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)**

#### **Definición:**

El Sistema de Información Geográfica (SIG) es un programa de ordenador pensado para almacenar, recuperar, analizar y mostrar datos cartográficos. En SIG, los datos acerca de la superficie de la tierra no se presentan como un dibujo, como sucede en los mapas convencionales, sino como información o datos. Estos datos de SIG contienen toda la información espacial de un mapa convencional, pero con la ventaja de ser mucho más flexibles a la hora de representarlos, permitiendo además la obtención de nuevos mapas a partir de datos ya existentes (García & Flego, 2005).

Es una integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión (Fuster y Gónzales,

2009, citado por Méndez Ángel, 2016)

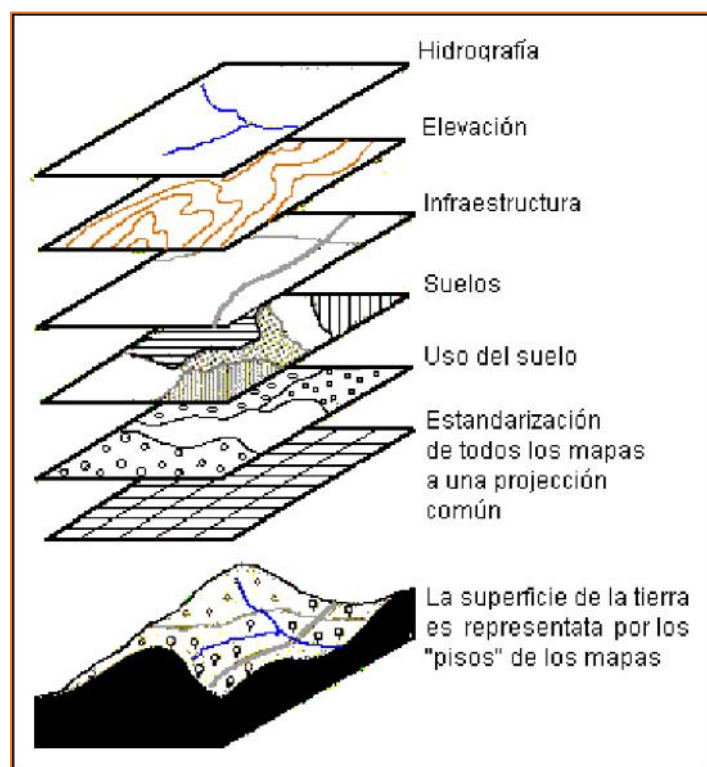
El SIG es un software compuesto por varios módulos dedicados al almacenamiento y procesamiento de datos con localización geográfica conocida (geoprocesamiento) que posibilita el análisis de patrones, integración y modelos espaciales, monitoreo, simulación de precisiones y presentación de gran cantidad de información en forma de mapas, gráficos, figuras y sistemas multimedia (IICA/ PROCISUR, 2014).

Según Alonso Sarría (2000), citado por Alámo Romero (2003), podríamos considerar, en sentido amplio, que un SIG está constituido por:

1. Bases de datos espaciales en las que la realidad se codifica mediante unos modelos de datos específicos.
2. Bases de datos temáticas cuya vinculación con la base de datos cartográfica permite asignar a cada punto, línea o área del territorio unos valores temáticos.
3. Conjunto de herramientas que permiten manejar estas bases de datos de forma útil para diversos propósitos de investigación, docencia o gestión.
4. Conjunto de ordenadores y periféricos de entrada y salida que constituyen el soporte físico del SIG. Estos incluyen tanto el programa de gestión de SIG como otros programas de apoyo.
5. Comunidad de usuarios que pueda demandar información espacial.

El mayor logro de GIS es que todos los datos espaciales se almacenan de forma estructurada, en una base de datos espacial. La propia estructura de esta base de datos determinará la sencillez en el manejo del programa. (García & Flego, 2005)

**Figura 9: CAPAS DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**



*Fuente: FAO, 1999.*

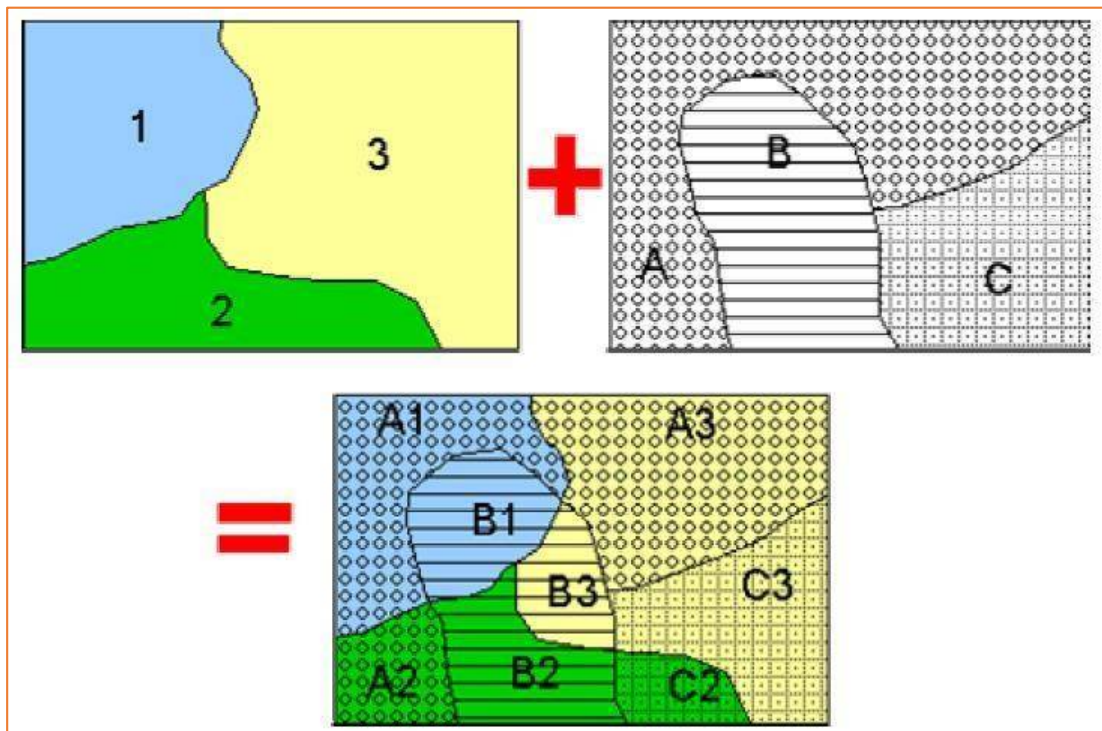
El SIG permite integrar datos de diversas áreas de conocimiento con diferentes niveles de detalle, lo que permite un enfoque holístico o multidisciplinario en el estudio del área geográfica de interés. Para que esto sea posible, es necesario que toda la información esté organizada en capas o coberturas de información (layers), cada una de las cuales tiene una característica topográfica particular y representada por un conjunto de archivos digitales diferentes, pero cubriendo todas las capas la misma área geográfica y considerando, preferencialmente, el mismo sistema de proyección cartográfica (IICA/ PROCISUR, 2014). Es decir, habrá una capa para los ríos, otra para vegetación, para asentamientos humanos, facilitando el acceso a datos concretos (García & Flego, 2005).

Según el Manual de Agricultura de Precisión de IICA/ PROCISUR (2014), el SIG permite obtener una gran cantidad de información de distinto tipo, tratarla para convertirla en conjuntos de datos compatibles, combinarlos y exponer

los resultados sobre un mapa. Algunas de las operaciones estándar del SIG son:

- Integración de mapas trazados a escalas diferentes, o con proyecciones o leyendas distintas.
- Cambios de escala, proyecciones, leyenda, inscripciones, etc., en los mapas.
- Superposición de distintos tipos de mapas de una determinada zona para formar un nuevo mapa en el que se incluyen los datos descriptivos de cada uno de los mapas. Por ejemplo, un mapa de vegetación podría superponerse sobre un mapa de suelos, tal como aparece en la Figura 10. Éste a su vez podría colocarse sobre un mapa donde figure la duración del periodo vegetativo a fin de conseguir un mapa de idoneidad de la tierra para un determinado cultivo.

*Figura 10: SUPERPOSICIÓN DE CAPAS*



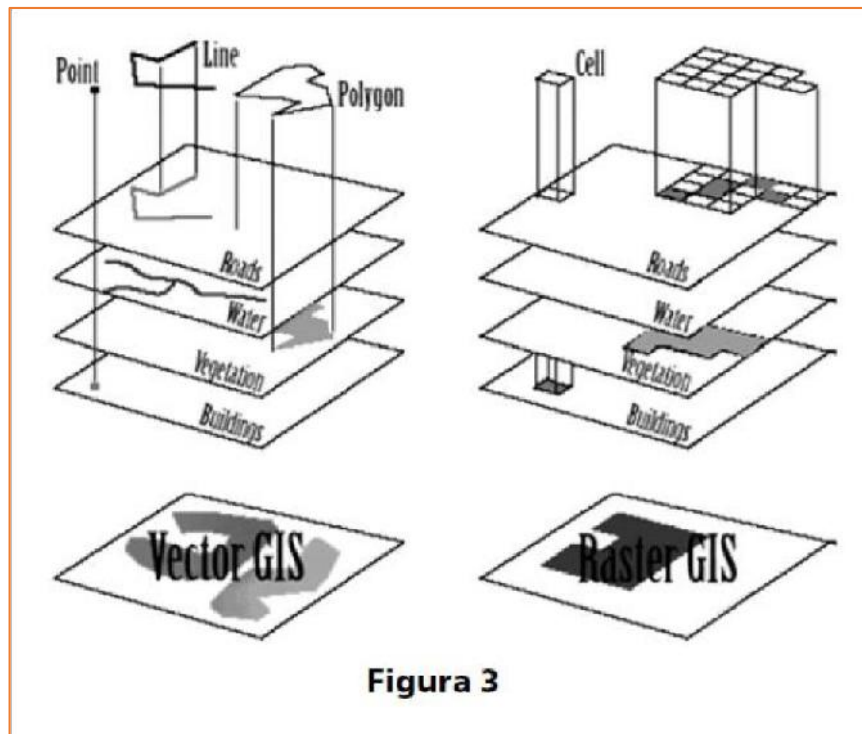
*Fuente: FAO 1999.*

**Organización de Datos con Sistemas de Información Geográfica.**



Gis utiliza dos modos de representación de los datos: modo vector (vector files) y modo matricial o de rastreo (raster files o raster datasets).

*Figura 11: MODOS DE REPRESENTACIÓN DE DATOS EN SIG*



*Fuente: Agricultura de Precisión, Emiliano García y Fernando Flego, 2005.*

### **Modo vector**

Se considera que todas las características de la superficie de la tierra se pueden interpretar como un punto, línea o polígono. Cada característica almacenada en la base de datos de GIS debe estar especificada por su localización en la superficie de la tierra, y mantener relación espacial con el resto de características que le rodean. Este modo se prefiere en aplicaciones urbanas (García & Flego, 2005)

Como ejemplos de mapas de puntos cabe citar el mapeo de la localización geográfica de áreas de recolección de muestras en el campo, de bebederos de animales, de estaciones meteorológicas, de registro de

crecimiento de una determinada especie, de focos de incendios, de postes de energía eléctrica, entre muchos otros. Los trazos que pueden representarse por líneas son: arroyos, ríos de margen simple, caminos captados vía receptores GPS, carreteras, autopistas, filas de cultivos agrícolas, canales de riego, líneas de transmisión, desplazamiento de animales, desplazamiento de materiales, etc. Características que pueden representarse a través de polígonos son: lagunas, represas, límites municipales, estatales o de países, propiedades rurales, haciendas, parcelas plantadas, sub divisiones de áreas de producción agrícola, etc. Algunas características pueden ser representadas por más de un trazo, pero esto depende de la escala o del nivel de detalle del mapa. (IICA/ PROCISUR, 2014)

### **Modo rastreo**

Es el preferido a la hora de trabajar con imágenes digitalizadas, datos remotos y análisis estadístico. En este modo se almacenan los datos en celdas (o píxeles), determinados según una rejilla, generalizando así la localización de características a una matriz regular de celdas. (García & Flego, 2005)

Cada píxel, además de un par de coordenadas geográficas, tiene asociado un valor referente al atributo representado, como por ejemplo: los valores de reflectancia de una imagen satelital, las clases de cobertura vegetal, los tipos de uso del suelo, la aptitud agrícola para un determinado cultivo, la cantidad de fertilizante utilizada, la productividad por hectárea, entre muchos otros. (IICA/ PROCISUR, 2014)

Según el Manual de Agricultura de Precisión de IICA/ PROCISUR (2014), los programas de SIG deben ser capaces de convertir archivos de formato vectorial para matricial y viceversa. Siempre es preferible realizar este proceso en el sentido vectorial-matricial y no en el sentido matricial-vectorial, porque en este último caso, generalmente, pueden ocurrir pérdidas de datos ya que, en el momento de convertir un punto para un píxel, por menor que

sea el tamaño del píxel resultante, se pierde una característica puntual. Lo mismo ocurre con datos anteriormente representados por líneas finas.

#### **2.4.4. EL SIG EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

El uso del GPS en la agricultura, por sí solo no constituye a la Agricultura de Precisión, se requiere de un sistema que permita el acceso a toda esa información recopilada de un modo organizado, el manejo de los datos y análisis de los mismos, facilitando su interpretación y la toma de decisiones (Méndez Ángel, 2016).

Es reconocida la importancia del SIG en la organización e integración espacial de informaciones de diferentes naturalezas, tornando posible relacionar con gran practicidad y relativa precisión una inmensa cantidad de datos, realizar cambios de escala y de proyección cartográfica, y relacionar bases de datos multidisciplinarios, lo cual facilita la solución de problemas reales y concretos, así como la gestión adecuada del espacio geográfico; permitiendo construir modelos del mundo real a partir de las bases de datos digitales y utilizar esos modelos para simular el efecto de un proceso específico en el tiempo para un determinado escenario (Álamo Romero, 2003). Así mismo, las soluciones para muchos problemas, frecuentemente requieren acceso a varios tipos de información que sólo pueden ser relacionadas por geografía o por distribución espacial. Sólo la tecnología SIG permite almacenar y manipular información usando geografía para analizar patrones, relaciones y tendencias en la información, todo tiende a contribuir a tomar mejores decisiones. (PROCISUR/IICA, 2006)

La aplicación de técnicas de geoprocésamiento para el mapeo de la variabilidad espacial de las áreas de producción agrícola representa una herramienta potente para el gerenciamiento de los sistemas de producción, ya que contribuyen a la toma de decisiones para la intervención futura en áreas de baja productividad (como por ejemplo elegir el cultivo que más se adapte, mejorar las condiciones físicas del suelo para reducir su compactación, recomendar determinadas dosis de aplicación de fertilizantes, etc.) (Mantovani et al. 2004, citado por IICA/ PROCISUR, 2014).

La representación espacial de datos sobre el área de producción ha contribuido significativamente para la toma de decisiones y esfuerzos para manejar adecuadamente esas áreas, ya que se apunta a producir y obtener información que favorezca el gerenciamiento adecuado de insumos y busca la forma de solucionar o mitigar conjuntamente cuestiones de tipo ambiental, social y económico. En este sentido, la aplicación de técnicas de geoprocusamiento utilizando sistemas de información geográfica se ha transformado en una alternativa esencial para la integración espacial de los datos multidisciplinarios a ser considerados. (IICA/ PROCISUR, 2014)

Una vez que la información es cargada a un SIG, se genera una base de datos que puede compartirse rápidamente mediante formatos de intercambio comunes o por internet.

**Figura 12: LOS SIG EN LA AGRICULTURA**



*Fuente: [www.agroconsultasplus.com](http://www.agroconsultasplus.com)*

#### **2.4.5. MONITORES DE RENDIMIENTO**

Un monitor de rendimiento es un sistema que recoge la información procedente de distintos sensores y gracias a un software calcula el rendimiento de un cultivo en el tiempo y en el espacio, basándose en la

información de localización de cada parcela proporcionada por el sistema de localización por satélite GPS. El resultado se presenta en un mapa gráfico. El monitor de rendimiento también estima y graba el contenido de humedad y la cantidad de grano de cada sitio.

El rendimiento, ya sea base “seca” o base “humedad”, se calcula como la cantidad de grano de cada sitio dividida por el área de ese sitio de cosecha en particular (García & Flego, 2005). Los monitores de rendimiento han sido diseñados con el objetivo de recolectar datos para su posterior análisis, el sistema guarda registros de: campos, variedades, descargas, tiempos (PROCISUR/IICA, 2006).

La cosecha con monitor de rendimiento no termina con el registro de datos en sí misma, sino que una vez almacenados en la tarjeta, es de suma importancia poder observar los valores de rendimiento en un mapa. Para realizar esta última tarea existen varios programas que permiten “leer” el mapa de rendimiento, agrupados en dos tipos: los específicos, desarrollados por las mismas empresas que proveen los monitores, que en general sólo leen los datos de su monitor; y los generales, que son aquellos que permiten leer datos de varios tipos de monitores y poseen potentes herramientas de análisis. La causa de por qué no todos los programas leen todas las extensiones para realizar los mapas de rendimiento, es que no todos hablan el mismo lenguaje con el cual se almacenó el dato. (PROCISUR/IICA, 2006)

*Figura 13: MONITORES DE RENDIMIENTO MÁS DIFUNDIDOS*



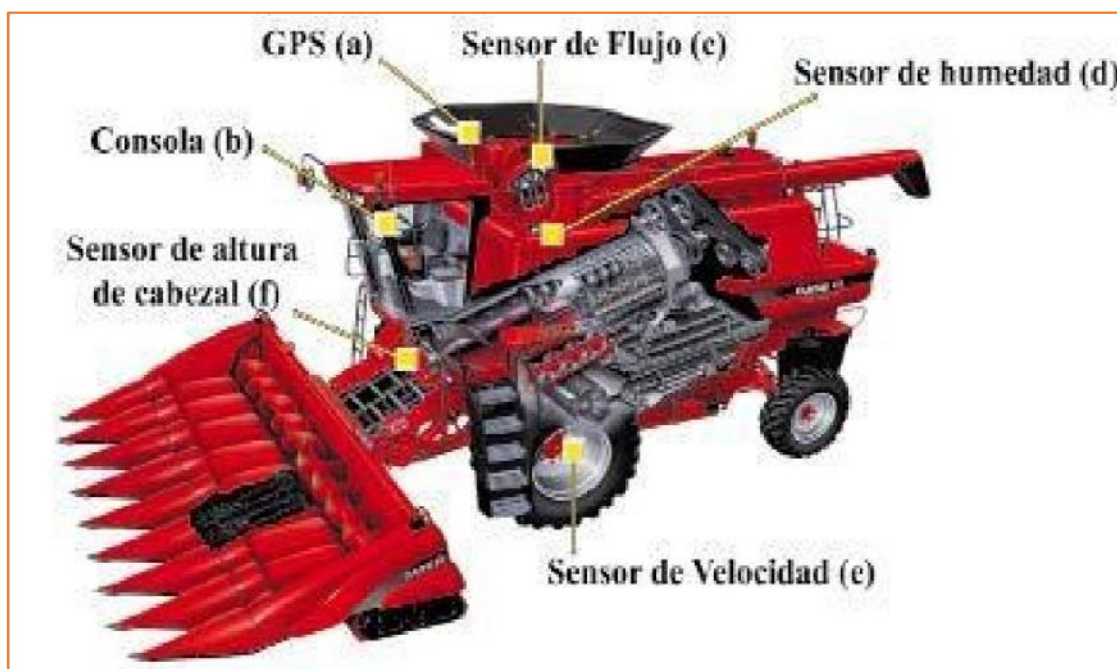
*Fuente: PROCISUR/ IICA, 2006*

Según García & Flego (2005), Todos los monitores de rendimiento que se usen para recoger datos, para crear un mapa de rendimiento, necesitan los siguientes componentes básicos:

1. **Sensores de flujo de grano**, se ubica en la noria de la cosechadora (Figura 14c) y determina la cantidad de grano que ingresa a la tolva.
2. **Sensores de humedad del grano**, normalmente se ubica en el elevador de grano. Es un sensor de capacitancia que mide las propiedades dieléctricas del grano que fluye entre placas metálicas (Figura 14d).
3. **Sensores de velocidad de avance**, puede medirse mediante un sensor magnético que mide las vueltas de las ruedas delanteras de la cosechadora o usando un radar (Figura 14e).
4. **Switch de posición del cabezal**, cuando el cabezal está en posición de cosecha el sensor activa el registro de datos, cuando se levanta el cabezal el sensor detiene el registro de datos (Figura 14f).
5. **Consola del Monitor**, (Figura 14b).
6. **Antena GPS o DGPS**, (Figura 14a).

*Figura 14: COSECHADORA EQUIPADA CON MONITOR DE RENDIMIENTO.*

## UBICACIÓN DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL Y SENSORES



*Fuente: Manual de Agricultura de Precisión. IICA/ PROCISUR, 2014*

### **Calibración de los monitores de rendimiento**

Según IICA/ PROCISUR (2014), la calibración se realiza para garantizar que los datos registrados sean precisos y representen de manera confiable las variaciones del rendimiento del cultivo y debe realizarse para cada cultivo o ante cambios predecibles en las condiciones de cosecha (por ejemplo: variaciones en el peso hectolítrico y la humedad), es así que las calibraciones que se deben realizar son las siguientes:

- ✓ Calibraciones previas a la cosecha.
- ✓ Calibración del sensor de altura del cabezal.
- ✓ Calibración del peso del grano.

### **2.4.6. EL MONITOR DE RENDIMIENTO EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

El monitor de rendimiento colocado en las cosechadoras y conectado a un posicionador en tiempo real DGPS, constituye una herramienta que permite crear mapas de rendimiento a color que reflejan la variabilidad espacial de rendimiento en los lotes o bien marcar en forma clara los factores de manejo

y su respuesta en el rendimiento. El mapa de rendimiento es la representación gráfica de una serie de datos geoposicionados de rendimiento y humedad de grano obtenidos mediante la utilización de una cosechadora equipada con monitor de rendimiento y un receptor DGPS (Bragachini, Von Martini, & Méndez, Alcances y Precisión de los Monitores de Rendimiento, 2000).

El monitor es utilizado para conocer el rendimiento de diferentes híbridos, variedades, dosis de fertilización, diferencias de rendimiento por distintas velocidades de siembra, localización del fertilizante, diversas fuentes de fertilización, distintos espaciamientos entre surcos en soja, tratamientos de fungicidas para roya de soja o bien, diferente grado de incidencia de plagas y enfermedades. Todas estas virtudes las brinda el sólo hecho de poseer un monitor de rendimiento en una cosechadora. Por otra parte, si el objetivo es conocer la variabilidad de los lotes que se trabajan y se aspira a manejarlo sembrando y fertilizando específicamente según la potencialidad de los ambientes, entonces el monitor pasa a ser un delimitador de zonas, donde podemos conocer, además del área que ocupa una zona, su rendimiento real para cada cultivo, año en particular, etc., y con esta información empezar a correlacionar al rendimiento con características físicas y químicas del suelo, o con distintos manejos anteriores, como rotaciones, fertilizaciones, etc. (PROCISUR/IICA, 2006)

Según García & Flego (2005), las principales ventajas del monitor de rendimiento son:

- Mejor administración de lo que está siendo cosechado.
- Si hubiera algún desvío en el rendimiento instantáneo, el operador puede proceder inmediatamente a realizar los ajustes necesarios a la máquina.



- Totalización de la cantidad recolectada en cada lote, pudiéndose comparar los datos con los de la balanza.
- Conocimiento exacto de que está siendo recogido por la cosechadora en el campo.

#### **2.4.7. PERCEPCIÓN REMOTA**

Es la ciencia y el arte de obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de datos obtenidos con un aparato (sensor remoto) que no está en contacto físico con ese objeto, área o fenómeno bajo estudio. El sensor remoto puede estar a pocos centímetros o a varios kilómetros, dependiendo de sistema usado y de la información deseada. Por ejemplo: sensor de nitrógeno, fotografías aéreas, imágenes satelitales, etc. (García & Flego, 2005)

Los datos producidos por la percepción remota no son útiles al productor de forma cruda. Se necesita procesar los datos e imágenes. Los datos de percepción remota son casi siempre recolectados por alguien ajeno al productor. Es importante que el productor comprenda el potencial del uso de los datos de PR como una herramienta de manejo. La recolección, procesamiento, análisis y validación en el terreno son pasos necesarios para que los datos de PR puedan transformarse en información útil en la toma de decisiones en el campo (Martini, Bragachini, Bianchini, Martellotto, & Méndez, 2015).

#### **Sistemas sensores**

Los equipos que permiten cuantificar la radiación electromagnética son genéricamente denominados radiómetros (radio = radiación y metro = medida). En el campo de la percepción remota, una palabra que sustituye bien el término radiómetro es el sensor. Se lo puede definir como el dispositivo capaz de detectar y registrar la radiación electromagnética en determinada banda del espectro electromagnético, así como de generar informaciones que

pueden transformarse en un producto pasible de interpretación, sea en forma de imagen, de gráfico o de cualquier otro producto. Los sistemas sensores están formados básicamente por una parte óptica (colector), constituida por lentes y espejos, que tiene por objetivo captar y dirigir la energía proveniente de los elementos hacia los detectores. (PROCISUR/IICA, 2006)

De acuerdo al nivel de recolección de la radiación, los sistemas sensores pueden ser: terrestre, suborbital y orbital.

### ***Sistemas sensores a nivel terrestre:***

Son usados para obtener datos de la radiación reflejada y/o emitida por los elementos de la superficie terrestre es, sin duda, muy importante para entender el comportamiento espectral de esos elementos. Por ejemplo, la radiometría de campo se usa mucho en los estudios que relacionan comportamiento espectral con anomalías de la planta provocadas por estrés, como puede ser deficiencia de nutrientes. También, se emplea mucho en investigaciones sobre estimación de parámetros biofísicos usados en modelos de crecimiento de cultivo, como es el caso del índice de área foliar (PROCISUR/IICA, 2006).

### ***Sistemas sensores a nivel suborbital:***

La percepción remota a nivel suborbital tiene como plataforma, generalmente, a las aeronaves tripuladas. En este caso, el sensor más importante, operacionalmente, es la cámara fotográfica. Además de las cámaras fotográficas, en las aeronaves se pueden instalar otros tipos de sensores como los espectrómetros de imágenes hiperespectrales (instrumentos con capacidad de obtener una imagen en varias bandas espectrales) y las cámaras de video (PROCISUR/IICA, 2006).

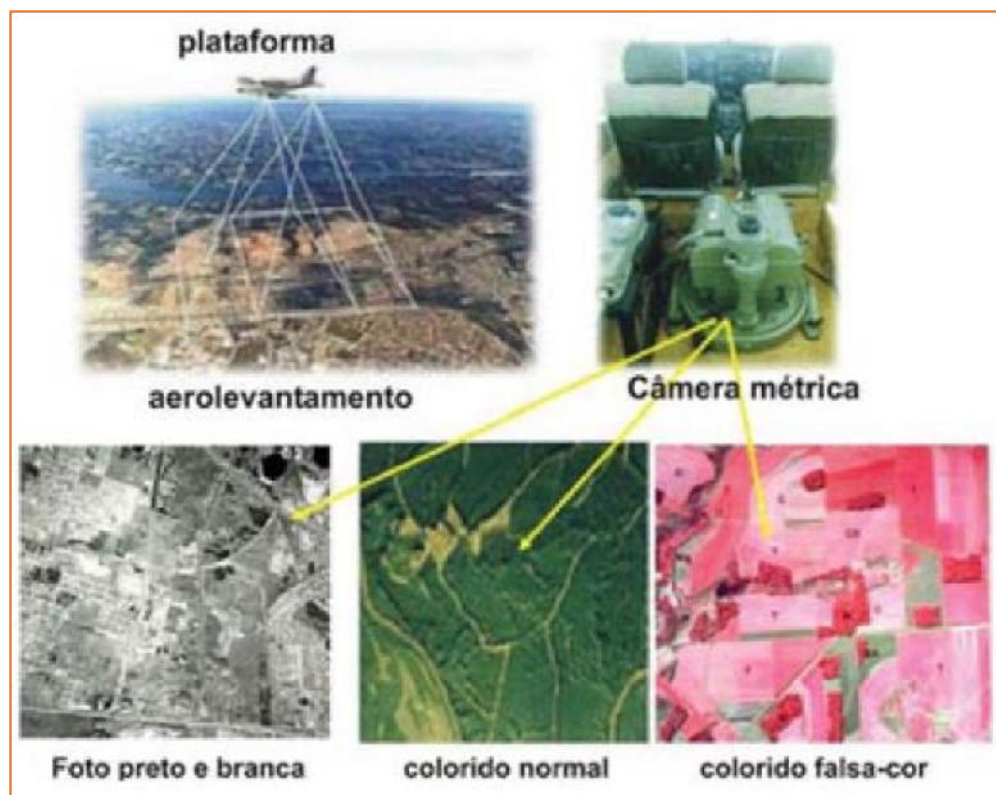
### ***Sistemas sensores a nivel orbital:***

En el nivel orbital están los sistemas sensores a bordo de satélites, que pueden tener diferentes configuraciones y operar en distintas bandas del espectro electromagnético (PROCISUR/IICA, 2006).

Según la forma de recolectar y registrar la radiación se los puede clasificar en fotográficos y no-fotográficos.

**Figura 15: SISTEMA DE AERO-RELEVAMIENTO Y EJEMPLOS DE FOTOGRAFÍAS**

#### **AÉREAS**



*Fuente: Agricultura de Precisión, PROCISUR/ IICA, 2006*

#### **Sensores fotográficos:**

Los sensores fotográficos están compuestos por un sistema óptico (conjunto de lentes) que registra la energía reflejada por los elementos de la superficie de la Tierra en una película fotosensible, o sea, el detector tradicionalmente llamado film fotográfico. En la percepción remota, los sistemas fotográficos más utilizados son las cámaras métricas. Con estos sistemas se obtienen las fotografías aéreas que pueden ser pancromáticas (blanco/ negro) o en color (normal o falso-color), según se ilustra en la Figura 15. (PROCISUR/IICA, 2006)

### ***Sensores no fotográficos***

Son sistemas cuyos detectores son uniones metálicas que sustituyen las películas fotográficas. La gran ventaja de estos sensores es que no es necesario sustituir el film como en las cámaras fotográficas. Normalmente, son categorizados en función de la región espectral en la que operan. Epiphânio (1989), comenta que esa categorización es necesaria, porque cada sensor tiene características ópticas y de detección propias. Cuando se trata de sensores no-fotográficos se deben tener en cuenta cuatro características muy importantes para interpretar los datos que ellos obtienen, denominadas dominios de resolución: i) espectral; ii) espacial o geométrica; iii) radiométrica; y iv) temporal. Para el analista de datos de satélites es muy importante entender bien la resolución espectral y la espacial (PROCISUR/IICA, 2006).

#### **2.4.8. PERCEPCIÓN REMOTA EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN.**

La percepción remota ha ganado mucho interés como una herramienta potencial de manejo para agricultores de precisión. Imágenes de satélites o fotografías aéreas pueden permitir al productor ver rápidamente los cultivos en su campo y decidir cuales áreas necesitan un manejo posterior, sin dejar la comodidad de su hogar. La parte visual, como veremos más adelante, es fácil desde que está al alcance la tecnología para ver objetos desde grandes distancias. Sin embargo, interpretar lo que vemos y tomar decisiones sobre esas interpretaciones es todavía bastante complicado. Aunque la percepción remota ha sido usada en aplicaciones agronómicas desde la década de 1930, esta práctica sufre todavía un gran desarrollo como una herramienta de manejo para la producción vegetal. La percepción remota puede ser una alternativa interesante a los métodos tradicionales de estudio del campo, por la capacidad de cubrir grandes áreas rápida y repetidamente. Puede ser usado durante toda la estación de crecimiento, incluso cuando el contacto físico directo con los cultivos es difícil o le causaría daño. La percepción remota resulta a menudo en una información más oportuna de las condiciones

del cultivo. La detección temprana y el manejo anticipado de problemas pueden ayudar a prevenir pérdidas potenciales de cultivos, ya que, provee al productor los medios para identificar problemas potenciales antes que estos se vuelvan irreversibles en términos de rendimiento o calidad de la cosecha. (Martini, et. al., 2015)

## 2.5. MANEJO SITIO ESPECÍFICO Y TECNOLOGÍA DE DOSIS VARIABLE

El concepto de manejo sitio específico no es nuevo, pero nuevas herramientas de alta tecnología hacen más fácil manejar distintas áreas en los lotes de forma diferencial. Las tecnologías de precisión incluyen sistemas de posicionamiento global diferencial (DGPS), monitores de rendimiento, sistemas de información geográfica (SIG o GIS), software de computación, y tecnología de dosis variable (VRT) (Figura 16). Los muestreos intensivos de suelo y reconocimientos de campo completan el paquete tecnológico (Roberts, 2000).

**Figura 16: TECNOLOGÍAS Y PRÁCTICAS ASOCIADAS AL MANEJO SITIO ESPECÍFICO.**



**Fuente:** Manejo sitio específico de Nutrientes– Avances en Aplicaciones con Dosis Variable.

El manejo sitio específico, significa tratar áreas menores, dentro de lotes de una manera distinta a la que se manejaría el lote entero. El manejo sitio

específico reconoce e identifica variaciones en tipo de suelo, textura, color y productividad dentro de lotes, luego trata de manejar esa variabilidad en una escala mucho menor que en las prácticas normales. Incluye recolectar, interpretar y manejar gran cantidad de datos agronómicos detallados, de lugares precisos en los lotes en un intento de ajustar y mejorar la eficiencia de la producción de cultivos (Terry, 2000, citado por Méndez Ángel, 2016)). De acuerdo con Plant (2001) citado por Polak (2013), existen tres criterios básicos que deben cumplirse para justificar el manejo sitio-específico: a) la existencia de importante variabilidad espacial en factores que influyen la productividad de los cultivos; b) la identificación y cuantificación de las causas de la variabilidad de estos factores; c) el conocimiento científico-agronómico que permita utilizarla información recolectada para el logro de un beneficio productivo, económico o ambiental.

El manejo sitio específico mejora la rentabilidad al incrementar los rendimientos y reducir el costo de los insumos. Esto no implica tácitamente que se vayan utilizar menos insumos, sino más bien que se hace más eficiente su uso, obteniendo más rendimiento por unidad de superficie (Espinosa, 2016, citado por Méndez Ángel, 2016).

Las aplicaciones de insumos agrícolas por sitio específico se pueden implementar dividiendo un campo en zonas más pequeñas; que sean más homogéneas de factores limitantes del rendimiento, para los que se requiere de una dosis de insumo agrícola en específico (Doerge, 1998, citado por Méndez Ángel, 2016). Así el manejo sitio-específico en un campo puede ser diferente para los diferentes insumos. El manejo de un sitio, puede ser delimitado por más de un insumo agrícola. En este caso, se aplica una dosificación simple para cada insumo dentro del sitio (Kvien y Pocknee, 2000, citado por Méndez Ángel, 2016).

Un sistema de manejo sitio-específico exitoso será aquel en el que los factores limitantes para una óptima productividad y protección ambiental pueden ser identificados, caracterizados y manejados en las zonas y momentos apropiados. La productividad de los cultivos, la disponibilidad de

nutrientes y agua en el suelo, entre otros, son controlados por unos pocos procesos clave. La idea medular de la agricultura sitio-específica es, entonces, identificar estos procesos potencialmente limitantes y establecer para cada uno de ellos los indicadores más críticos para su caracterización (Vélez, Manejo Sitioespecífico, 2014).

Según Pagani (2013), las etapas del manejo sitio específico son: 1. Delimitación de las zonas de manejo, 2. Diagnóstico, y 3. Aplicación Variable.

*Figura 17: ETAPAS DEL MANEJO SITIO ESPECÍFICO*



*Fuente: Etapas del manejo sitio-específico (Pagani 2013)*

### **2.5.1. Zonas de Manejo**

La consideración de la variabilidad dentro de las chacras que permite delimitar diferentes ambientes productivos es una de las metas actuales de los agricultores innovadores. Ello posibilita manejar cada zona según sus características, en lugar de usar los promedios, tratando de maximizar la productividad y rentabilidad en algunos casos y en otros priorizar la sustentabilidad (Bragachini, 2007, citado por Polak, 2013).



Por su parte Terra et al. (2010) citado por Polak (2013), define las zonas de manejo como sub-áreas dentro de la chacra donde se deberían expresar combinaciones relativamente similares de factores determinantes del rendimiento donde es apropiado un manejo homogéneo del suelo y los cultivos.

El objetivo central de la agricultura de precisión es entonces, la obtención de zonas de manejo definidas por sus factores limitantes del rendimiento, para ser manejadas de acuerdo a sus propiedades intrínsecas. La estrategia general consiste en la identificación de zonas en las chacras que puedan ser delineadas, agrupadas y manejadas similarmente a los efectos de optimizar la aplicación de insumos y las medidas de manejo para maximizar los ingresos. Una de las principales ventajas de subdividir la chacra en zonas de manejo es que proporciona una herramienta práctica para esquematizar la distribución espacial de factores potencialmente limitantes del rendimiento en la chacra. (PROCISUR/IICA, 2006)

**Figura 18: DELIMITACIÓN DE AMBIENTES O ZONAS DE MANEJO EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN**



Fuente: [www.buscagro.com](http://www.buscagro.com)



Según Fraisse et al. (2001) y Plant et al. (2001) citados por PROCISUR/ IICA (2006), los principales requerimientos que las zonas de manejo deben cumplir para ser consideradas como tales son:

- a) la diferencia de rendimientos entre zonas de manejo debe ser mayor que las diferencias dentro de la zona; y
- b) los factores limitantes de rendimiento dentro de la zona deben ser los mismos.

Es importante mencionar que las zonas de manejo no implican necesariamente recomendaciones de manejo diferenciales entre ellas o que las mismas sirvan para todas las aplicaciones de agricultura de precisión. Es también reconocido que las zonas de manejo pueden ser bastantes diferentes dependiendo de las condiciones ambientales, el cultivo y el manejo de suelos utilizado. Por tanto, las zonas de manejo deberían ser analizadas, evaluadas y ajustadas en el tiempo, ya que las mismas no son necesariamente estáticas y posiblemente varíen ante cambios en las prácticas de manejo general de los productores. Pueden ser necesarios muchos años de datos para entender completamente las interacciones entre la variabilidad espacial y temporal en las propiedades de los suelos y la productividad de los cultivos. (PROCISUR/IICA, 2006)

Las zonas de manejo se crean mediante la evaluación de toda la información que está disponible para un campo como; las propiedades físicas del suelo, capacidad de gestión de los agricultores, potencial retorno de la aplicación del manejo de zonas, teniendo en cuenta que no se deben establecer normas para la creación de zonas de manejo. Por otra parte, el número de zonas de manejo de un campo puede variar de cero a muchos y está en función del tamaño del campo, variabilidad del campo y capacidad de los agricultores de variar el manejo, mientras que el tamaño mínimo está determinado por la capacidad del agricultor para la gestión diferenciada dentro de un campo y el tamaño máximo es fijado por los límites del terreno (Vélez, Manejo Sitioespecífico, 2014).

## 2.5.2. Diagnóstico

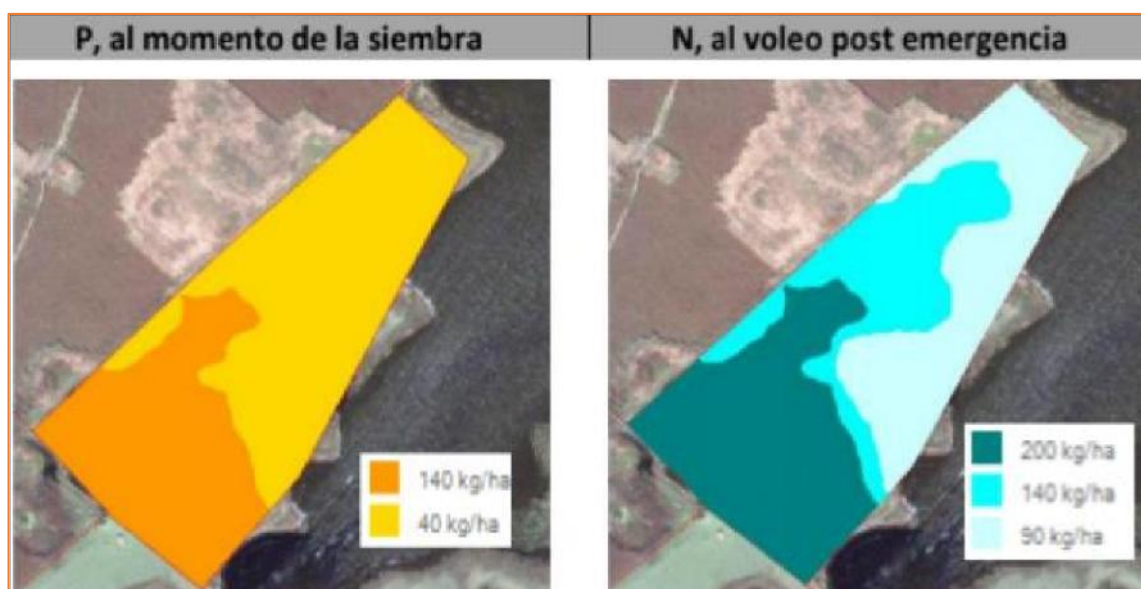
### Mapas de diagnósticos

Para los mapas de diagnóstico se utilizan métodos cartográficos para presentar los resultados de la evaluación de los suelos de una determinada región. Se delimita el área geográfica, además se efectúa una recopilación de toda la información existente de la zona. Inventario de recursos (suelo, clima, topografía, vegetación y uso del suelo). Se hace un estudio, análisis de interpretación de fotografías aéreas y manejo de mapas (Martínez, 2013, citado por Méndez Ángel, 2016).

### Mapas de prescripción

El mapa de prescripción es la clave para realizar una correcta aplicación selectiva de herbicidas y lograr el control deseado de las malezas presentes en el lote (Hernán, 2015, citado por Méndez Ángel, 2016).

*Figura 19: EJEMPLO DE MAPA DE PRESCRIPCIÓN DE FERTILIZANTE*



(Mapa de Prescripción de fertilizante al momento de la siembra y aplicación al voleo de nitrógeno post emergencia temprana, de un cultivo de maíz, año 2013, en el campo “La

Los mapas de prescripción se obtienen de imágenes aéreas georeferenciadas del lote, tomadas previamente, para reflejar la densidad de malezas real presente en el lote. La clave para describir adecuadamente la variabilidad de las propiedades químicas del suelo que limitan el rendimiento es la obtención de muestras espacialmente, dependientes para la interpolación y generación de mapas. A partir de estas imágenes y mediante el uso de un software GIS, se puede generar un mapa que nos permita delimitar las zonas afectadas por malezas. (Martínez, 2013, citado por Méndez Ángel, 2016)

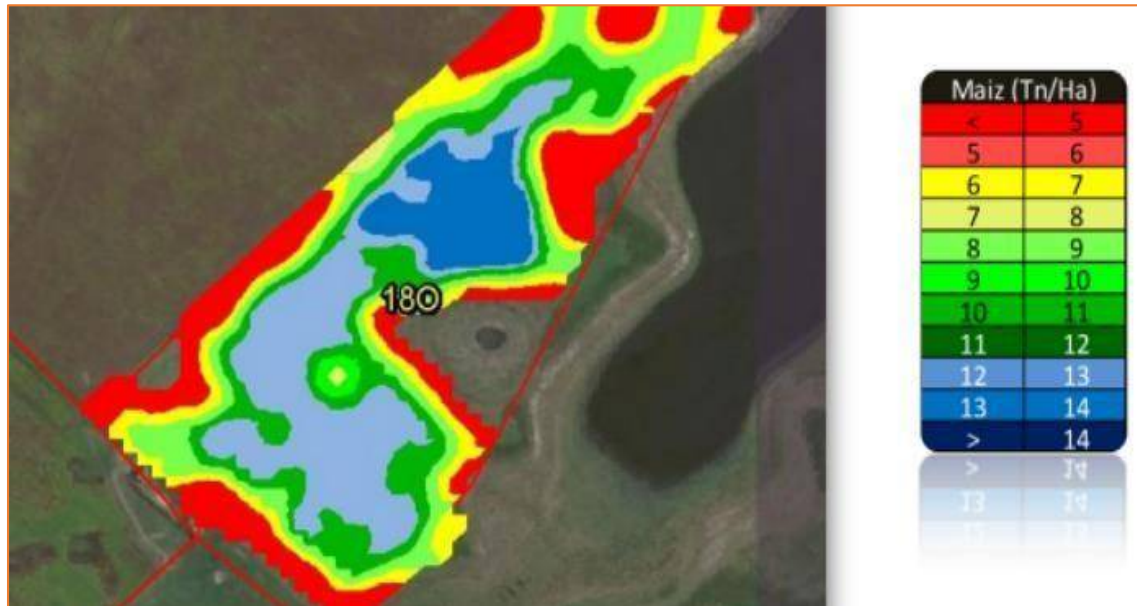
Agüera y Pérez (2013) citados por Méndez Ángel (2016), mencionan que la información que conforman los mapas de prescripción puede provenir de muchas fuentes (mapas de producción, sensores del terreno, del cultivo, etc.), es imposible manejar mediante sistemas tradicionales. En este caso son los ordenadores, mediante aplicaciones informáticas especiales denominadas SIG para la Agricultura (AgGIS), los que intervienen. Estas aplicaciones, además de almacenar ordenadamente toda la información, permiten su visualización, así como su tratamiento estadístico para el cruce de los distintos datos. La creación de una base de datos de cada parcela es una herramienta fundamental para optimizar la toma de decisiones en un sistema productivo agrícola. Estos datos generan capas de información tales como, propiedades químicas de los suelos, compactación, plagas y enfermedades, humedad, conductividad eléctrica, etc., y posteriormente serán utilizadas para la adecuada interpretación de la variabilidad espacial (dentro de la parcela) y temporal (entre años) de los rendimientos.

### **Mapas de rendimiento**

Es una representación gráfica de una serie de datos geo-posicionados de rendimiento y humedad de granos obtenidos mediante una cosechadora equipada con un monitor de rendimiento y un DGPS. (Amuchástegui, 1999, citado por Méndez Ángel, 2016).

La información obtenida por los sensores y el GPS, es centralizada y almacenada en una consola que sirve de interfaz con el usuario (Bragachini et al., 2006, citado por (IICA/ PROCISUR, 2014)).

**Figura 20: EJEMPLO DE UN MAPA DE RENDIMIENTO**



(Mapa de Rendimiento de un cultivo de maíz, que alcanzo un rendimiento promedio de 10.242 kg/ha, año 2013, en el campo “La Primera” de Bernardo Duggan S.A. - Lincoln, Buenos Aires.)

Fuente: (Duggan, 2014) de <http://site.geoagro.com/es/node/77>

El mapa de rendimiento produce información detallada de la productividad del campo y brinda parámetros para diagnosticar y corregir las causas de bajos rendimientos en algunas áreas del campo y/o estudiar las causas de bajos rendimientos en algunas áreas del campo y/o estudiar las causas por las cuales el rendimiento es más alto en algunas zonas del terreno. (García & Flego, 2005), por lo que los mapas de rendimiento son la mejor herramienta para la delineación de zonas de manejo (Bongiovanni et. al., 2006, citado por Méndez Ángel, 2016).

### 2.5.3. Tecnología de Dosis Variable

En agricultura de precisión existen dos aproximaciones para la aplicación variable de insumos. La primera de ellas se basa en el muestreo y mapeo de

los factores de producción a ser manejados en forma diferencial (fertilidad del suelo, malezas, etc.) y la posterior elaboración de mapas de prescripción para la aplicación variable de insumos (fertilizantes, herbicidas, etc.). La segunda aproximación es el sensoriamiento directo del suelo y/o el cultivo para la aplicación inmediata de los insumos en forma variable. El uso de una u otra dependerá del nivel tecnológico disponible y del costo de operación involucrado (INIA, 1999, citado por Méndez Ángel, 2016).

La tecnología de dosis variable es la herramienta que permite la implementación de decisiones de manejo sitio específico. Una máquina para aplicaciones equipada con hardware y software controla aplicaciones variables en tres áreas: siembra, pulverización y fertilización. La idea es relativamente simple. Comienza con información oportuna precisa, ejemplo varios años de mapas de rendimiento, datos de análisis de suelo, ubicación de infestación de malezas, etc. Se realiza un mapa de prescripción utilizando un software GIS, y el aplicador variable acoplado a un DGPS aplica la dosis correcta de semilla, herbicida o fertilizante exactamente donde se necesita (Roberts, 2000).

***Figura 21: APLICACIONES DE DOSIS VARIABLE MEDIANTE MÁQUINAS PULVERIZADORAS***



*Fuente: [static.cdn.cadena3.com/contenido/2012/03/07/93347.asp](http://static.cdn.cadena3.com/contenido/2012/03/07/93347.asp)*

La variabilidad de los lotes es uno de los factores que pueden justificar la realización de dosis variable en la siembra, fertilización, pulverización, etc. Mientras que, cuando el rendimiento y/o fertilidad de un lote no varían, es probable que el incentivo para adoptar las técnicas de agricultura de precisión sea escaso con respecto a la optimización de la producción, no así desde el punto de vista de la gestión de la empresa agropecuaria. Sin embargo, si se detecta una elevada variación de productividad, la adopción de esas técnicas puede ser beneficiosa, pues reduce las distorsiones comprobadas normalmente en el área de producción. En campos o lotes con escasa variabilidad (del 20%, por ejemplo) y que se encuentran en ambientes difíciles de caracterizar, debido que dicha variabilidad no se debe a la génesis de suelo sino a condiciones ambientales (años húmedos o secos). En esos casos, si los productores aplican dosis uniformes, pero están muy bien ajustadas, porque realizan muestreos de suelo, conocen los rendimientos potenciales de los lotes y manejan bien la información de pronósticos climáticos y regímenes de lluvia, es muy difícil conseguir resultados positivos, desde el punto de vista económico, por medio de la dosis variable. Por otro lado, en lotes con alta variabilidad de rendimiento y grandes diferencias en las características del suelo, la dosis variable seguramente arrojará resultados positivos (PROCISUR/IICA, 2006).

## **2.6. ANÁLISIS DE DATOS**

### **2.6.1. Geoestadística**

El análisis de datos con un componente espacial se denomina geoestadística (Plant, 2001, citado por Polak, 2013).

Esta herramienta ofrece una manera de describir la continuidad espacial, que es un rasgo distintivo esencial de muchos fenómenos naturales, y proporciona adaptaciones de las técnicas clásicas de regresión para tomar ventajas de esta continuidad (Giraldo Henao, 2015). Permite evaluar asociaciones espaciales, las cuales se caracterizan, principalmente, por poseer un enfoque cuantitativo. Es decir, contestar en términos numéricos si una variable posee

alguna especie de patrón espacial, de tal manera que pueda ser representada o, si esta misma variable, puede ser asociada a otra(s) y así explicar el comportamiento productivo y de calidad de un cultivo en términos espaciales y temporales. Estas evaluaciones son la principal temática del área denominada “geoestadística”. (PROCISUR/IICA, 2006)

El análisis geoestadístico contempla dos etapas: la primera en el análisis estructural, en la cual se describe la correlación entre puntos en el espacio. En la segunda fase se hace predicción en sitios de la región no muestreados por interpolación. En la mayoría de las variables, observaciones cercanas en el espacio son más semejantes entre sí que con aquellas más distantes, por lo que la distribución espacial de dichos atributos no es independiente (Plant 2001, Best y León 2006, citados por Polak, 2013).

### **2.6.2. Econometría espacial**

La econometría es la parte de la ciencia económica que aplica las técnicas matemáticas y estadísticas a las teorías económicas, para su verificación y solución de los problemas económicos mediante modelos. Por su parte, la Econometría Espacial es una especialidad dentro de la Econometría que se ocupa del tratamiento de la interacción espacial (autocorrelación espacial) y de la estructura espacial (heterocedasticidad) en los modelos de regresión (Anselin, 1999, citado por Bongiovanni, Econometría Espacial Aplicada a la Agricultura de Precisión, 2009).

Anselin (1988) citado por PROCISUR/ IICA (2006), define la Econometría Espacial como “la colección de técnicas que se ocupan de las peculiaridades causadas por el espacio en el análisis estadístico de modelos”. Esta tiene cuatro áreas de interés: (a) la especificación formal de efectos espaciales en modelos econométricos; (b) la estimación de modelos que incorporan efectos espaciales; (c) los tests de especificación y de diagnóstico para detectar la presencia de efectos espaciales; y (d) la predicción espacial (interpolación).

### **Econometría espacial versus geoestadística**

La econometría espacial y la geoestadística se distinguen en sus supuestos básicos, el objetivo de la geoestadística es estimar superficies. La geoestadística asume que la variación espacial es un proceso continuo, que da por resultado una «superficie» de observaciones espaciales. La principal herramienta es el semi-variograma. Por el contrario, la econometría espacial está orientada hacia la estimación y la comprobación de hipótesis. Asume que la covarianza espacial es una interacción entre objetos espaciales discretos (polígonos o cuadrículas). Esto requiere la especificación de un proceso estocástico espacial con una estructura de observaciones contiguas (la matriz de ponderadores espaciales). La econometría espacial se usa mucho en economía regional, epidemiología y criminología. En agricultura de precisión, el análisis econométrico espacial se aplica a datos espaciales de estructura similar, pero con mayor resolución que la usada en las ciencias sociales o médicas (ej.: polígonos del ancho del cabezal de la cosechadora en vez de divisiones geográficas). (PROCISUR/IICA, 2006)

### **2.6.3. Análisis de CLUSTER Y CART**

#### ***ANÁLISIS DE CLUSTERS (GRUPOS)***

El análisis cluster (también conocido en otras ramas como taxonomía numérica, análisis tipológico, o clasificación automática) es un método de análisis que clasifica objetos o elementos, en grupos bien definidos llamados conglomerados/clusters; donde cada uno de ellos (Clusters) debe tener a elementos que sean muy similares entre sí (homogeneidad) y estos deben ser diferentes a los objetos de los otros grupos (heterogeneidad) con respecto a algún criterio de selección predeterminado. Es decir, revela agrupaciones naturales dentro de un conjunto de datos que son muy útiles para obtener un conocimiento más profundo sobre los elementos o individuos que existen en una población determinada; y en base a esto poder tomar decisiones, establecer estrategias y planes de acción que nos ayuden a plantear objetivos o, en el caso de estar ya planteados, alcanzarlos o superarlos (Torres Anguiano, 2008). Normalmente, estas técnicas son utilizadas cuando no tenemos a priori ninguna hipótesis referente al problema



en estudio y se está en la etapa de exploración de datos (Plant 2001, Best y León 2006, citados por Polak, 2013).

Una aplicación de esta técnica en agricultura de precisión ha sido en la delimitación de zonas de comportamiento productivos diferentes dentro de una chacra o lote (Roel y Plant, 2004, citados por Polak, 2013).

Cuando se posee una serie de mapas de rendimiento de una misma chacra, se desea analizar cuáles fueron las zonas de la chacra que rindieron más y cuales tuvieron un comportamiento deficiente, esto a veces se puede obtener simplemente mirando una serie de mapas de rendimiento, sin embargo, cuando se tiene comportamientos erráticos o series muy grandes de mapas, puede llegar a ser muy complejo; por ello la delimitación de zonas con comportamientos productivos diferentes de una serie de mapas constituye el entendimiento de la variabilidad espacial y temporal del rendimiento dentro de la misma, siendo uno de los primeros pasos que deben estudiarse dentro de una parcela cuando se intentan implementar estrategias de agricultura de precisión en la misma. Es por lo tanto fundamental, contar con un método objetivo que permita realizar estas delimitaciones y no puede quedar al “buen ojo” del investigador, por esto consideramos importante el uso de estas técnicas estadísticas. En este caso, se debe inicialmente proceder a la estandarización de los rendimientos de las diferentes cosechas, de manera de poder hacer comparación entre ellos. Paso seguido, se procede a correr el algoritmo descrito. Hoy en día, la mayoría de los paquetes estadísticos cuentan con la opción del análisis de grupo o cluster (PROCISUR/IICA, 2006).

### ***CART***

Los árboles de clasificación y regresión (CART, del inglés classification and regression trees) es un método estadístico no-paramétrico, que permiten tanto modelar como explorar la existencia de múltiples relaciones causa-efecto, tanto en el tiempo como en el espacio, dentro de una misma base de datos y utiliza datos históricos para construir arboles de clasificación o de regresión los cuales son usados para clasificar o predecir nuevos datos. Estos

árboles CART pueden manipular fácilmente variables numéricas y/o categóricas (Díaz Sepulveda, 2012). Es decir, CART, permite clasificar los datos en grupos diferentes, permitiendo al pronosticador desarrollar un árbol de decisión para predecir consecuencias, basados en variables de pronóstico (Best y León 2006, citados por Polak, 2013).

A diferencia de las técnicas normalmente utilizadas en los análisis estadísticos tradicionales, donde lo que se intenta es buscar un modelo general de relación entre variables explicativas y de respuesta, CART divide en forma sucesiva el espacio multidimensional generado por las variables explicativas entre zonas que son lo más uniformes posibles en términos de la variable de respuesta. En vez de identificar una sola estructura dominante en la base de datos, lo que comúnmente realizan la mayoría de las técnicas estadísticas tradicionales, CART está diseñado para trabajar con base de datos que puedan tener múltiples estructuras a diferentes escalas espaciales y temporales (Roel y Plant, 2004, citados por PROCISUR/ IICA, 2006).

En el caso de las aplicaciones en la agricultura de precisión, donde muchas veces dentro de una misma chacra o lote pueden existir una serie de variables, permite explicar la variabilidad de rendimiento a diferentes niveles y zonas dentro de la misma. CART, es comúnmente utilizado, en aplicaciones meteorológicas; en estudios de biodiversidad de especies; en general, cuando existe base de datos que contengan una serie amplia de variables observadas (PROCISUR/IICA, 2006).

## **2.7. BENEFICIOS, LIMITACIONES Y BARRERAS DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

### **2.7.1. Beneficios**

Los beneficios de la agricultura de precisión pueden ser considerables en aspectos técnicos, ecológicos y económicos, puesto que, el reconocimiento y la evaluación detallada de variables en sitios específicos posibilitan monitorear y corregir problemas identificados e incluso detectar nuevos

problemas. Por ejemplo, Godwin (2001) citado por Leiva (2003) en un estudio de cinco (5) años para evaluar el potencial de la agricultura de precisión en cereales en Inglaterra, detectaron problemas (inicialmente no contemplados en su investigación) relacionados con encharcamientos y errores en la aplicación de fertilizantes, que representaban limitantes importantes para el desarrollo del cultivo e incrementaban sensiblemente los costos de producción. Esto indica que un mejor entendimiento del proceso productivo, con mayor y más confiable información, facilita la toma de decisiones y por ende la gestión del negocio agropecuario.

### **Beneficios económicos:**

Para probar que la agricultura de precisión es rentable, es necesario que el problema sea abordado por un equipo interdisciplinar, formado por Ingenieros que desarrollen la tecnología, agrónomos que conozcan los cultivos y que discernan cuales son los datos que se precisan, y economistas que utilicen la información para mejorar los beneficios y reducir los riesgos (Ess, 2002, citado por Alámo Romero, 2003).

La agricultura de precisión permite conocer mejor la explotación, proporcionando al empresario agrícola la oportunidad de cambiar la distribución y la época de aplicación de los fertilizantes y otros productos agroquímicos, basándose en la variabilidad espacial y temporal del campo. Los productores pueden tomar decisiones basándose en el análisis económico de la variabilidad de las cosechas. Así un agricultor podría comprobar que el 70% de los años, el 75% de la cebada que cultiva en esa explotación produce más de 3,8 toneladas / hectárea. Conociendo el coste de los inputs, podría calcular la ganancia que espera (Goddard, 1997, citado por Alámo Romero, 2003).

Las bases de datos agrícolas necesitan varios años para ser fiables. Por ejemplo, debido a la variabilidad del clima, para tener información precisa del potencial de cosecha se necesitan los datos de varias campañas. Igualmente, la toma de datos de fertilidad en los mismos puntos durante varios años,

permite conocer el gradiente de fertilidad de la finca. (Lowenberg DeBoer, 1996, citado por Alámo Romero, 2003).

Lambert & Lowenberg DeBoer (2000), citado por Alámo Romero (2003), realizaron una revisión bibliográfica de 108 estudios relativos a la agricultura de precisión. Así, encontraron que:

- El 69% de los estudios indicaban unos beneficios económicos.
- El 12% reflejaban pérdidas.
- El 19% indicaban unos resultados mixtos (resultados positivos que deben ser contrastados con otros años de experimentación).

Es así, que los ahorros potenciales en insumos debido a aplicaciones precisas y el mejor desarrollo del cultivo conducen a ganancias económicas (Yule, Crooks, 1996, citado por Leiva, 2003). Igualmente, el hecho de contar con mayor y mejor información puede tener efectos favorables importantes sobre la economía de la producción.

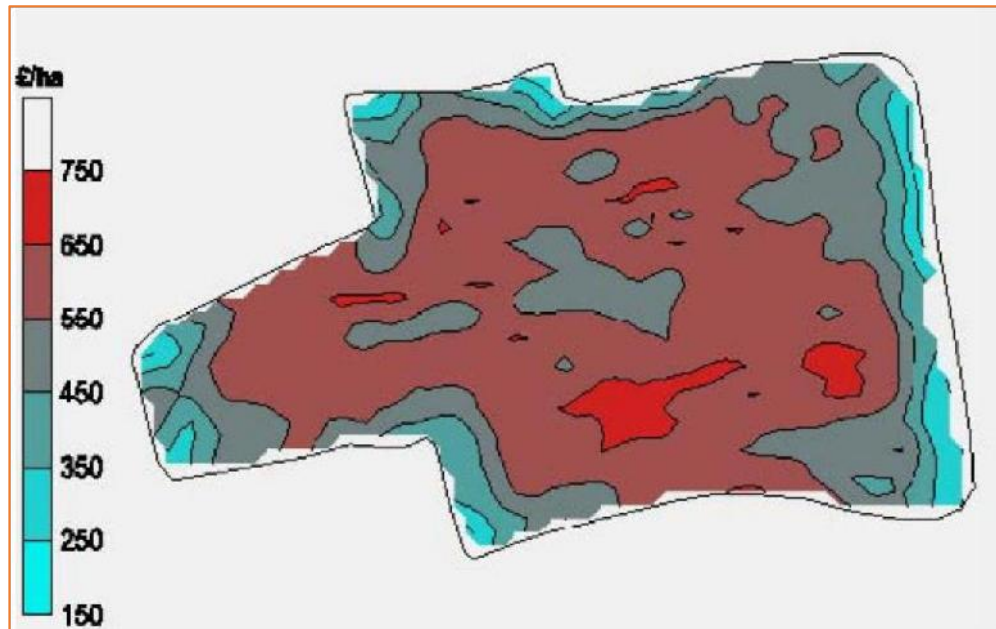
Una manera de visualizar esta información es generar un mapa de ingreso neto (ingreso total menos costos totales), a partir de los mapas de rendimientos, conociendo los costos totales del cultivo y el precio de venta del producto cosechado (Figura 22). Sin embargo, el análisis beneficio - costo debe incluir los costos adicionales por concepto de inversión y uso de la nueva tecnología, por el muestreo y por el cambio tecnológico. Puede decirse que entre mayor sea la variabilidad, la aplicación de los principios de la agricultura de precisión resulta más justificable tanto desde el punto de vista técnico como del económico. (Leiva, 2003)

Leiva y otros (1997) citados por Leiva (2003), encontraron en dos estudios de caso, en dos fincas en Inglaterra, que el beneficio económico de la utilización de agricultura de precisión en la aplicación de agroquímicos es una función de los ahorros en insumos (fertilizantes y plaguicidas) y de los aumentos en rendimientos del cultivo como resultado de mejores y más precisas

aplicaciones de estos insumos. La más alta rentabilidad se encontró en la finca de mayor tamaño, indicando economías de escala en el uso de la tecnología de agricultura de precisión.

**Figura 22: MAPA DE BENEFICIOS ECONÓMICO DE UN CULTIVO DE TRIGO EN INGLATERRA**

**(Las zonas en rojo representan mayores ingresos económicos por sitio)**



*Fuente: La agricultura de precisión: una producción más sostenible y competitiva con visión futurista*

De todas formas, es difícil cuantificar el beneficio económico resultante de la aplicación de la Agricultura de Precisión. Las variaciones de cosecha en una finca, cuando comparamos tratamientos uniformes con otros específicos, pueden deberse en parte a las diferencias de suelo o del microclima. En los trabajos realizados hasta ahora, la agricultura de precisión resulta claramente rentable en cultivos de alto valor, tales como hortalizas, patatas y semillas; y los beneficios futuros dependerán de la adecuada integración entre los programas informáticos de toma de decisiones y la experiencia acumulada de los gestores de las explotaciones agrícolas (Lowenberg DeBoer, 1996, citado por Alámo Romero, 2003).

#### **Beneficios ecológicos:**

La Agricultura de Precisión aumentará su importancia cuando la sociedad perciba beneficios adicionales, tales como una reducción del impacto en el medio ambiente (Auernhammer, 2001, citado por Álamo Romero, 2003).

En Alemania, se propuso la utilización de la agricultura de precisión para conseguir un menor empleo de fertilizantes minerales, especialmente el Nitrógeno, en aras de disminuir la contaminación de las aguas subterráneas (Jahns, 1996, citado por Álamo Romero, 2003). Igualmente, en el Reino Unido, se indica que no sólo había que pensar en que el desarrollo de la agricultura de precisión podría conseguir un aumento de la rentabilidad de la agricultura, sino, más bien, una reducción en el uso de energía y una menor contaminación del agua y del aire (Leiva et al., 1997, citado por Álamo Romero, 2003).

Se pueden obtener beneficios ecológicos en la medida que se haga un uso más racional de los insumos agrícolas. Un caso típico lo representa la fertilización específica por sitio, en la cual se aplica en el momento oportuno, la cantidad necesaria en el sitio requerido, permitiendo que las plantas los tomen sin que éstos se pierdan en el ambiente. Sin embargo, el concepto de agricultura de precisión no es ambientalista per se, esto depende de la actitud del productor (Auerhammer, 2001, citado por Leiva, 2003).

Aunque los beneficios para el medio ambiente no se han medido y cuantificado de forma sistemática (Lowenberg DeBoer, 1996, citado por Álamo Romero, 2003), algunas investigaciones han revelado evidencias positivas. La lixiviación de nitrógeno es un grave problema, especialmente cuando los suelos son de textura arenosa. Un estudio comparativo entre dos parcelas adyacentes, cultivadas de patatas, una de las cuales fue fertilizada con nitrógeno uniformemente, y la otra con dosis variable (VRT), demostró los efectos beneficiosos de la aplicación variable de nitrógeno para reducir la contaminación por nitratos de aguas subterráneas (Whitley et al., 2000, citado por Álamo Romero, 2003).

### **2.7.2. Limitaciones y Barreras**

La aplicabilidad de los principios de la agricultura de precisión y particularmente el manejo acorde con la variabilidad se consideran universales. Sin embargo, en Lambayeque y en Perú, al 2018 aún los agricultores no han adoptado la agricultura de precisión y tampoco existe ninguna política de estado que incentive a su adopción, así que son previsibles algunas barreras para el desarrollo y utilización de la agricultura de precisión, teniendo en cuenta la inexistencia de metodologías para recolección y manejo de información ajustada a nuestro medio, la falta de adaptación de la propia tecnología, y el bajo nivel de gestión y de capacidad administrativa de un sector importante de nuestros productores agrícolas. (Leiva, 2003)

Es por ello que, como menciona (Kreimer P. 2003, citado por Ezcaray Borda, 2012), la agricultura de precisión probablemente al adoptarse en el país se va a limitar, en principio, a aquellas áreas con agricultura mecanizada y a gran escala. Sin embargo, los pequeños productores, cuya capacidad económica no les permite adquirir algunos desarrollos tecnológicos, pueden ser usuarios de la agricultura de precisión cuando existe oferta de estos servicios por parte de contratistas privados (Leiva et. al., 1997, citado por Leiva, 2003), o bien cuando organizan su propio servicio mediante empresas comunitarias, por lo que se hace necesario para el país, investigar el potencial de la agricultura de precisión. Esto implica evaluar y adaptar metodologías y tecnologías (hardware y software) aplicables a nuestros agro ecosistemas, que den viabilidad a la agricultura de precisión como una opción importante para un desarrollo más sostenible y competitivo de la agricultura nacional. (Leiva, 2003)

En definitiva, la adopción de nuevas tecnologías suele seguir un camino similar en casi todos los sectores. Primero el conocimiento de la herramienta por parte de los usuarios, con una utilización reducida por su parte. Tras los ensayos, pruebas y verificación de la rentabilidad real se comienzan a adoptar estos sistemas de forma masiva. Finalmente la técnica es mejorada y se llega al uso total (ANSEMAT, 2010)

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

### **1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

La investigación es de tipo bibliográfica, y nivel descriptivo, debido a que se basa en la recopilación y análisis de información secundaria.

### **2. MATERIALES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para el objetivo de esta investigación, el estudio se desarrolló en cuatro etapas, con objetivos y metodologías específicos. Una primera etapa comprendió la revisión de información respecto a la situación agropecuaria de la región Lambayeque, su situación actual, evolución, caracterización de los agricultores, principales actores y su interrelación con la problemática agrícola.

La segunda etapa se concentró en recojo de información sobre los principales conceptos que se deben conocer de la agricultura de precisión, su evolución, en que consiste, las tecnologías facilitadoras, beneficios, experiencias en otros países, etc.

Con la información recogida, se desarrolló la tercera etapa que consiste en analizar los factores que favorecen y desfavorecen a la adopción de la agricultura de precisión en Lambayeque, para ello delimitaremos las FORTALEZAS, OPORTUNIDADES, DEBILIDADES Y AMENAZAS, que influyen en la adopción de la agricultura de precisión.

Finalmente, sobre la base del diagnóstico desarrollado y el análisis del mismo, se elaboró un conjunto de conclusiones y recomendaciones que servirán de base para otros estudios de investigación sobre la adopción de la agricultura de precisión en Lambayeque y en el Perú.



### **3. DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN**

El ámbito de la investigación es la región Lambayeque y la población de estudio son los productores agrícolas de la región.

#### **3.1. Ubicación geográfica de la Región**

El departamento de Lambayeque está ubicado en la parte septentrional y occidental del territorio peruano, abarcando zonas del litoral, interandinas y de selva.

Sus coordenadas geográficas se sitúan entre los paralelos 5° 28' y 7° 10' 27" de latitud sur y los meridianos 79° 53' 48" y 80° 3 7' 24" de longitud oeste; y la altitud va de 4 m.s.n.m. en el distrito de Pimentel a 4,000 m.s.n.m. en el distrito de Inkawasi. Limita por el Norte con el departamento de Piura, por el Este con el departamento de Cajamarca, por el Sur con el departamento de La Libertad y por el Oeste con el Océano Pacífico.

#### **3.2. Demarcación política de la Región**

Políticamente el departamento está constituido por 3 provincias y 38 distritos.

Estas provincias son las siguientes: Lambayeque, Chiclayo y Ferreñafe. Las tres provincias y 31 de los distritos carecen de límites territoriales precisos y se basan sobre espacios heterogéneos con diferentes grados de articulación y recursos. Su capital ha sido establecida en la ciudad de Chiclayo.

#### **3.3. Clima de la Región**

El clima es cálido y seco. Las precipitaciones pluviales son escasas, manifestándose generalmente en forma de garúa con una media de 18mm. La temperatura también es variada y está en función de la estación, en el verano llega a los 28° C y en invierno a los 14° C.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

Luego de analizar la información sobre el diagnóstico de la agricultura en Lambayeque, se reafirma la necesidad de analizar los factores que influirían en la adopción de la agricultura de precisión en el departamento, que servirá de base para que futuros profesionales y agricultores tomen en cuenta adoptar la agricultura de precisión como el nuevo sistema agrícola que permita mejorar la situación agrícola de la región.

A continuación, analizaremos las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que influirían en la adopción de la agricultura de precisión en Lambayeque. Con el fin de, contribuir a modernizar el sector agrario con una agricultura competitiva para la exportación, fortalecer las capacidades de los agricultores, mejorar la gestión de las parcelas y de la producción agrícola, mejorar la situación financiera del agricultor; para llevar a cabo una gestión agrícola en aras de la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible de la región.

### **1. FACTORES QUE FAVORECEN LA ADOPCIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE:**

#### **1.1. FORTALEZAS**

Analizaremos los aspectos internos del sector agrícola que influirían de manera positiva en la adopción de la agricultura de precisión en el departamento de Lambayeque.

- **Necesidad de los agricultores de ser más competentes en el mercado agropecuario.**

La agricultura de precisión, permitiría incrementar el rendimiento de la producción y, por ende, los costos de producción disminuirían, permitiendo a los agricultores ser más competentes.

- **Productores agrarios de la región organizados en sociedades.** Sería más fácil introducir los conceptos de agricultura de precisión e impulsar su adopción por medio de las organizaciones.

- **Necesidad de los agricultores de contar con mayor y mejor información.**

Con la agricultura de precisión todos los datos sobre rendimientos, plagas, enfermedades, entre otros, es decir todos los datos de variabilidad de la parcela y la producción son almacenados y presentados en forma de mapas, gracias al sistema de información geográfica (SIG).

- **Posibilidad de formalización de productores para acceder a créditos agrarios.**

Debido a que la agricultura de precisión al inicio requiere de inversión en tecnología, incentivará la agrupación y formalización de productores.

- **Presencia de instituciones públicas y privadas que apuestan por el sector.**

Gracias a la agricultura de precisión, se contribuiría a cumplir el objetivo general de la Política Nacional Agraria “Lograr el incremento sostenido de los ingresos y medios de vida de los productores y productoras agrarios, priorizando la agricultura familiar, sobre la base de mayores capacidades y activos más productivos, y con un uso sostenible de los recursos agrarios en el marco de procesos de creciente inclusión social y económica de la población rural, contribuyendo a la seguridad alimentaria y nutricional”, aprobada por el DECRETO SUPREMO N° 002-2016-MINAGRI.

- **Facilidad de compartir datos para analizar problemas y buscar soluciones a través de agrupaciones de productores.**

Ya que, gracias a la Agricultura de precisión, la información de variabilidad es almacenada en ordenadores y a través de ellos se puede compartir información y así los productores pueden aprender de experiencias y otros y tomar mejores decisiones en la administración de sus parcelas.

- **Mejorar la administración de la producción.**

La agricultura de precisión permite el uso más eficiente de los insumos, y conocer cada punto del campo, en cuanto a fertilidad y adaptabilidad, lo que permite realizar un manejo personalizado de la parcela.

### **Impulsar la tecnificación de los sistemas de riego, mecanización agrícola y zonificación de cultivos.**

La adopción de la agricultura de precisión impulsaría la tecnificación de los sistemas de riego, la mecanización agrícola y la zonificación de los cultivos.

- **Medir y evaluar variabilidad de parámetros claves.**

Gracias al uso del sistema de información geográfica, sensores y monitor de rendimiento, utilizados en la agricultura de precisión, permite medir, por ejemplo, el rendimiento o tipos de suelo, de manera georeferenciada y en tiempo real.

- **Reducir el uso de insumos (suelo, agua, semilla, fertilizante, agroquímicos).**

El uso más eficiente del agua, la reducción del empleo de plaguicidas y la mejora de la salud del suelo pueden dar lugar a un aumento medio del rendimiento de los cultivos del 79 % (FAO, 2015). De tal manera que, el manejo sitio específico y la aplicación de dosis variable de insumos permite reducir y aplicar de manera eficiente los insumos de la producción.

➤ **Realizar una comercialización diferencial de los productos.**

Debido a que se conoce la calidad del producto, se puede separar la producción por su calidad lo que permitiría comercializarla de manera diferenciada y por ende obtener mayor rédito económico.

➤ **Reducir el consumo de combustible en los tractores.**

El sistema de posicionamiento global, permite a los tractores agrícolas ser más eficientes, por lo tanto, el consumo de combustible por hectárea disminuiría.

➤ **Incrementar el rendimiento operacional.**

El sistema de posicionamiento global, permite a la maquinaria ser más precisa e incluso trabajar en las noches y en condiciones adversas, es decir, más hectáreas a trabajar por día, reducción de solapamiento, disminución de fallas operativas y aumento de la velocidad operativa.

**Reducir el impacto ambiental ocasionado por la agricultura.**

Al realizar un uso eficiente de los insumos, se evitan los desperdicios y por lo tanto se reduce el impacto ambiental ocasionado por la agricultura, evitando la pérdida de áreas agrícolas por salinización, usando mejor el agua y evitando la contaminación de los acuíferos por exceso de agroquímicos.

➤ **Posibilidad de usar datos de bajo costo.**

La agricultura de precisión nos da la oportunidad de usar datos como mapas de rendimiento, mapas de elevación digital, imágenes satelitales, fotografías aéreas y en el futuro, sensores remotos y sensores de suelo.

## **1.2. OPORTUNIDADES**

Analizaremos los aspectos externos del sector agrícola que influirían de manera positiva en la adopción de la agricultura de precisión en el departamento de Lambayeque.

➤ **Incremento de la demanda de alimentos (a nivel mundial).**

La demanda mundial de alimentos sigue el crecimiento de la población mientras que se reduce el consumo per cápita de muchos artículos alimenticios (OCDE-FAO, 2018). Esta realidad supondría una enorme presión sobre los recursos naturales, y, por ende, la agricultura y el mejor manejo y administración de la parcela, son y serán una oportunidad para adoptar la agricultura de precisión, por la misma necesidad de aprovechar de manera más eficiente los insumos de la producción.

➤ **Gran cantidad de profesionales universitarios que pueden ser capacitados en el manejo de las tecnologías de la información y las comunicaciones.**

La agricultura de precisión traería más puestos de trabajo para los profesionales relacionados al sector agrario, les permitiría capacitarse y poder asesorar a los productores.

**Posibilidad de capacitar a los profesionales y a los productores a recolectar información útil para un análisis sitio-específico.**

La adopción de la agricultura de precisión, sería una oportunidad para los profesionales y productores de capacitarse en el manejo sitio específico.

➤ **Posibilidad de capacitar a los operarios de cosechadoras y contratistas a recoger datos geo referenciados.**

La adopción de la agricultura de precisión, sería una oportunidad para los profesionales y productores de capacitarse en el uso del sistema de posicionamiento global y la recolección de datos.

➤ **Posibilidad de formar a los ingenieros agrícolas y/o agrónomos, economistas para que realicen análisis de rentabilidad en el espacio y en el tiempo.**

La adopción de la agricultura de precisión, sería una oportunidad para formar a los profesionales relacionados al sector agrícola en el análisis de datos.

- **Posibilidad de desarrollar redes locales de investigación y experimentación adaptativa ya que la agricultura de precisión se basa en el manejo sitio-específico.**

La agricultura de precisión incentivaría a instituciones como el INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria) y las instituciones de educación superior realicen investigación y experimentación adaptativa en agricultura de precisión.

- **Existencia de cooperación técnica internacional.**

Existen investigaciones de diferentes países como Argentina, Paraguay, Uruguay, que colaboran y comparten información sobre sus experiencias en agricultura de precisión.

## **2. FACTORES QUE DESFAVORECEN LA ADOPCIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE:**

### **2.1. DEBILIDADES**

Analizaremos los aspectos internos del sector agrícola en el departamento de Lambayeque que influirían de manera negativa en la adopción de la agricultura de precisión en el departamento de Lambayeque.

➤ **Desconocimiento por parte de productores y profesionales, sobre los beneficios de adopción de la agricultura de precisión.**

La tecnología que se usa en Perú es del siglo pasado, sin embargo, esta debilidad se puede superar con, el fortalecimiento de las capacidades y conocimientos de profesionales y productores en agricultura de precisión.

➤ **Productores agrarios con desconfianza al cambio y poca cultura de innovación en el sector.**

Por lo que sería difícil adoptar un nuevo sistema agrícola como es la agricultura de precisión, sin embargo, se puede superar con la sensibilización y capacitación de los productores en conocimientos agrarios.

➤ **Organización de productores con débil capacidad de gestión.**

La escasa capacidad de gestión, disminuye la cooperación y el acceso de información agraria por parte de las organizaciones, lo que se superaría con el fortalecimiento de las capacidades de gestión de los productores existentes.

➤ **Escaso conocimiento tecnológico de los productores.**

Por lo que sería difícil usar y aplicar las tecnologías de la información y las comunicaciones, ya que, se requiere ciertas habilidades informáticas para la implantación de los sistemas en la agricultura de precisión, sin embargo, esta



debilidad se puede superar con, el fortalecimiento de las capacidades y conocimientos tecnológicos de los productores.

➤ **Problemas de compatibilidad con la maquinaria existente.**

La maquinaria agrícola que muchos productores usan, no es compatible con las tecnologías de la información y las comunicaciones, por lo que, es necesario una mayor inversión en adquisición de maquinaria agrícola.

➤ **Encontrar profesional especializado para el mantenimiento y desarrollo de los equipos.**

En Lambayeque y en el Perú son pocas las empresas que brindan servicios de mantenimiento y asesoría en tecnologías de la información y las comunicaciones, por lo que sería costoso los primeros años de adopción de la agricultura de precisión, sin embargo, con el paso de los años y la entrada de otras empresas sería más accesible.

➤ **Presenta mayor desarrollo para cultivos principales o masivos, aún no existen desarrollos para cultivos de menor implicancia.**

Por lo que quizá no se pueda aplicar esta tecnología en todos los cultivos, lo que se tiene que realizar experimentación para probar sus beneficios en todo tipo de cultivos.

➤ **La inversión inicial puede ser elevada.**

Para productores que no tienen mecanización ni riego tecnificado puede resultar mucho más costosa la inversión inicial, sin embargo, si los productores se agrupan pueden acceder a la tecnología a costos razonables.

➤ **El costo de los equipos es percibido por los agricultores como alto, sin que estos analicen sus ventajas.**

Los productores, no realizan un balance de las ventajas que puede traer la implementación de su sistema agrícola con la tecnología de la información y

las comunicaciones, lo que se puede superar con capacitación y sensibilización de los beneficios del uso de la tecnología en la agricultura.

## **2.2. AMENAZAS**

Analizaremos los aspectos externos del sector agrícola en el departamento de Lambayeque que influirían de manera negativa en la adopción de la agricultura de precisión en el departamento de Lambayeque.

- **Cambios en política agraria en cada gobierno nacional y regional.** Los constantes cambios en las políticas agrarias no permitirían continuar con el cumplimiento de metas para desarrollo del sector agrícola, ya que, al adoptar una nueva política, todo comienza de nuevo.

- **Constante incremento del precio de combustible e insumos agrícolas.** El incremento de combustible e insumos agrícolas, incrementa el costo de inversión en la producción por lo que desestabiliza la economía del sector agrario en la región.

- **Mayor riesgo de la producción por fenómenos externos como El Niño y Sequías.**

Debido a que el Perú es una zona expuesta a la ocurrencia de fenómenos extremos como El Niño y sequías.

- **Degradación de los suelos.**

La constante degradación de los suelos (sobrepastoreo, escasez de agua, sobreuso de fertilizantes, abandono de la actividad), conlleva a la pérdida de aptitud agrícola (MINAGRI, Julio, 2015). El 33 % de los suelos está de moderada a altamente degradado debido a la erosión, el agotamiento de nutrientes, la acidificación, la salinización, la compactación y la contaminación química (FAO, 2015), por ello existe una necesidad cada vez mayor de mejorar el uso sostenible de la tierra disponible, los bosques y la biodiversidad. (OCDE/FAO, 2014)

Debido a malas prácticas agrícolas y uso ineficiente de los insumos de la producción, se están reduciendo las áreas agrícolas, sin embargo, esta amenaza puede ser mitigada ya que la agricultura de precisión permite usar los insumos de manera eficiente evitando los desperdicios.

## **CAPÍTULO V: DISCUSIÓN**

Estudios realizados por el INTA, “Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria”, (2017) Manfredi, Argentina, han determinado que la aplicación de tecnologías y técnicas de Agricultura de Precisión en el manejo de cultivos permite incrementar el rendimiento en los principales cultivos entre un 10 a un 15% promedio y se puede ahorrar hasta un 60% de herbicidas, realizando un manejo eficiente de los insumos, impactando de manera directa sobre el margen bruto de procesos productivos en cultivos intensivos y extensivos. Así mismo, Álamo Romero (2003), en su tesis “Efectos económicos de la aplicación de la agricultura de precisión en una explotación de olivar en la provincia de Jaén”, concluyó que, al usar la agricultura de precisión en cultivos de olivo se logra disminuir el uso de agroquímicos, con el consiguiente beneficio económico para los oleicultores y una mejora medioambiental para el conjunto de la sociedad.

Según menciona Kreimer P. (2003) citado por Ezcaray Borda (2012), la agricultura de precisión probablemente al adoptarse en Lambayeque se va a limitar, en principio, a aquellas áreas con agricultura mecanizada y a gran escala, sin embargo, como menciona Leiva (2003) los pequeños productores, cuya capacidad económica no les permite adquirir algunos desarrollos tecnológicos, pueden ser usuarios de la agricultura de precisión cuando existe oferta de estos servicios por parte de contratistas privados, o bien cuando organizan su propio servicio mediante empresas comunitarias; por lo que tanto los pequeños como grandes agricultores se pueden beneficiar de la agricultura de precisión. Por su parte Álamo Romero (2003), en su tesis “Efectos económicos de la aplicación de la agricultura de precisión en una explotación de olivar en la provincia de Jaén”, concluyó que la Agricultura de Precisión puede ser adoptada en explotaciones grandes de olivar y por las empresas de servicios y de consultoría agroambiental y que en explotaciones olivareras de reducidas dimensiones, que son las más frecuentes en

Andalucía, es posible a través de las entidades asociativas (cooperativas), comunidades de regantes, etc. Los técnicos contratados por estas entidades podrían asesorar a los titulares de las explotaciones individuales.

## CONCLUSIONES

Se realizó el análisis de los factores que favorecen y desfavorecen la adopción de la agricultura de precisión a través del análisis FODA, puesto que, la adaptación y la adopción de la agricultura de precisión, en Lambayeque, es un proceso que debe darse por etapas, iniciando con la comprensión del concepto mismo y avanzando paulatinamente hacia el uso de tecnologías y técnicas que favorezcan su implementación.

2. La problemática del sector agrícola en la región Lambayeque es: i) la desorganización de productores con dificultad en el acceso a crédito y asistencia técnica; ii) escasas capacidades técnico productivas e inadecuada formación educativa del sector agrario con dificultades en la transferencia de tecnologías e innovación agraria; y iii) limitado e ineficiente manejo de los insumos de la producción, que afecta la gestión del uso del agua y de los suelos.
3. La agricultura de precisión es la administración personalizada de una parcela, teniendo en cuenta la variabilidad existente de la misma; es decir, aplicar la cantidad correcta de insumos en el momento adecuado y en el lugar preciso, gracias a la utilización de herramientas tecnológicas; permitiendo a la larga tener una base útil de información que ayude en la toma de decisiones asociadas a la producción de cultivos.
4. Los agentes involucrados en la agricultura de precisión son el productor empresario, los asesores o consultores, las empresas proveedoras de insumos y las empresas proveedoras de equipamiento.
5. La agricultura de precisión requiere de ciertas herramientas como el sistema de posicionamiento global (GPS) que permite obtener datos georeferenciados; sistemas de información geográfica (SIG) que permite obtener una gran cantidad de información de distinto tipo, tratarla para

convertirla en conjuntos de datos compatibles, combinarlos y exponer los resultados sobre un mapa; los monitores de rendimiento que permite calcular el rendimiento de un cultivo en el tiempo y en el espacio; la percepción remota que permite obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de datos obtenidos con sensor remoto.

6. El manejo sitio específico, significa tratar áreas menores, dentro de lotes de una manera distinta a la que se manejaría el lote entero e incluye recolectar, interpretar y manejar gran cantidad de datos agronómicos detallados, de lugares precisos en los lotes en un intento de ajustar y mejorar la eficiencia de la producción de cultivos e incluye la delimitación de las zonas de manejo, diagnóstico de la producción y aplicación variable.
7. El análisis de datos permite explicar el comportamiento productivo y de calidad de un cultivo en términos espaciales y temporales, siendo clave para la agricultura de precisión, y se desarrolla mediante diversas herramientas como la geoestadística, econometría espacial, análisis de cluster y CART.
8. Los beneficios de la utilización de la agricultura de precisión son considerables en aspectos técnicos, ecológicos y económicos, es así, que los ahorros potenciales en insumos debido a aplicaciones precisas y el mejor desarrollo del cultivo conducen a ganancias económicas y reduce el desperdicio de insumos agrícolas, cuidando el medio ambiente. Por otro lado, la principal limitación que puede encontrar la agricultura de precisión es que al principio de su adopción puede beneficiar a los grandes productores, sin embargo, si los productores se asocian y adquieren los servicios mediante empresas pueden también verse beneficiados de la agricultura de precisión.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda al Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) - Lambayeque y a las Facultad de Ingeniería Agrícola de la “Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo”, realizar investigación adaptativa de la agricultura de precisión, para comprobar los beneficios de la misma.
2. Se recomienda a la dirección regional de agricultura de Lambayeque (DRA) realizar planes y proyectos que fortalezcan y articulen las diferentes organizaciones públicas y privadas del sector agrario y a nivel de todas las instancias; nacional, regional, local. para poder efectuar planes y proyectos, orientados a la adopción de la agricultura de precisión.
  3. Se recomienda a la dirección regional de agricultura de Lambayeque (DRA) promover la organización empresarial de los agricultores, impulsar la articulación y fortalecimiento de las capacidades de gestión de las organizaciones de productores existentes, promover el conocimiento tecnológico y adecuada formación educativa para el sector agrario con el fin de lograr la comprensión de los conceptos de agricultura de precisión.
  4. Se recomienda a la Facultad de Ingeniería Agrícola de la “Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo”, actualizar la curricula, e incluir cursos relacionados a agricultura de precisión y las tecnologías de la información y las comunicaciones, para que la formación de los futuros ingenieros agrícolas sea más integral.
  5. Se recomienda al Capítulo de Ingeniería Agrícola sede Lambayeque y a la “Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo”, realizar cursos, charlas, capacitaciones, a los profesionales relacionados al sector agrario en el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones, ya que, al estar

debidamente formados, pueden realizar asistencia técnica a los productores para la implementación de la agricultura de precisión.

6. Se recomienda a la dirección regional de agricultura de Lambayeque (DRA) promover la aplicación del manejo sitio específico y aplicación de dosis variable de insumos de la producción, mediante difusión, capacitaciones, talleres, cursos, asistencia técnica y parcelas demostrativas.
7. Se recomienda a la dirección regional de agricultura de Lambayeque (DRA), instalar PULP de maquinaria agrícola en la región, para ser alquilados por los pequeños agricultores a bajo costo.
8. Se recomienda a la dirección regional de agricultura de Lambayeque (DRA), facilitar a los productores el acceso a la innovación tecnológica, acompañado de asistencia técnica y facilidades en el crédito agrario.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agricultura de Precisión: Desafío de los Agricultores. (13 de Octubre de 2017). Diario Oficial El Peruano. Obtenido de [elperuano.pe](http://elperuano.pe)
2. Álamo Romero, S. (2003). Tesis Doctoral: Efectos Económicos de la Aplicación de la Agricultura de Precisión en una Explotación de Olivar en la Provincia de Jaén. Córdoba, España: Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes.
  3. Alvaro Roel, & Firpo, H. (2006). Agricultura de Precisión en Uruguay. Montevideo, Uruguay: PROCISUR/IICA.
  4. ANSEMAT (Ed.). (Julio de 2010). Sostenibilidad, tecnología y formación. *la revista de ANSEMAT*(25), 1-30.
  5. Autoridad Nacional del Agua. (Julio de 2011). Reglamento de Operadores de Infraestructura Hidráulica.
  6. Autoridad Nacional del Agua. (2018). AAA Jequetepeque - Zarumilla - Juntas de Usuarios.
  7. Banco Central de Reserva del Perú. (2008). Informe Económico y Social Región Lambayeque.
  8. Best, S. (2006). Agricultura de Precisión en Chile. Montevideo, Uruguay: PROCISUR/IICA.
  9. Bongiovani, R., & Lowenberg De Boer, J. (2006). Agricultura de Precisión en Argentina. Montevideo, Uruguay: PROCISUR/IICA.
  10. Bongiovanni, R. (2009). Econometría Espacial Aplicada a la Agricultura de Precisión. *Actualidad Económica*(67).

11. Bragachini, M., Méndez, A., & Vélez, J. P. (Diciembre de 2011). Red Agricultura de Precisión del INTA. Argentina, un referente mundial en tecnología de Agricultura de Precisión. Manfredi, Córdoba, Argentina.
12. Bragachini, M., Von Martini, A., & Méndez, A. (2000). Alcances y Precisión de los Monitores de Rendimiento. Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi.
13. Chartuni Mantovani, E., De Assis de Carvalho Pinto, F., & Marçal de Queiroz, D. (2006). Introducción a la Agricultura de Precisión. Montevideo, Uruguay: PROCISUR/ IICA.
14. Chartuni Mantovani, E., De Assis de Carvalho Pinto, F., Marçal de Queiroz, D., & Ruz, E. (2007). Agricultura de Precisión. COMUNIICA.
15. Díaz Sepulveda, J. F. (2012). Tesis: Comparación entre árboles de regresión CART y regresión lineal. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
16. Duggan, B. (2014). Ciclo Completo de Implementación en un lote de maíz. Buenos Aires. Obtenido de <http://site.geoagro.com/es/node/77>
17. Ezcaray Borda, I. J. (Julio de 2012). Tesis: Agricultura de Presición: Elaboración de Mapas de Consumo y Resbalamiento. Navarra, España: Universidad Pública de Navarra, Escuela Técnica Superiro de Ingenieros Agrónomos.
18. FAO. (2015). El suelo es un recurso no renovable. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i4373s.pdf>
19. García, E., & Flego, F. (2005). Agricultura de Precisión. Argentina: Universidad de Palermo.
20. Giménez Rodríguez, T., & Ros Bernabeu, M. (2009). Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
21. Giraldo Henao, R. (2015). Introducción a la Geoestadística. Bogotá:

Universidad Nacional de Colombia.

22. Gobierno Regional de Lambayeque. (Setiembre de 2008). Plan Estratégico Regional del Sector Agrario de Lambayeque 2009-2015.
23. Gobierno Regional de Lambayeque. (2010). Estructura del diagnóstico socio económico del departamento de Lambayeque.
24. Gobierno Regional de Lambayeque. (2012). Memoria Descriptiva: Estudio de la Capacidad de Uso Mayor de las Tierras.
25. Gobierno Regional de Lambayeque. (12 de Mayo de 2015). Avances y Perspectivas del Sector Agrario en Lambayeque. TALLER MACRO REGIONAL DE DIFUSIÓN Y ARTICULACIÓN DE LINEAMIENTOS DE POLÍTICA AGRARIA. (J. Zuñiga Morgan, Ed.) Chiclayo.
26. Huerta, E., Mangiaterra, A., & Noguera, G. (2005). GPS Posicionamiento Satelital. Argentina: UNR EDITORA - Universidad Nacional de Rosario. Obtenido de [www.fceia.unr.edu.ar/gps/GGSR/libro\\_gps.pdf](http://www.fceia.unr.edu.ar/gps/GGSR/libro_gps.pdf)
27. IICA/ PROCISUR. (2014). Manual de Agricultura de Precisión. (E. Chartuni Mantovani, & C. Magdalena, Edits.) Montevideo, Uruguay.
28. Instituto Nacional de Defensa Civil. (2003). Mapa de Peligros de la Ciudad de Lambayeque.
29. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2013). Resultados Definitivos, IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Obtenido de [www.agrobanco.com.pe/pdf\\_cpc/FINAL\\_IV\\_CENAGRO.pdf](http://www.agrobanco.com.pe/pdf_cpc/FINAL_IV_CENAGRO.pdf)
30. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2014). Características Económicas del Productor Agropecuario en el Perú, IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Obtenido de [www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1177/libro.pdf](http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1177/libro.pdf)

31. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2015). Territorio y Suelos, Anuario de Estadísticas Ambientales 2015.
32. Kawamura, P., Palacios, A., Quintana, J., & Ken Hoshiba, C. (2006). Agricultura de Precisión en Paraguay. Montevideo, Uruguay: PROCISUR/IICA.
33. Leiva, F. (Enero de 2003). La Agricultura de Precisión: Una Producción más Sostenible y Competitiva con Visión Futurista. Conferencia presentada en el VIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos. Bogotá, Colombia.
34. León Carrasco, J. C. (19 de Julio de 2016). Agricultura de Precisión Permite Ahorrar 30% en Costos de Producción. Agencia Agraria de Noticias. Obtenido de [agraria.pe/noticias/agricultura-de-precision-permite-ahorrar-3011598](http://agraria.pe/noticias/agricultura-de-precision-permite-ahorrar-3011598)
35. Martini, A., Bragachini, M., Bianchini, A., Martellotto, E., & Méndez, A. (2015). Percepción Remota. Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi.
36. Mejía, J. C. (2006). Agricultura de Precisión en Bolivia. Montevideo, Uruguay: PROCISUR/IICA.
37. Méndez Ángel, C. D. (Junio de 2016). Tesis: Generación y evaluación de mapas de prescripción aplicados en la nivelación de terrenos mediante un sistema de control automático. México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División de Ingeniería.
38. Ministerio de Agricultura y Riego - Dirección General de Evaluación y Seguimiento de Políticas, Dirección de Estadística Agraria. (Agosto de 2018). Anuario Estadístico de Producción Agrícola 2017. Obtenido de [siea.minagri.gob.pe/siea/?q=publicaciones/anuarios-estadisticos](http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=publicaciones/anuarios-estadisticos)
39. Municipalidad Provincial de Lambayeque. (Diciembre de 2010). Plan de Desarrollo Concertado Provincia de Lambayeque 2011 - 2021.

40. OCDE/FAO. (2014). OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2014. OECD Publishing. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i3818s.pdf>
41. OCDE-FAO. (2018). Perspectivas Agrícolas 2018-2027. Obtenido de <http://www.agri-outlook.org>
42. Oficina de Planeamiento y Presupuesto, MINAG. (2012). Plan Estratégico Sectorial Multianual del Ministerio de Agricultura 2012-2016. Lima.
43. Oficina de Planificación y Ordenamiento Territorial del Gobierno Regional de Lambayeque. (Agosto de 2017). Plan de Desarrollo Regional Concertado: LAMBAYEQUE AL 2021. (J. Portocarrero Rodríguez, J. E. Pisfil Llontop, & M. Ulloque Sandoval, Edits.)
44. Oficina General de Planeamiento y Presupuesto del MINAGRI. (Julio, 2015). Plan Estratégico Sectorial Multianual 2015-2021.
45. Oficina General de Planificación Agraria, MINAG. (2008). Plan Estratégico Sectorial Multianual de Agricultura 2007-2011.
46. Polak, G. (Octubre de 2013). Tesis: Agricultura de precisión para la corrección de ambientes con elevado valor de sodio intercambiable. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía.
47. PROCISUR/IICA. (2006). Agricultura de Precisión: Integrando Conocimientos Para una Agricultura Moderna y Sustentable. (R. Bongiovanni, E. Chartuni Mantovani, S. Best, & Á. Roel, Edits.) Montevideo, Uruguay.
48. Roberts, T. (Mayo de 2000). Manejo Sitio Específico de Nutrientes - Avances en Aplicaciones con Dosis Variable. INTA Manfredi.
49. Scaramuzza, F., Vélez, J. P., Villarroel, D., Melchiori, R., & Bragachini, M. (Octubre de 2018). El rol estratégico del INTA en los aportes de la Agricultura y Ganadería de Precisión Argentina. Manfredi, Córdoba, Argentina: Red Agricultura y Ganadería de Precisión del INTA.

50. Scaramuzza, F., Villaroel, D., & Velez, J. (2017). Sistemas de Corrección Diferencial de la Señal GPS, Según Labores Agrícolas. En M. Bragachini, 16° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión Expo de Máquinas Precisas (págs. 103-106). Manfredí, Córdoba, Argentina: INTA.
51. Sistema de Posicionamiento Global-GPS. (2007). En Mejora de los Sistemas Cartográficos del Territorio Colombiano.
52. Torres Anguiano, E. (2008). Una práctica con Cluster Analysis.
53. Vasquez Villanueva, V. (2016). Agricultura Peruana: Promesas, Desconocimiento y Olvido. (H. Alcantara Santillan, Ed.) Lima.
54. Vélez, J. P. (2014). Manejo Sitioespecífico. Proyecto Nacional de Agricultura de Precisión. Manfredí: INTA E.E.A Manfredí.