



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA TECNOLOGÍA EN COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA**

MONOGRAFÍA

TEMA:

**ANÁLISIS DE LAS REDES DE SENSORES
INALÁMBRICOS EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN
EN EL ECUADOR**

Previo a la obtención del título de:

TECNÓLOGA EN COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
INGENIERÍA DEL SOFTWARE**

AUTORA

GUATO FERNÁNDEZ KAREN ESTEFANI

NARANJAL– ECUADOR

2019



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA NARANJAL

TEMA:

**ANÁLISIS DE LAS REDES DE SENSORES
INALÁMBRICOS EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN
EN EL ECUADOR**

MONOGRAFÍA

Previo a la obtención del título de

TECNÓLOGO EN COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA

AUTORA

GUATO FERNÁNDEZ KAREN ESTEFANI

TUTOR:

ING. TOBAR CUESTA BYRON ALEXANDER, MSC.

NARANJAL – ECUADOR

2019



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CARRERA TECNOLOGÍA EN COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Yo, **ING. BYRON ALEXANDER TOBAR CUESTA**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **ANÁLISIS DE LAS REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL ECUADOR**, realizado por la estudiante **GUATO FERNÁNDEZ KAREN ESTEFANI**; con cédula de identidad No. 0940700644 de la carrera **TECNOLOGÍA EN COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA**, Unidad Académica PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA NARANJAL, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. TOBAR CUESTA BYRON ALEXANDER, MSC.
FIRMA DEL TUTOR

Naranjal, 18 de Noviembre del 2019



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA TECNOLOGÍA EN COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H, Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LAS REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL ECUADOR”** realizado por la estudiante **GUATO FERNÁNDEZ KAREN STEFANY** el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

PhD. Roger Freire Avilés
PRESIDENTE

Ing. Raquel Gómez Chabla, M.Sc
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Byron Tobar Cuesta, M.Sc
EXAMINADOR PRINCIPAL

Lcda. Gina Loor Caicedo
EXAMINADOR SUPLENTE

Naranjal, 18 de Noviembre del 2019

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante, por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre, por sus consejos y esfuerzos para brindarme lo mejor para mí en el transcurso de mi carrera. A mis hermanos que siempre están presentes. A la Universidad Agraria del Ecuador, por darme la oportunidad de ser parte de ella, a los docentes, ya que gracias a ellos he tenido la oportunidad de prepararme y así poder seguir adelante con mi meta.

Agradecimiento

El presente trabajo investigativo le agradezco principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

Al Dr. Jacobo Bucaram Ortiz, Rector Fundador de la Universidad Agraria del Ecuador, por haberme dado la oportunidad de estudiar en tan prestigiosa institución.

A la PhD. Martha Bucaram Leverone, Rectora de la Universidad Agraria del Ecuador

A la Dra. Emma Jácome Murillo, Decana de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Agraria del Ecuador.

Ing. Wilmer Pilaloe David, MSc. Coordinador del Programa Regional de Enseñanza Naranjal, Al Ing. Tutor Byron Tobar Cuesta, Msc por haberme guiado durante el trayecto de esta carrera universitaria y brindarme su colaboración desinteresada para la culminación de esta monografía. A todos los catedráticos del Programa Regional de Enseñanza Naranjal, por su digna labor.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, **GUATO FERNÁNDEZ KAREN ESTEFANI**, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre “**ANÁLISIS DE LAS REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL ECUADOR**” para obtener el título de TECNÓLOGA EN COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5,6,8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

GUATO FERNÁNDEZ KAREN ESTEFANI

C.C. 0940700644

Naranjal, 18 de noviembre del 2019

Índice general

Portada.....	1
Certificación de aceptación del tutor	3
Aprobación del tribunal de sustentación.....	4
Dedicatoria	4
Agradecimiento	6
Autorización de autoría intelectual	7
Índice general.....	8
Índice de Tablas	11
Índice de Figuras.....	11
Resumen.....	12
Abstract.....	13
1. Introducción.....	14
1.1 Importancia o caracterización del tema.....	14
1.2 Actualidad del tema.....	14
1.3 Novedad científica del tema	15
1.4 Justificación del tema	16
1.5 Objetivos	17
1.5.1 Objetivo general	17
1.5.2 Objetivos específicos.....	17
2. Aspectos metodológicos.....	18
2.1 Materiales.....	18
2.1.1 Recursos bibliográficos	18
2.1.2 Materiales y equipos.....	18
2.1.3 Recursos humanos	18

2.2 Métodos.....	19
2.2.1 Modalidad y tipo de investigación.....	19
2.2.2 Tipos de métodos.....	19
2.2.2.1 Método inductivo.....	19
2.2.2.2 Método deductivo.....	19
2.2.2.3 Método analítico.....	19
2.2.2.4 Método analítico - sintético.....	19
2.2.3 Técnicas.....	20
2.2.3.1 Observación directa.....	20
2.2.3.2 Observación indirecta.....	20
2.3 Marco legal.....	20
3. Análisis y revisión de la literatura.....	22
3.1 La agricultura de precisión en el Ecuador.....	22
3.1.1 Agricultura de precisión.....	22
3.1.2 Tecnologías y elementos de la agricultura de precisión.....	23
3.1.2.1 Tecnología de dosis variable.....	24
3.1.2.2 Sistema de posicionamiento global GPS.....	24
3.1.2.3 Sistema de información geográfica.....	25
3.1.2.4 Sensores remotos.....	26
3.1.2.5 Drones.....	27
3.1.3 Ciclo de la agricultura de precisión.....	28
3.1.4 Beneficios de la agricultura de precisión.....	30
3.1.5 La agricultura de precisión en el Ecuador.....	31
3.2 Redes de sensores inalámbricos empleados en la agricultura de precisión en el Ecuador.....	32

	10
3.2.1 Red de sensores inalámbricos	32
3.2.2 Componentes de una red de sensores inalámbricos.	34
3.2.3 Topología de red de sensores inalámbricos.....	36
3.2.3.1 Topología estrella	36
3.2.3.2 Topología mesh.....	36
3.2.3.3 Topología híbrida.....	36
3.2.4 Estándares de redes de sensores inalámbricos	37
3.2.4.1 El estándar IEEE 802.15.4	37
3.2.4.2 El estándar 6LowPAN	38
3.2.4.3 Zigbee	39
3.2.4.4 Wirelesshart	40
3.2.4.5 ISA 100.11.....	41
3.2.4.6 Bluetooth Low Energy	41
3.2.5 Redes de sensores inalámbricos en la agricultura de precisión en el Ecuador	42
3.3 Ventajas y desventajas de las redes sensores inalámbricos.....	45
3.3.1 Ventajas y desventajas.....	45
3.3.2 Otras ventajas y desventajas	47
4. Conclusiones	48
5. Recomendaciones	49
6. Bibliografía.....	51
7. Glosario	59
8. Anexos.....	60

Índice de tablas

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las redes de sensores inalámbricos.....	45
Tabla 2. Otras ventajas y desventajas de las redes de sensores inalámbricos ...	47
Tabla 3. Tecnologías y elementos de la agricultura de precisión	60

Índice de figuras

Figura 1.- Drones	62
Figura 2.- Ciclo de la agricultura de precisión	62
Figura 3.- Elementos de una red de sensores inalámbricos	63
Figura 4.- Topologías utilizadas en una red de sensores inalámbricos.....	63
Figura 5.- Arquitectura de una red 6lowpan	64
Figura 6.- Implementación de una red de sensores inalámbricos en agricultura de precisión.....	64

Resumen

El presente trabajo de investigación bibliográfica muestra el análisis de las redes de sensores inalámbricos en la agricultura de precisión, el cual tiene como objetivo analizar las redes de sensores inalámbricos mediante una investigación bibliográfica para el empleo en la agricultura de precisión en el Ecuador. Inicialmente se describen las generalidades de la agricultura de precisión, a continuación, se detallan las redes de sensores inalámbricos y finalmente se mencionan las ventajas y desventajas de estas redes. La agricultura de precisión es una técnica que permite gestionar de forma eficientemente los recursos agrícolas, usando tecnologías como los sistemas de posicionamiento global, sistemas de información geográfica, sensores remotos y drones. En el Ecuador es empleada en las florícolas, bananeras y empresas azucareras. Además, se han implementado redes de sensores inalámbricos para monitorear la humedad relativa, la temperatura, la humedad del suelo, la luz y la lluvia, ayudando a controlar cada uno de estos parámetros en cada una de las plantas para mantener el estado ideal de la misma y entregar un buen producto al consumidor.

Palabras claves: Agricultura de precisión, dron, inalámbrico, red, sensor.

Abstract

This bibliographic research paper shows the analysis of wireless sensor networks in precision agriculture, which aims to analyze wireless sensor networks through a bibliographic investigation for employment in precision agriculture in Ecuador. Initially the generalities of precision agriculture are described, the wireless sensor networks are detailed below and finally the advantages and disadvantages of these networks are mentioned. Precision agriculture is a technique that allows you to efficiently manage agricultural resources, using technologies such as global positioning systems, geographic information systems, remote sensors and drones. In Ecuador it is used in floriculture, banana and sugar companies. In addition, wireless sensor networks have been implemented to monitor relative humidity, temperature, soil humidity, light and rain, helping to control each of these parameters in each of the plants to maintain the ideal state of it and deliver a good product to the consumer.

Keywords: Precision agriculture, drone, wireless, network, sensor.

1. Introducción

1.1 Importancia o caracterización del tema

Hoy en día el campo de la agricultura se ha vuelto uno de los factores más relevantes en la actualidad, ya que la mayoría de las personas optan por consumir productos cultivados y cosechados naturalmente, que por lo general no hayan sido alterados químicamente. Con el fin de obtener plantaciones eficientemente naturales y productos de excelencia, es muy primordial llevar una evaluación frecuente sobre los distintos factores que perjudican a las plantaciones como la humedad, la radiación solar y los gases que rodean a los sembríos, etc. Por eso es fundamental saber a qué situación están expuestas las plantaciones agrícolas.

La red de sensores inalámbricos es una extraordinaria alternativa para poder implementarla en nuestro sector agropecuario, ya que cambia y facilita la producción, conservación de productos agrícolas en nuestro país, que a su vez nos permitirá monitorear los factores más fundamentales de cualquier cultivo agrícola en proceso del desarrollo.

Esta actividad hace uso de herramientas que permiten aumentar la rentabilidad de los cultivos, así como su calidad, cantidad y rendimiento, por lo tanto ocupa elementos como computadoras, sensores de suelo, sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de información geográfica, monitores de rendimiento y cualquier otra tecnología que ayude a controlar y automatizar el manejo específico de una zona o área de cultivo y además que permita gestionar de forma localizada a distintas especies vegetales desde diferentes puntos.

1.2 Actualidad del tema

En los últimos años, las redes inalámbricas de sensores WSNs de Wireless Sensor Networks, gozan de un gran interés, tanto por parte de la comunidad

científica como del sector industrial. Los avances en las comunicaciones inalámbricas y en la electrónica, han hecho viable el desarrollo de redes de sensores multifuncionales de bajo coste y bajo consumo.

Estos pequeños sensores, son capaces de medir parámetros físicos, procesar información y comunicarla a otros dispositivos, generalmente, a través de un canal de radiofrecuencia RF. Los campos de aplicación de las WSNs son innumerables. Algunas de estas aplicaciones son: telemática, agricultura de precisión, exploración de hábitats, detección y actuación ante desastres, edificios inteligentes, gestión de centros gubernamentales, monitorización sanitaria y médica, entre otras.

Es evidente que una de las cuestiones críticas en la mayoría de las aplicaciones anteriores, es relacionar los datos físicos medidos con posiciones en el espacio. Esta cuestión se conoce con el nombre de localización, es decir, cada dispositivo debe conocer su posición exacta en el espacio en cualquier instante de tiempo.

Una red de sensores puede automatizar varios métodos primordiales a través de actuadores de ventilación irrigación, iluminación etc. Este tipo de redes proveen la flexibilidad necesaria para disminuir tiempos de instalación, recolección de datos y mantenimiento, si se les compara con recolectores de datos.

1.3 Novedad científica del tema

Las WSN (redes de sensores inalámbricos) están siendo implementadas en diferentes áreas permitiendo monitorear distintas circunstancias del entorno como los aspectos meteorológicos, la producción del suelo, el estado de la maquinaria y estructuras, el movimiento de vehículos, los niveles de polución, etc.

En la agricultura, las WSN son sencillamente desplegables pudiendo cubrir

áreas con diversas superficies. La importancia que ocupan estos sensores en las redes es estratégica ya que adquieren mediciones de diferentes magnitudes, así como la radiación térmica y lumínica, la humedad del ambiente y del suelo, e incluso la productividad de los cultivos. Ya que los datos obtenidos por los sensores son usados para monitorizar el consumo de agua y de las situaciones meteorológicas locales.

La agricultura de precisión consiste en la implementación, de sensores necesario en las máquinas agrícolas y estudiar los mecanismos que realmente el campo debe incorporar para la producción, ya sea en el abono, el riego, o poner herbicidas según las necesidades que pueda requerir el terreno, y no de manera regular como se debe implementar normalmente.

Desde tiempo atrás gracias a las nuevas tecnologías que se han generado, es posible generar una agricultura de gran calidad y alta precisión, la tecnología GPS con el sistema auto guía permite un movimiento preciso de todo el terreno a cultivar utilizando programas informáticos creados para la agricultura, lo que nos facilita el análisis del suelo a plantar. La implementación de drones ayuda a realizar un seguimiento del cultivo, así como el mejoramiento del consumo de agua y el control de las plagas gracias a las cámaras incorporadas.

1.4 Justificación del tema

La agricultura es una de las fuentes más relevantes en el sector económico en el Ecuador, ya que en su totalidad su producción se maneja de manera permanente, gracias a los conocimientos de los agricultores, en otra parte esto con lleva a darse cuenta que se desperdician algunos recursos como la mano de obra y el tiempo en ejercer las actividades que son necesarias. Por eso es necesario darles a conocer que se pueden implementar nuevas tecnologías como

lo son las redes de sensores inalámbricas que las ayudan a cómo obtener un mejor seguimiento y control del cultivo, una de las dificultades de la agricultura en la actualidad, es la falta de conocimientos necesarios para un buen desarrollo de las diferentes actividades, ya que de esta manera dan a conocer a los agricultores las bondades de la agricultura de precisión en la cual la tecnología está inmersa para las diferentes labores agrícolas.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar las redes de sensores inalámbricos mediante una investigación bibliográfica para el empleo en la agricultura de precisión en el Ecuador.

1.5.2 Objetivos específicos

- Describir las generalidades de la agricultura de precisión en el Ecuador.
- Detallar las redes de sensores inalámbricos empleados en la agricultura de precisión en el Ecuador.
- Mencionar las ventajas y desventajas de las redes sensores inalámbricos en la agricultura de precisión en el Ecuador.

2. Aspectos metodológicos

2.1 Materiales

2.1.1 Recursos bibliográficos

Para la elaboración del trabajo monográfico se utilizaron las siguientes fuentes de información:

- Libros especializados sobre el tema.
- Revistas especializadas en temas tecnológicos.
- Artículos científicos sobre el tema.
- Páginas y sitios de internet especializados en temas tecnológicos e informáticos.
- Biblioteca virtual de la Universidad Agraria del Ecuador.

2.1.2 Materiales y equipos

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron los siguientes materiales y equipos

- Textos impresos.
- Computador.
- Hojas A4.
- Cuaderno de apuntes.
- Internet.
- Lápiz.
- Esferos.
- Diccionario.

2.1.3 Recursos humanos

- El estudiante como proponente de la investigación.

- El docente guía asignado quien realizo las sugerencias y correcciones del trabajo.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad y tipo de investigación

- Bibliográfica.
- Explicativa.
- Descriptiva.

2.2.2 Tipos de métodos

2.2.2.1 Método inductivo

Este método ayudó a estudiar y conocer a partir de hechos particulares todo lo relacionado con el análisis de las redes de sensores inalámbricos en la agricultura de precisión en el Ecuador.

2.2.2.2 Método deductivo

Este método permitió extraer conclusiones de las funciones específicas de las redes de sensores inalámbricos en la agricultura de precisión en el Ecuador.

2.2.2.3 Método analítico

La información recopilada tuvo su respectivo análisis con el propósito de comprender el estudio de las redes de sensores inalámbricos en la agricultura de precisión en el Ecuador.

2.2.2.4 Método analítico - sintético

El analítico-sintético permitió, dentro de la investigación, hacer una descomposición en partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los hechos objeto de estudio. Además, consentirá la posibilidad de resolver y construir el conocimiento asumiendo en cuenta la comprensión cabal y verdadera

sobre análisis de las redes de sensores inalámbricos en la agricultura de precisión en el Ecuador.

2.2.3 Técnicas

Con la finalidad de contar con procedimientos e instrumentos que apoyen a los métodos para que de forma sistemática, racional y reflexiva poder acceder al conocimiento; el presente trabajo monográfico utilizó la recopilación bibliográfica, pues esta técnica permite la colección de información para indicar las teorías que sustentan el estudio de los procesos, lo que ayuda a elaborar un marco teórico conceptual para formar un cuerpo de ideas sobre el tema de estudio. La recopilación de información tuvo como fuentes primarias de investigación: libros, revistas, artículos científicos, informes técnicos, repositorios, tesis y además se implementar el uso de fichas bibliográficas.

2.2.3.1 Observación directa

Es aquella en la cual el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que trata de investigar.

2.2.3.2 Observación indirecta

Cuando el investigador entra en conocimiento del hecho o fenómeno observando a través de otras investigaciones realizadas anteriormente por otras personas.

2.3 Marco legal

Este trabajo monográfico se basa en el plan Toda una Vida en la sección Equipamiento y Conocimiento que dice:

El acceso equitativo a infraestructura, equipamiento y conocimiento alude a la organización de los asentamientos humanos en su interacción con los sistemas productivos, en miras a favorecer el desarrollo territorial sistémico. Las redes de infraestructura crean condiciones para el traslado de personas y el intercambio de bienes, servicios e información y conocimiento, así como para el fomento de la producción y relacionamiento a nivel nacional y regional. Por otra parte, los equipamientos dotan a la población de servicios públicos para el desarrollo pleno de sus potencialidades. Esta directriz parte no solo del análisis espacial de ubicación, sino que lo complementa desde una lógica funcional. La

funcionalidad de los asentamientos humanos optimiza los flujos y alerta de manera temprana las desconexiones suscitadas por enclaves territoriales. Los esfuerzos por profundizar la equidad y avanzar en la garantía de derechos implican generar las condiciones materiales para consolidar una red policéntrica de asentamientos inclusivos, sostenibles y resilientes, que posibiliten el desarrollo de las oportunidades y capacidades humanas considerando el ambiente como una variable de derechos. Los servicios públicos, los sistemas de transporte, el espacio público y las áreas verdes se deben orientar al bienestar común de las personas, promoviendo la accesibilidad y asequibilidad de los mismos, en particular para los grupos de atención prioritaria y los grupos históricamente excluidos. La construcción, operación y mantenimiento de la inversión pública –en particular el sistema vial, la vivienda de interés social y el equipamiento social– debe tener pertinencia territorial, tanto en términos ambientales como culturales, propiciando el desarrollo endógeno a escala local. La equidad se construye con territorios seguros y resilientes, tanto en términos de convivencia ciudadana como reducción de vulnerabilidades, gestión de riesgos y adaptación al cambio climático. La infraestructura productiva, la tecnología y el conocimiento son elementos fundamentales para fortalecer los circuitos comerciales solidarios, los encadenamientos productivos y las economías de escala capaces de dinamizar la competitividad sistémica del territorio nacional. Actualmente, los recursos naturales constituyen la base de la economía nacional, esto implica que la explotación de recursos no renovables debe ser con criterios de responsabilidad social y ambiental. Las posibilidades de transformación estructural, con miras a incrementar la productividad y la generación de valor agregado nacional, requieren de una distribución justa de los medios de producción.

d. Impulso a la productividad y la competitividad sistémica a partir del potenciamiento de los roles y funcionalidades del territorio.

d.15. Impulsar programas de investigación, formación, capacitación y actualización que respondan a las potencialidades y necesidades territoriales, promoviendo la inserción laboral de manera eficiente (Senplades, 2017).

3. Análisis y revisión de la literatura

3.1 La agricultura de precisión en el Ecuador.

3.1.1 Agricultura de precisión.

La agricultura de precisión surgió en Estados Unidos como un ciclo de realimentación anual donde se obtenían resultados relacionados con aplicación de insumos en función de las necesidades específicas del terreno. Con el paso del tiempo, se empezaron a utilizar las TIC para mejorar el manejo de suelos y cultivos; como resultado, las aplicaciones de AP se extendieron y adaptaron a diferentes labranzas, productos y países (Moposita y Mora, 2018).

La agricultura de precisión, conocida también como agricultura específica por sitio, usa tecnologías de información espacial, tales como los sistemas de posicionamiento global (GPS) y sistemas de información geográfica (SIG), para mejorar las decisiones agronómicas de diferentes cultivos (Lizarazo y Alfonso, 2011).

La agricultura de precisión es la aplicación de tecnologías y principios para el manejo de la variabilidad espacial y temporal asociada a todos los aspectos de la producción agrícola, con el propósito de mejorar la productividad del cultivo y la calidad ambiental (Castellanos y Morales, 2016).

La agricultura de precisión utiliza las TICS para mejorar el manejo del suelo y de los cultivos, además utilizan tecnologías de información espacial como son el sistema de posicionamiento global y sistemas de información geográfica para realizar levantamientos topográficos del terreno de un cultivo.

La agricultura de precisión es uno de los campos de acción de la teledetección, ya que las prácticas agrícolas requieren la adquisición, el procesamiento y la interpretación de una gran cantidad de datos, de manera precisa, de extensas

áreas. Se apoya en la teledetección para gestionar eficientemente los recursos en el lugar, tiempo y momento adecuados, evitando pérdidas económicas y productivas (Campo, Corrales, y Ledezma, 2015).

La informática, los sistemas de información geográfica (SIG), los de posicionamiento global (GPS) y los desarrollos de máquinas y equipos han facilitado la agricultura específica por sitio (AEPS); también llamada agricultura de precisión, que busca optimizar el proceso productivo a partir de la variabilidad del agro ecosistema. Esta permite un mayor conocimiento del sistema productivo, facilita la utilización racional de los insumos y puede mejorar la productividad; lo cual aporta considerables beneficios técnicos y económicos (Rizo, Vuelta, y Lorenzo, 2017).

La agricultura de precisión (PA) con el uso de percepción remota (PR), sistemas de información geográfica (SIG) y sistemas de posicionamiento global (GPS) es potencialmente, una de las más poderosas herramientas procesos y técnicas para la competitividad de la agricultura (Aguilar, 2015).

La agricultura de precisión permite gestionar eficientemente los recursos agrícolas, evitando pérdidas económicas debido a que facilita el uso racional de insumos agrícolas, lo cual mejora la productividad.

3.1.2 Tecnologías y elementos de la agricultura de precisión.

Existe un consenso general acerca de las tecnologías y elementos que se utilizan en la agricultura de precisión, los cuales se encuentran abarcados por la geomática o disciplina de reunir, analizar, interpretar, distribuir y utilizar información geográfica. Dichas tecnologías y elementos se describen en la Tabla 3 (Arley y Llano, 2016).

Las tecnologías y elementos utilizados en la agricultura de precisión emplean la información geográfica y son: la tecnología de dosis variable, el GPS (Sistema de Posicionamiento Global), el GIS (Sistema de Información Geográfica), los sensores remotos y los drones.

3.1.2.1 Tecnología de dosis variable

La tecnología de dosis variable y manejo sitio específico se utilizan genéricamente como sinónimos y consisten en la aplicación de dosis variables de insumos de acuerdo a las necesidades y/o potencial productivo de sectores homogéneos de la unidad de producción. Esto contrasta claramente con el manejo tradicional, en donde los insumos son aplicados uniformemente a toda la unidad productiva. Esta tecnología es la que permite implementar en el campo el manejo de sitio específico, que faculta el poder manejar cada lote en forma independiente y de acuerdo a sus necesidades, ya que distingue e identifica variables dentro del lote principal (Ministerio de Agricultura de Chile, 2008).

En la tecnología de dosis variable se aplican dosis variables de insumos de acuerdo a las necesidades del cultivo, pero en sectores específicos, a diferencia del manejo tradicional que se lo aplica en todo el cultivo.

3.1.2.2 Sistema de Posicionamiento Global GPS

El GPS permite conocer la posición de un vehículo en la parcela. Está basado en la utilización de un conjunto de satélites. Teniendo en cuenta las “interferencias” es necesario disponer, además de un receptor GPS, de una señal de corrección para obtener una precisión de medida compatible con los requerimientos agrícolas (Gil, 2010).

Las aplicaciones en la agricultura de precisión basadas en el GPS se están usando, además, en la planificación de cultivos, el levantamiento de mapas topográficos, muestreo de los suelos, orientación de tractores, exploración de cultivos, aplicaciones de tasa variable y mapas de rendimiento. Además, el GPS permite a los agricultores trabajar en condiciones de baja visibilidad en los campos, por ejemplo con lluvia, polvo, niebla o penumbra (Gps, s.f).

El empleo del GPS permite que los agricultores puedan recopilar datos sobre sus terrenos de cultivo, ya sea durante la cosecha o previamente a ella, de tal manera que hoy por hoy los cultivos ya no han de ser necesariamente tratados como una superficie de terreno de características homogéneas, sino que pueden ser tratados acorde con sus características espaciales (Lago, y otros, 2011).

El GPS es un dispositivo que permite obtener una medida de precisión en un terreno agrícola, es utilizado en el levantamiento de mapas topográficos, muestreo de suelos y mapas de rendimiento, se basan en un conjunto de satélites que envían la señal a un receptor.

3.1.2.3 Sistema de Información Geográfica

Un Sistema de información Geográfico (SIG), es un término que describe un sistema basado en computador que tiene la capacidad para ingresar, almacenar, manipular y presentar datos que están geográficamente referenciados. El manejo de un SIG, es de vital importancia en la agricultura de precisión, ya que permite generar visiones complejas del terreno de trabajo, para tomar decisiones como la aplicación de fertilizantes o determinar las causas de variabilidad (Agriculturers, 2017).

En la actualidad, los Sistemas de Información Geográfica ocupan un papel importante en el ámbito de la información, la muestra más significativa de esto es el esfuerzo e inversión que se destina a diseñar, implantar y mantener sistemas de información, entendidos como, unidades funcionales que, dotadas de los medios apropiados se dedican a recopilar, almacenar, tratar o transformar, difundir o vender información (Gallego y Ventura, 2018).

Un Sistema de Información Geográfica (SIG), también denominado Geographics Information System (GIS), es un conjunto de programas y aplicaciones informáticas que permite la gestión de datos organizados en una base de datos, referenciados espacialmente y que pueden ser visualizados mediante mapas (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, 2010).

Un sistema de información geográfica, es un grupo de aplicaciones que ayudan a la organización de información en una base de datos, permite almacenar y presentar datos geográficos de los terrenos de un cultivo, lo cual permite la fácil aplicación de insumos a los mismo.

3.1.2.4 Sensores remotos

Los sensores remotos son sistemas (satelitales o portátiles) que obtienen información del cultivo, sin tener un contacto físico con éste. Se emplean en la recolección de datos sobre la administración del agua de riego, contenido de materia orgánica, vigor de las plantas (por ejemplo, su contenido de clorofila), enfermedades vegetales, plagas, mapeo de malezas, sequía e inundaciones. Para ser eficientes, deben estar bien calibrados y poseer suficiente resolución (Santillán y Rentería, 2018).

Los sensores remotos son parte del IoT (Internet de las Cosas): son una tecnología que mide y detecta datos de interés con una fiabilidad extrema, y en caso de que sea necesario, los procesa para apoyar la toma de decisiones del agricultor. Gracias a los sensores remotos, de hecho, obtendrá muchos conocimientos sobre la tierra y las plantas, algo útil para realizar los tratamientos en el mejor momento y solamente en las proporciones que sean necesarias (Precision Agriculture, 2018).

El principio de los sensores remotos está basado sobre la noción del espectro electromagnético, ya que miden la energía que es reflejada o emitida por los elementos que constituyen la superficie terrestre como rocas, suelos, vegetación, agua, etc., así como los de origen antrópico (construcciones urbanas, vías de comunicación, etc.), sin entrar en contacto con ellos (Ecured, s.f).

Los sensores remotos permiten obtener información de los cultivos sin la necesidad de tener contacto físico con el mismo. Se emplean para recopilar datos de temperatura, humedad, espectros electromagnéticos, lo cual ayuda al agricultor a tomar las mejores decisiones al momento de realizar un riego, aplicar fertilizantes o fumigar las plantas.

3.1.2.5 Drones

Un dron se puede definir como un vehículo aéreo no tripulado por sus siglas VANT o por sus siglas en inglés UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Existen varios tipos y formas de VANT's que pueden desarrollar diversos tipos de tareas. Estos vehículos son muy utilizados por la gran estabilidad que tienen gracias a sus 4 hélices (ver figura1) (Villareal, López , Castellanos, y López, 2015).

Los vehículos no tripulados o simplemente drones pueden ser aéreos, terrestres o acuáticos. En cualquiera de los casos, estos equipos se encuentran en constante evolución y su aplicación se ha extendido a los diferentes campos del conocimiento humano, en las ciencias e ingenierías, especialmente, el tema que abordamos sobre la agricultura de precisión (Pino, 2019).

Actualmente se está trabajando en el desarrollo de drones con una mayor autonomía de vuelo y mayor porte para realizar aplicaciones en tiempo real. Estos aparatos cargan dos depósitos para agroquímicos de 8 litros, uno a cada lado del fuselaje, y 4 boquillas de chorro plano para conseguir aplicaciones muy específicas y en lugares de difícil acceso para otros vehículos en cultivos de gran valor (Pérez, Quebrajo, Martínez, y Agüera, 2015).

Un dron es un vehículo aéreo no tripulado que en estos tiempos está siendo utilizado para realizar levantamientos topográficos, mediciones de temperatura de las plantas, fumigaciones a los cultivos entre otras actividades que conlleva la agricultura de precisión.

3.1.3 Ciclo de la agricultura de Precisión

El ciclo de la Agricultura de Precisión se podría resumir en las 4 etapas que se muestran en el siguiente esquema: (ver figura 2) (Grupo de Investigación en Agrícola y Agricultura de Precisión, 2014).

El ciclo comienza con la Adquisición de datos del cultivo y de su entorno. La variedad y cantidad de datos es tan amplia como nuestra capacidad tecnológica y como el número y variedad de sensores que tengamos. Algunos de los sensores más utilizados son: Humedad en suelo, caudalímetro, conductividad eléctrica (CE), geolocalización, medidor pH, tipo de suelo, probabilidad de plagas y enfermedades. Una vez que son registrados los datos,

estos deben ser tratados para facilitar su interpretación y entendimiento, para ello se usan todas las herramientas estadísticas y matemáticas que tenemos a nuestro alcance como pueden ser: AgGis, clasificación de datos, gráficas, mapeado (Qampo, 2019).

Esta información se utilizará en la etapa de Toma de decisiones. Esta etapa es donde se deciden las operaciones de manejo agronómico que hay que llevar a cabo y de qué manera. La primera decisión es sobre si continuamos haciendo un manejo uniforme del campo o si éste presenta una variabilidad tal que recomiende hacer un manejo diferenciado. Este manejo implica decidir si se aplica o no un determinado recurso a las diferentes zonas del campo (fertilizante, riego, fitosanitarios, siembra, etc.) y con qué dosis hay que aplicarlo. Actualmente, esta etapa es uno de los cuellos de botella de la AP y la que requiere más investigación. Finalmente, cabe Actuar en el campo con el fin de aplicar los recursos necesarios o realizar las operaciones necesarias. Si la actuación debe ser diferenciada, es posible que necesitamos utilizar las llamadas Tecnologías de Actuación Variable, en inglés Variable Rate Technologies (VRT), que permiten que los equipos autorregulen para modificar las dosis de aplicación de acuerdo con la prescripción elaborada en la etapa de toma de decisiones (Grupo de Investigación en Agrónica y Agricultura de Precisión, 2014).

La agricultura de precisión se resume en 4 etapas principales que son: la adquisición de datos del cultivo y de su entorno, registrar los datos, tomar decisiones y actuar en el campo con el fin de aplicar los recursos necesarios.

3.1.4 Beneficios de la agricultura de precisión

Los beneficios que la Agricultura de Precisión puede entregar a un agricultor, corresponden a información de calidad y oportuna para una adecuada toma de decisiones, lo que se traduce en incremento de productividad e ingresos (Promus, 2017).

Permite a los agricultores elegir las tecnologías que más convengan a sus intereses y a sus capacidades de inversión. La adopción de una sola tecnología es la mejor opción para huertos pequeños, menores o iguales a una hectárea, pues representa un bajo costo de inversión. La combinación de dos o más tecnologías es idónea para terrenos de mayores dimensiones (cooperativas agrícolas o productores consolidados). La adopción integrada (donde cada paso de la producción cuenta con alguna tecnología) es conveniente para cultivos a gran escala y de alto valor (Santillán y Rentería, 2018).

Además, presenta otros beneficios tales como:

- Permite identificar qué tipo de riego necesita la zona.
- Ayuda igualmente a saber si necesitamos aplicar fertilizantes y qué técnica de cultivo es la más conveniente.
- Con apoyo en las tecnologías usadas, también es posible identificar el tipo de plagas que pueden atacar la producción y llevar un rigor mucho más eficiente, en los controles anti plagas.
- Se ahorran recursos vitales como agua, nutrientes y energía.
- El impacto medioambiental también disminuye, porque se precisa mejor cuáles son los recursos naturales que podemos emplear para mejorar la productividad de los campos.

- Reduce costes de producción y se obtienen mayores rendimientos, mejorando los márgenes de rentabilidad (Sembrar100, 2018).

En la agricultura de precisión una de las ventajas es que el agrónomo puede estar sentado desde su casa o desde su oficina en la ciudad y monitorear grandes extensiones de tierra sin tener que estar presente, conociendo las condiciones y el estado de humedad y temperatura en toda la finca; además logra incrementar la rentabilidad de las explotaciones, reduce el impacto ambiental, debido a que minimiza el aporte de elementos contaminantes al entorno, evita el desperdicio de recursos y ayuda a ser más precisos en la toma de decisiones (Sanchez, 2018).

Los principales beneficios de la agricultura de precisión son: entregar información de calidad al agricultor para tomar las mejores decisiones, permite identificar el tipo de riego, permite aplicar un determinado tipo de fertilizante, permite identificar el tipo de plagas, ahorro de agua, nutrientes y energía, reduce costos de producción y el agricultor puede monitorear el cultivo desde su casa u oficina.

3.1.5 La agricultura de precisión en el Ecuador

En el Ecuador, en cuanto a temas tecnológicos, el sector agrícola va a la cabeza como es claro ejemplo de las florícolas. Dicho sector ha tenido importantes avances en términos tecnológicos en los últimos años. Por ejemplo, se ha tenido varios avances en cuanto a invernaderos, control de humedad, ventilación y control de plagas. En cuanto al riego se han implementado ya sistemas de riego moderno, con tecnología israelí, riego por goteo, automatización y control de válvulas, frecuencias, tiempos y volúmenes de control. También se ha visto un importante avance en cuanto a sistemas de

calefacción que se apoyan en estaciones meteorológicas que ayudan a controlar la temperatura junto con sensores que miden la humedad relativa y la temperatura en forma constante mejorando condiciones y productividad del cultivo (Narvaez, 2008).

En Ecuador ha sido muy baja la implementación de la agricultura de precisión en actividades bananeras, florícolas y azucareras, pero se abren grandes perspectivas para su paulatina adopción. Se trata de ejecutar las labores agrícolas, como fertilización, control de malezas, plagas y enfermedades, manejo de agua, recolección y otras, de acuerdo a las particulares condiciones de los lotes que conforman una superficie productiva, integrando además datos meteorológicos y de conservación ambiental, en procura de alcanzar los más altos rendimientos, a los más bajos costos, ya que los insumos serán los estrictamente requeridos por las plantas, en cada segmento de suelo (Saltos, 2011).

La agricultura de precisión en el Ecuador es empleada en las florícolas, bananeras y empresas azucareras, la emplean para realizar riegos automatizados, control de plagas, control de humedad y ventilación; usan drones para verificar plagas y hacer levantamientos topográficos.

3.2 Redes de sensores inalámbricos empleados en la agricultura de precisión en el Ecuador

3.2.1 Red de sensores inalámbricos

Las Redes de Sensores Inalámbricos o WSN (Wireless Sensor Networks) están conformadas principalmente por micro sensores los que están desplegados en una región a monitorizar y estos al ser integrados permiten a la red examinar, recolectar, procesar y transmitir datos de variables dentro del

área de cobertura por medio del control de sus parámetros asociados (Cama, y otros, 2016).

Una red de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks - WSN) consiste en dispositivos distribuidos y espaciados libremente utilizando sensores para monitorear condiciones físicas de un fenómeno. O sea que una WSN se refiere a un conjunto de sensores espacialmente distribuidos, propuestos para supervisar, registrar y organizar los datos recogidos enviados a una ubicación central de forma autónoma, que permite el monitoreo de algunas variables ambientales (Vera, Barbosa, y Pabón, 2014).

La red de sensores inalámbricos está conformada por varios nodos distribuidos espacialmente, los cuales utilizan sensores para monitorear diferentes parámetros como temperatura, humedad, sonido, vibraciones, presión, movimientos y agentes contaminantes (Vela, 2016).

Las redes de sensores inalámbricos están conformadas de micro sensores que se despliegan en la zona que se quiere monitorizar, para recolectar, almacenar y transmitir datos de variables ambientales como la humedad, la presión y la temperatura, los mismos que son enviados a un computador central para la toma de decisiones.

Una Red de sensores inalámbricos (RIS) consiste de varios módulos electrónicos (nodos sensores) que tienen acoplados diferentes sensores cada uno. Los nodos sensores son distribuidos en un área general a monitorear. Cada nodo sensor mide de forma puntual las variables, utilizando los sensores que le fueron incorporados, para luego procesar esta información. Después la información en el nodo sensor es transmitida de modo estratégico e inalámbrico entre los demás nodos sensores de la RIS o de manera directa a

un nodo coordinador. El nodo coordinador por lo común es conectado a un servidor, donde se registra toda la información de la RIS (Flores, Flores, Velasco, González, y Jurado, 2015).

Con una red de sensores inalámbricos, se pueden supervisar de forma automática las variables medioambientales y a la vez mantener un registro histórico de su comportamiento para estudios y decisiones futuras. Los sensores inalámbricos brindan además la flexibilidad y facilidades de instalación y mantenimiento (Lidice, Piña, y Goire, 2018).

Las redes inalámbricas de sensores electrónicos representan una solución interesante al momento de adquirir varias variables en lugares diferentes sin necesidad de tener que implementar cableado ni canalizaciones que incrementan los costos de los sistemas (Pérez, Urdaneta, y Custodio, 2014).

Con una red de sensores inalámbricos, se puede monitorear de forma automática variables medioambientales, ya que usa sensores que se encuentran acoplados en la red, los cuales cumplen diferentes funciones y ayudan a realizar un registro histórico del comportamiento de las variables y tomar futuras decisiones.

3.2.2 Componentes de una red de sensores inalámbricos.

Las Redes de sensores inalámbricos necesitan algunos dispositivos que permiten la comunicación, entre los cuales se tienen: Sensores, Nodos (Motas), Gateway, Estación Base: (ver figura 3) (Guaña, 2016).

Sensor: Es un dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente. La definición hace referencia a dos hechos fundamentales en el trabajo de un sensor: siempre se mide algún parámetro físico y no es útil si no se hace llegar la información

obtenida a un elemento capaz de procesarla para suministrar valor añadido en alguna funcionalidad de un sistema de nivel superior (Pérez F. , 2011).

Nodo o mota: Son dispositivos electrónicos, que captan información proveniente del entorno en el que se encuentran, para procesarla y transmitirla inalámbricamente con el apoyo de motes vecinos, en general a través de una red multi salto, hacia el gateway que conduce hacia una red con infraestructura. Normalmente son alimentados con una fuente independiente de energía como una batería o celda solar. Se consideran elementos con capacidad de procesamiento, memoria e interfaz de comunicación. Los componentes de su hardware brindan la opción de comunicación (enviar/recibir información), ejecutando tareas que requieren procesamiento más allá de efectuar funciones de sensado. Entre los componentes principales del mote se encuentran: transceptor, microcontrolador, memoria, sensor y batería.

Gateway: En general, en una red cualquiera un gateway es un nodo capaz de conectar dos redes con diferentes protocolos. En el caso de la RIS este nodo se comporta como un puente entre la red ad-hoc de sensores y la unidad de control externa representada por redes con infraestructura.

Radio Base: Unidad encargada de la recolección de los datos proveniente de los nodos, y está representado por una unidad de procesamiento (computador, servidor, etc) (Torres, Malavé, y Marquis, 2012).

Los componentes principales de una red de sensores inalámbricos son: el sensor, el nodo o mota, el gateway y una estación base, los cuales cumplen una función específica dentro de la red.

3.2.3 Topología de red de sensores inalámbricos.

Las topologías que suelen implementarse dependen de la cantidad de nodos que existan, de la tasa de datos que van a ser enviados, de la distancia de transmisión y requerimientos de energía, lo cual nos deja tres posibilidades de aplicar topologías (ver figura 4)

3.2.3.1 Topología estrella

Esta topología es simple ya que tenemos un nodo que realiza la función de sumidero o coordinador que puede enviar y/o recibir los mensajes de los nodos restantes. Entonces, solo pueden comunicarse con el nodo sumidero mientras que entre ellos la comunicación es nula. Este tipo de topología tiene la ventaja de mantener a los nodos remotos con un mínimo consumo de energía lo cual permite que existan comunicaciones de baja latencia (Bravo y Belduma, 2017).

3.2.3.2 Topología Mesh

Esta topología de red trata de que todos los nodos puedan enviar y recibir datos; además que sean diferentes y tengan la característica de router (Sanmartín y Álvarez, 2018).

3.2.3.3 Topología híbrida

Esta denominación corresponde a un híbrido que se forma aplicando una estructura de árbol o malla a varias estrellas. Cada estrella es un grupo (cluster), y el conjunto será un árbol de grupo (cluster tree) (Vera, Barbosa, y Pabón, 2017).

Las topologías de red utilizadas en las redes de sensores inalámbricos son: malla, estrella e híbrida, y se aplica una de ellas de acuerdo a la cantidad de nodos que existan en la red.

3.2.4 Estándares de redes de sensores inalámbricos

El valor de las redes inalámbricas de sensores se basa en su bajo coste y su distribución en grandes cantidades. Para lograr las economías de escala necesarias para alcanzar un mercado de bajo coste, algunos elementos de las redes inalámbricas de sensores deben ser estandarizados, de manera que los productos de muchos fabricantes puedan interoperar. Esta sinergia añade utilidad a las redes inalámbricas de sensores y, por tanto, fomentará su uso. Con este fin, se están realizando esfuerzos para estandarizar las distintas capas de los protocolos de comunicación de redes de sensores inalámbricos, incluyendo la carga útil de los datos enviados por sus sensores. Estos estándares son: IEEE 802.15.4, 6LoWPAN, ZigBee, WirelessHART, ISA 100.11, Bluetooth Low Energy (Villalba, 2015).

Las redes de sensores inalámbricos son de bajo costo y se distribuyen en gran cantidad, por lo cual es importante estandarizar ciertos elementos para que los fabricantes puedan mantener la misma calidad. Por ello se han realizado estándares de varios protocolos los cuales son: IEEE 802.15.4, 6LoWPAN, ZigBee, WirelessHART, ISA 100.11, Bluetooth Low Energy.

3.2.4.1 El estándar IEEE 802.15.4

Esta norma define una capa de comunicación en el nivel 2 del modelo OSI (Open System Interconnection). Su objetivo principal es permitir la comunicación entre dos dispositivos. Fue creado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), entidad que la principal tarea es establecer normas para que los avances tecnológicos pueden contar con una plataforma común de normas que se establezcan por medio de la política (Palacios y Maya, 2017).

El estándar IEEE 802.15.4, cuya última revisión se aprobó en 2006, define una capa de comunicación que se encuentra en el nivel 2 (enlace de datos) del modelo OSI. Aquí las unidades de la información digital (bits) son gestionados y organizados para convertirse en impulsos electromagnéticos (ondas) en el nivel inferior, el físico. Su objetivo principal es permitir la comunicación entre dos dispositivos. La característica más importante de este estándar es su flexibilidad de red, bajo coste, bajo consumo de energía. Este estándar fue creado para llenar el hueco existente en el campo de estándares inalámbricos de baja tasa para las aplicaciones en redes de sensores (Tirira, 2017).

El estándar IEEE 802.15.4 define una capa de nivel 2 del modelo OSI, el cual permite la comunicación entre dos dispositivos, es de bajo costo, da flexibilidad a la red y consume poca energía. Se aplica en el campo inalámbrico y en aplicaciones de redes de sensores.

3.2.4.2 El estándar 6LoWPAN

El 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks), es un protocolo diseñado para permitir la transmisión de paquetes IP en redes basadas en el estándar IEEE 802.15.4. Asimismo, está diseñado para aplicaciones con un flujo de datos muy bajo y unos recursos muy limitados (Molinero, 2018).

El protocolo 6LoWPAN es un estándar abierto definido por la IETF (Internet Engineering Task Force), tal como lo indica su nombre “IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks” es una tecnología de red o capa de adaptación que permite el envío eficiente de paquetes IPv6 dentro de tramas pequeñas de la capa de enlace de datos como las definidas en el estándar IEEE 802.15.4. La red 6LoWPAN se conecta a Internet mediante un router

frontera (Edge Router), el cual realiza tres funciones fundamentales: Intercambio de información entre los nodos 6LoWPAN e Internet, intercambio de información entre los nodos 6LoWPAN y generación y mantenimiento de la red 6LoWPAN (ver figura 5) (Enríquez y Fernández , 2017).

El protocolo 6LowPAN es un estándar abierto que permite el envío de paquetes IPv6 dentro de la capa de enlace de datos con un flujo de información bajo y recursos limitados y se conecta internet mediante un router Edge.

3.2.4.3 ZigBee

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN). IEE.802.15.4 define las capas físicas y MAC, y Zigbee define las capas de red y aplicación. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. Convirtiéndose en una alternativa ideal para redes de sensores, ya que además presenta la posibilidad de generar redes en malla para admitir la comunicación entre un gran número de dispositivos (Albornoz y Soto, 2018).

ZigBee es un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación. Se utiliza para la radiodifusión digital de datos buscando ahorrar lo máximo posible en energía. Una tecnología basada en el estándar de la IEEE, el IEEE 802.15.4. La tecnología de comunicación inalámbrica ZigBee utiliza la banda ISM y por lo general, adopta la banda 2.4GHz para comunicarse con el resto de dispositivos ya que esta se adopta en todo el mundo (Gutiérrez, 2015).

ZigBee es un conjunto de protocolos inalámbricos basados en el estándar IEEE802.15.4, el cual define la capa física y la MAC. Es utilizado para la radiodifusión digital y utiliza la banda ISM a 2.4 GHz para comunicarse con los otros dispositivos.

3.2.4.4 WirelessHART

WirelessHART es una tecnología inalámbrica específicamente concebida para la automatización de procesos. Añade capacidades inalámbricas al protocolo HART a la vez que mantiene la compatibilidad con dispositivos HART existentes, comandos y herramientas. Tiene algunas características tales como la auto-organización de la red, que garantiza una operativa confiable, flexibilidad de instalación y fácil puesta en marcha. La seguridad e integridad de la información está garantizada gracias a una comunicación sincronizada, encriptada y protegida con varias claves según el estándar AES128 (Endress+Houser, s.f).

WirelessHART es un estándar global aprobado por IEC (IEC 62591) que especifica una tecnología interoperable de malla auto organizado en la que los dispositivos de campo forman redes inalámbricas que dinámicamente mitigan obstáculos en el entorno del proceso. Las redes de campo WirelessHART (WFN) comunicar datos a los sistemas host de forma segura y confiable, y puede usarse para control y aplicaciones de monitoreo (Engineering Guidelines, 2016).

WirelessHART es un estándar de tecnología inalámbrica. Entre sus principales características tenemos: la auto-organización de la red, la flexibilidad de instalación y la fácil puesta en marcha, lo que permite una comunicación de datos segura y confiable.

3.2.4.5 ISA 100.11

ISA100.11a está destinado a ser parte de un grupo de estándares diseñados especialmente bajo criterios como: flexibilidad, soporte múltiples protocolos, uso estándares abiertos, soporte múltiples aplicaciones, fiabilidad (detección de errores, salto de canal), determinismo (TDMA, soporte QoS) y seguridad. Con el objetivo de soportar un amplio rango de necesidades de plantas industriales Wireless, incluyendo automatización de procesos, automatización de fabricación y RFID (Sala, 2014).

El estándar ISA100.11 está diseñado para aplicaciones de monitorización y procesos de automatización de baja tasa de datos. Define las especificaciones para las capas OSI de seguridad y gestión. El estándar se centra en un consumo de energía bajo, escalabilidad, infraestructura, robustez e interoperabilidad con otros dispositivos inalámbricos. Las redes ISA100.11 usan la banda de 2.4 GHz y salto de canal (channel hopping) para aumentar la fiabilidad y reducir al mínimo las interferencias. Soporta topología en malla y en estrella. ISA100.11 también proporciona funcionalidad de seguridad simple, flexible y escalable (Villalba, 2015).

El estándar ISA100.11 fue diseñado para monitorear procesos de automatización con bajas tasas de transferencia de datos, usa la banda de 2.4 GHz y salto de canal lo que lo hace más fiable y reduce las interferencias.

3.2.4.6 Bluetooth Low Energy

La tecnología Bluetooth Smart o Bluetooth Low Energy (BLE). Es de bajo consumo de energía y está dirigida con implementaciones de redes de área personal inalámbricas o WPAN (por sus siglas en inglés), con teléfonos inteligentes. Su alcance es cientos de metros (Vega, Lagos, y Salgado, 2017).

Bluetooth Low Energy (BLE) es una tecnología Wireless basada en el estándar BT 4.0, que gracias al uso de poca energía tiene transpondedores que siguen emitiendo un ping rate ajustable. Funciona en las frecuencias de 2,4 GHz y fue creada por razones de marketing para dispositivos Smartphone y Tablet, casi en contraste con la tecnología NFC, cuya principal diferencia es la distancia de lectura, que en el caso de la tecnología BLE puede llegar hasta 100 metros. El potencial de esta tecnología, sin embargo, va más allá de los usos en el campo del marketing a través de los dispositivos móviles, y van a comprender aplicaciones que hasta hoy se implementaban con la tecnología RFID activa (Global Tag, 2019).

La tecnología Bluetooth Low Energy es usada para la implementación de redes inalámbricas personales usando teléfonos inteligentes, está basado en el estándar BT 4.0, funciona con la banda de 2.4 GHz y fue creado para Smartphone y Tablet.

3.2.5 Redes de sensores inalámbricos en la agricultura de precisión en el Ecuador

En el sector agrícola de la ciudad de Ibarra se ha observado una escasez de agua de riego para la producción, debido a los cambios climáticos que en la actualidad se presentan. Por tal motivo se está usando una red inalámbrica de sensores que trabaja con el estándar 6LoWPAN, que permite monitorear las variables aplicadas a la agricultura de precisión como: humedad relativa, temperatura, humedad de suelo, luz y lluvia. Esta red envía las mediciones recolectadas a una aplicación llamada estación-servidor para ser almacenadas en una base de datos; posteriormente serán visualizados en forma gráfica la medición actual o el historial de los cultivos por medio de una página web

adaptiva a cualquier terminal como: Pc, Tablet o teléfono inteligente. Además, dependiendo de los parámetros de las mediciones, permite activar o desactivar en forma automática los dispositivos de un riego por goteo como: motobomba y electroválvulas para reponer agua al suelo donde necesitan los cultivos (Maya y Chafra, 2014).

La agricultura constituye una de las áreas donde puede y se están implementando las redes inalámbricas de sensores. Este tipo de tecnología favorece una reducción en el consumo de agua y pesticidas, contribuyendo a la preservación del entorno. Adicionalmente, pueden generar alertas sobre la llegada de heladas, inundaciones, incendios, etc. La agricultura de precisión cubre múltiples prácticas relativas a la gestión de cultivos y cosechas, árboles, flores y plantas, ganado, etc. Por medio de sensores estratégicamente situados, se pueden monitorizar parámetros tales como la temperatura y la humedad relativa del suelo, la temperatura y humedad de las hojas, la radiación solar, con el fin de detectar rápidamente situaciones adversas y desencadenar los tratamientos apropiados (Urbano, 2013).

Las redes inalámbricas de sensores WSN (Wireless sensor Network) han demostrado ser una herramienta útil para diversas aplicaciones, entre las cuales está la agricultura, ya que a grande y pequeña escala permiten monitorear, controlar y mantener el estado de cualquier objeto o área muestreada. En un campo de cultivo permitirían monitorear parámetros físicos de cada planta, como la temperatura y la humedad, permitiendo también modificar estos parámetros para mantener el estado ideal de cada planta y obtener el mejor producto final para el consumo humano. Sin embargo, cada uno de estos procedimientos consume cierta cantidad de energía en un sensor,

y toda la información recopilada debe ser enviada de forma inalámbrica a un centro colector (ver figura 6) (Cedeño, Zambrano, y Medina, 2014).

En el Ecuador las redes de sensores inalámbricos aplicadas en la agricultura de precisión, se están usando para monitorear la humedad relativa, la temperatura, la humedad de suelo, la luz y la lluvia, además favorecen en la reducción del consumo de agua y pesticidas. En los cultivos, ayudan a controlar la temperatura y la humedad de cada planta para mantener el estado ideal de la misma y entregar un buen producto para el consumo humano.

Actualmente, las redes de sensores son de gran interés en la realización de estudios fisiológicos y agronómicos relacionados con el manejo del riego de los cultivos. Estas tecnologías permiten sensorizar una gran cantidad de variables en diferentes zonas y tratamientos de riego, que se utilizan para obtener modelos óptimos de manejo del riego en esos cultivos. Con la reciente aparición de las redes de sensores inalámbricas, los sistemas centralizados de instrumentación utilizados tradicionalmente están siendo sustituidos por los sistemas inalámbricos, debido, sobre todo, al ahorro en cableado que supone la adopción de sistemas sin cables (Torres, y otros, 2016).

Las redes de sensores inalámbricos (RSI) es la tecnología que facilita la Agricultura de Precisión (AP) con alta eficiencia y bajo costo. Antes de la AP, los agricultores tenían que depender de un satélite y aviones de imágenes u otros sistemas basados en mapas para apuntar con precisión a sus áreas de cultivo. Una red de sensores inalámbricos de Agricultura es similar a los utilizados en otras industrias como controladores industriales para Automatización de Edificios y Sistemas de Seguridad. El sistema RSI requiere una unidad de control centralizada con interfaz de usuario, las puertas de

enlace de comunicación y routers, elementos de potencia y lo más importante los sensores. A diferencia de otros sistemas, la Agricultura de precisión requiere un modelo de software único para cada área geográfica, el tipo de suelo intrínseco y el cultivo o plantas en particular (Noticias electrocom, 2015).

Debido a las características de las redes de sensores inalámbricos, su uso en la agricultura supone una ventaja muy valiosa, ya que se puede recolectar información de casi cualquier tipo dependiendo del sensor que se desee implementar (Hidalgo y Valarezo, 2017).

En la actualidad las redes de sensores inalámbricos se emplean para estudios fisiológicos y agronómicos en el riego de los cultivos. Estas redes necesitan un computador central, puertas de comunicación y routers, elementos de potencia y sensores para entregar información al agricultor acerca de los valores que entregan estos dispositivos.

3.3 Ventajas y desventajas de las redes sensores inalámbricos.

3.3.1 Ventajas y desventajas

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las redes de sensores inalámbricos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Confiabilidad: Si bien un nodo individualmente esta propenso a pérdidas, daños físicos o de software, la red entera genera una tolerancia a fallo grande, permitiendo que el sistema sea más robusto.</p>	<p>Tamaño de sensores: Debido al tamaño pequeño de los nodos sensores, presentan limitaciones de hardware, recursos de energía y memoria.</p>
<p>Flexibilidad: Si un nodo tiene algún problema, los nodos vecinos puede</p>	<p>Rangos de transmisión: Los nodos son capaces de entrar en</p>

procesar la información de la red y así evitar caídas innecesarias.

funcionamiento de acuerdo a la demanda de la red, sin embargo, para ahorrar energía generalmente están fuera de línea.

Auto-organización: El sistema puede alcanzar las estructuras organizacionales necesarias sin la necesidad de intervención humana.

Interfaces: Las interfaces de las WSN están diseñadas para ciclos de tareas optimizados, con complejidad de sistema reducido para funcionamiento de energía ultra baja.

Instalación: No necesitar la conexión de cables entre los sensores, permite que la cobertura de red pueda cambiar con solamente instalar nuevos nodos o reorganizando los existentes. Pueden ser instaladas en territorios sin infraestructura o peligrosos.

Recurso de energía: Al poseer limitaciones de hardware hace casi imposible la implementación de fuentes de energía grandes, por ello es importante combatir este punto mediante software, aplicando algoritmos que posibiliten el ahorro de energía.

Movilidad: Los sensores pueden ser desplegados aleatoriamente más que dispuestos en ubicaciones precisas. El nodo sensor puede mover o arreglar su conectividad con otros nodos y también la energía de transmisión requerida para la comunicación.

Costos: en la actualidad existen varias opciones para la implementación de las WSN, pero en ciertos casos el costo limita la aplicación, la cantidad de nodos estará directamente relacionada con la implementación de la red.

Cobertura extendida: Las WSN

Facilidad de fallos: Al instalar la

pueden ser implementadas con un gran WSN en territorios problemáticos, número de nodos, sin problemas de pueden presentarse fallos por la falta interferencias, permitiendo que la de infraestructura o por factores cobertura de red se amplíe fácilmente al climáticos.

instalar nuevas redes de sensores inalámbricos.

Esta tabla describe las principales ventajas y desventajas de las redes de sensores inalámbricos.

(Vela, 2016).

3.3.2 Otras Ventajas y desventajas

Tabla 2. Otras ventajas y desventajas de las redes de sensores inalámbricos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Las configuraciones de red pueden llevarse a cabo sin una infraestructura fija.	Menos seguro porque los hackers pueden ingresar al punto de acceso y obtener toda la información.
Adecuado para lugares inaccesibles como el mar, las montañas, las zonas rurales, áreas o bosques profundos.	Velocidad más baja en comparación con una red cableada.
Flexible si hay una situación aleatoria cuando se necesita una estación de trabajo adicional.	Más complicado de configurar en comparación con una red cableada.

El precio de implementación es barato.	Se preocupa fácilmente por los alrededores (paredes, microondas, grandes distancias debido a la señal atenuación, etc.).
Evita mucho cableado.	Es fácil para los piratas informáticos piratearlo, no se puede controlar la propagación de las ondas.
Puede acomodar nuevos dispositivos en cualquier momento.	Comparativamente tiene una baja velocidad de comunicación.
Es flexible someterse a particiones físicas.	Se distrae con varios elementos como el Bluetooth.
Se puede acceder mediante el uso de un monitor centralizado.	Sigue siendo costoso.

Esta tabla describe otras ventajas y desventajas de las redes de sensores inalámbricos.

(Tiwari, Prakash, Raj, y Bhavsar, 2015).

4. Conclusiones

La agricultura de precisión permite gestionar eficientemente los recursos agrícolas, ayudando a mejorar el manejo del suelo y de los cultivos, utilizan tecnologías de información espacial como son sistemas de posicionamiento global, sistemas de información geográfica, sensores remotos y drones, los cuales permiten realizar levantamientos topográficos, fertilizaciones, fumigaciones y riego de cultivos, facilitando el uso racional de los insumos agrícolas, optimizando la productividad y evitando pérdidas económicas. En el Ecuador es empleada en las florícolas, bananeras y empresas azucareras, las cuales la emplean para realizar riegos automatizados, control de plagas, control de humedad y ventilación.

En el Ecuador las redes de sensores inalámbricos aplicadas en la agricultura de precisión, son usadas para monitorear la humedad relativa, la temperatura, la humedad del suelo, la luz y la lluvia, además favorecen en la reducción del consumo de agua y pesticidas. En los cultivos, ayudan a controlar la temperatura y la humedad de cada planta para mantener el estado ideal de la misma y entregar un buen producto para el consumo humano.

Las redes de sensores inalámbricos presentan las siguientes ventajas: confiabilidad, flexibilidad, auto-organización, instalación, movilidad y cobertura extendida; de la misma manera presenta varias desventajas como: sensores de tamaño pequeño, rangos de transmisión la mayor parte del tiempo fuera de línea, interfaces para tareas reducidas con energía ultra baja, recurso de energía casi imposible para la implementación de fuentes de energía grandes, los son costos elevados y son propensos a facilidad de fallos.

5. Recomendaciones

Se recomienda el uso de la agricultura de precisión a los agricultores de nuestro país, ya que ayudan a optimizar los recursos agrícolas mejorando la productividad de cada uno de los cultivos en los cuales se aplique este tipo de tecnología.

Aplicar redes de sensores inalámbricos para realizar el monitoreo de las variables atmosféricas, lo cual va a evitar el desperdicio del agua y de otros insumos agrícolas, lo que permitirá usar las cantidades necesarias para cada planta.

Conocer las bondades e inconvenientes de la implementación de las redes de sensores inalámbricos para que éstas puedan ser empleadas por los agricultores y automatizar la producción en los cultivos.

6. Bibliografía

- Agriculturers. (2017). ¿Qué es un Sistema de Información Geográfica? ¿Cómo usarlo en la agricultura? Obtenido de Agriculturers: <https://agriculturers.com/que-es-un-sistema-de-informacion-geografica-en-agricultura/>
- Aguilar, N. (2015). Percepción remota como herramienta de competitividad de la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(2), 399-405.
- Albornoz, R., y Soto, E. (2018). El estándar Zigbee. Estudio del estándar Zigbee, 2. Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Arley, Ó., y Llano, G. (2016). Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión. *Revista de Ingenierías Universidad de Medellín*, 15(28), 103-124.
- Bravo, B., y Belduma, L. (2017). Tipos de topología en WSN. Diseño de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo del tránsito vehicular y la contaminación CO2 dentro de un sector urbano, 3. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Cama, A., Acosta, M., Piñeres, G., Caicedo, J., Zamora, R., y Sepulveda, J. (2016). Diseño de una red de sensores inalámbricos para la monitorización de inundaciones repentinas en la ciudad de Barranquilla, Colombia. *Ingeniare*, 24(4), 581-599.
- Campo, L., Corrales, J., y Ledezma, A. (2015). Remote Sensing for Agricultural Crops Based on a Low Cost Quadcopter. *Sistemas & Telemática*, 13(34), 49-63.
- Castellanos, R., y Morales, M. (2016). Análisis crítico sobre la conceptualización de la agricultura de precisión. *Ciencia en su PC*(2), 22-33.

- Cedeño, J., Zambrano, M., y Medina, C. (2014). Redes inalámbricas de sensores eficientes para la agroindustria. *Prisma Tecnológico*, 5(1), 22-25.
- Ecured. (s.f). Sensor remoto. Obtenido de Ecured: https://www.ecured.cu/Sensor_remoto
- Endress+Houser. (s.f). Reduzca los costes de proyecto gracias al ahorro en instalación y planificación. Obtenido de WirelessHART – flexibilidad en su proceso: <https://www.es.endress.com/es/reduccion-costes-proceso/ingenieria-redes-campo/tecnologia-fieldbus/wirelesshart-comunicacion-fieldbus-tecnologia>
- Engineering Guidelines. (2016). Introduction. System Engineering Guidelines IEC 62591 WirelessHART, 2. Shakopee, USA: Emerson Process Management.
- Enríquez, C., y Fernández , R. (2017). Protocolo 6LowPAN. El camino de la innovación educativa (pág. 1). Mexico, México: UPIITA.
- Flores, M., Flores, F., Velasco, V., González, G., y Jurado, F. (2015). Monitoreo de humedad en suelo a través de red inalámbrica de sensores. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(5), 75-88.
- Gallego, S., y Ventura, E. (2018). Propuesta para el desarrollo de una aplicación SIG móvil orientada a la comercialización de productos agrícolas, 8. Bogotá, Colombia: Uversidad Francisco José de Caldas.
- Gil, E. (2010). Herramientas fundamentales de la agricultura de precisión. Situación actual y posibilidades de la agricultura de precisión, 7. Catalunya, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Global Tag. (2019). Tecnología BLE. Obtenido de Global Tag: <https://www.global-tag.com/es/tecnologia-ble/>

- Gps. (s.f). Agricultura. Obtenido de GPS.Gov:
<https://www.gps.gov/applications/agriculture/spanish.php>
- Grupo de Investigación en Agrónica y Agricultura de Precisión. (2014). El ciclo de la Agricultura de Precisión. Obtenido de Agricultura de Precisión:
<http://www.grap.udl.cat/es/presentacion/ap.html>
- Guaña, E. (2016). Elementos. Diseño de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para monitorear parámetros relacionados con la agricultura, 17-18. Quito, Ecuador: EPN.
- Gutiérrez, M. (2015). ¿Qué es Zigbee? Obtenido de Todo sobre ZigBee, la tecnología ultrabarata para comunicación inalámbrica:
<https://elandroidelibre.lespanol.com/2015/08/todo-sobre-zigbee-la-tecnologia-ultrabarata-para-comunicacion-inalambrica.html>
- Hidalgo, S., y Valarezo, C. (2017). Introducción. Diseño e implementación de un sistema de sensores WSN para agricultura de precisión utilizando Digimesh y modo API, 2. Quito, Ecuador: UDLA.
- Lago, C., Sepúlveda, J., Barroso, R., Fernández, F., Maciá, F., y Lorenzo, J. (2011). Sistema para la generación automática de mapas de rendimiento. Aplicación en la agricultura de precisión. IDESIA, 29(1), 59-69.
- Lidice, A., Piña, F., y Goire, M. (2018). Red de sensores inalámbricos para las casas de cultivos protegidos "San José". RIELAC, 39(1), 16-26.
- Lizarazo, I., y Alfonso, O. (2011). Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite "Elaeis Guineensis" e híbrido OxG. Revista de Ingeniería(33), 124-130.
- Maya, E., y Chafra, G. (2014). Red inalámbrica de sensores a través de 6LowPAN para una agricultura de precisión. Sathiri(6), 22-32.

- Ministerio de Agricultura de Chile. (2008). Introducción. En Tecnologías Aplicables en Agricultura de Precisión. Uso de tecnología de precisión en evaluación, diagnóstico y solución de problemas productivos (Primera ed., pág. 9). Santiago, Chile: IDI.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España. (2010). Sistemas de Información Geográfica (SIG). Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura de precisión, 25. Madrid, España: IDAE.
- Molinero, S. (2018). 6LoWPAN. Internet of Things (IoT) implementación con nodos Zolertia RE-Mote, 12. Catalunya, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Moposita, R., y Mora, H. (2018). Como surge la agricultura de precisión. Aumento de la calidad de la caña de azúcar mediante la aplicación del riego y la fertilización de precisión, 16. Milagro, Ecuador: Universidad Estatal de Milagro.
- Narvaez, G. (2008). Desarrollo de la agricultura de precisión en el Ecuador y su compatibilidad con la infraestructura existente en nuestro país. Automatización de un sistema de riego dedicado a la producción florícola basado en las tecnologías de agricultura de precisión y en telemetría utilizando la plataforma de comunicaciones de telefonía móvil GPRS, 32-33. Quito, Ecuador: EPN.
- Noticias electrocom. (2015). El uso de redes de sensores inalámbricos en Agricultura de Precisión. Obtenido de tecnología empresarial: <http://noticias.electrocom.ec/agrotecnologia/el-uso-de-redes-de-sensores-inalambricos-en-agricultura-de-precision/>

- Palacios, J., y Maya, A. (2017). Diseño de una red de sensores (WSN) con tecnología 802.15.4, basado en el concepto agricultura de precisión para el control y monitoreo de cultivos de hortalizas bajo invernadero en la granja La Pradera de la Universidad Técnica del Norte. FICA, 1(1), 1-32.
- Pérez, F. (2011). Sensores Electromagnéticos. Los “Sentidos” de los Sistemas para la Defensa y la Seguridad (Primera ed., pág. 9). Madrid, España: ETSIT UPM.
- Pérez, J., Urdaneta, E., y Custodio, Á. (2014). Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos. Universidad, Ciencia y Tecnología, 18(70), 12-22.
- Pérez, M., Quebrajo, L., Martínez, J., y Agüera, J. (2015). Teledetección. Introducción a la Agricultura de Precisión en el Valle del Guadalquivir, 36. Andalucía, España: CAPE.
- Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. Idesia, 37(1), 75-84.
- Precision Agriculture. (2018). Sensores remotos en el campo: cuando la agricultura se convierte en inteligente. Obtenido de Precision Agriculture: <https://precisionagricultu.re/es/sensores-remotos-en-el-campo-cuando-la-agricultura-se-convierte-en-inteligente/>
- Promus. (2017). Monitoreo de suelo agrícola Región de Coquimbo. Coquimbo: PROMMRA.
- Qampo. (2019). Las 4 etapas principales de la agricultura de precisión. Obtenido de La agricultura de precisión: <https://qampo.es/la-agricultura-de-precision/>

- Rizo, M., Vuelta, D., y Lorenzo, A. (2017). Agricultura, desarrollo sostenible, medioambiente, saber campesino y universidad. *Ciencia en su PC*(2), 106-120.
- Sala, J. (2014). ANSI/ISA 100.11. *Redes wireless industriales*, 53. Catalunya, España: UOC.
- Saltos, A. (2011). Precisión agrícola. *El Diario*, pág. 1.
- Sanchez, S. (2018). *Ventajas de la agricultura de precisión* [Película].
- Sanmartín, K., y Álvarez, K. (2018). Topología de red de sensores inalámbricos. *Diseño e implementación de una red con sensores inalámbrica (WSN) con un protocolo abierto de comunicación basado en IEEE 802.15.4 (XBEE) para prácticas universitarias*, 41. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Santillán, O., y Rentería, M. (2018). Agricultura de Precisión. *INCYTU*(15), 1-6.
- Sembrar100. (2018). ¿Qué ventajas y desventajas tiene? Obtenido de *Agricultura de Precisión: [Concepto, Usos, Ejemplos y Beneficios]*: <https://www.sembrar100.com/agricultura/precision/>
- Senplades. (2017). d. Impulso a la productividad y la competitividad sistémica a partir del potenciamiento de los roles y funcionalidades del territorio. En *Plan nacional para el buen vivir 2017-2021* (págs. 115 -116). Quito, Ecuador: Senplades.
- Tirira, P. (2017). Estándar IEEE 802.15.4. *Diseño de una red con tecnología sensor Cloud aplicada en prevención de accidentes de tránsito*, 17. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

- Tiwari, P., Prakash, V., Raj, G., y Bhavsar, D. (2015). Wireless Sensor Networks: Introduction, Advantages, Applications and. Open International Journal of Technology Innovations and Research, 14, 1-11.
- Torres, R., Domingo, R., Jiménez, M., Vera, J., Toledo, A., y Soto, F. (2016). Manejo del riego utilizando redes de sensores inalámbricas y cableadas. Criterios de selección. II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola. Automatización y TICs en agricultura (págs. 73-77). Almería: SECH.
- Torres, W., Malavé, K., y Marquis, D. (2012). Aplicación de las Redes Inalámbricas de Sensores para implementar la Agricultura de Precisión en Viñedos. ResearchGate, 17-25.
- Urbano, F. (2013). Redes de Sensores Inalambricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precision para Cultivos de Café en Colombia. Journal de Ciencia e Ingeniería, 5(1), 46-52.
- Vega, J., Lagos, M., y Salgado, G. (2017). Monitoreo de concentración de monóxido de carbono usando tecnología long-range. Ingenius(18), 1-5.
- Vela, A. (2016). Estudio de la Agricultura de Precisión Enfocado en la Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para el monitoreo de humedad y temperatura en cultivos – caso de estudio Hacienda Cabalinus ubicada en la provincia de Los Ríos. Revista Politécnica, 38(1), 1-17.
- Vera, C., Barbosa, J., y Pabón, D. (2017). La Tecnología ZigBee estudio de las características de la capa física. Scientia Et Technica, 22(3), 238-245.
- Vera, C., Barbosa, J., y Pabón, D. (2014). Acople de sensores en la medición de variables ambientales usando tecnología ZigBee. Scientia Et Technica, 19(4), 419-424.

Villalba, Á. (2015). Estándares. Aplicación de una red inalámbrica de sensores para detección de presencia y conteo, 18. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.

Villareal, C., López , H., Castellanos, L., y López, E. (2015). Dron polinizador de cultivos. Tecnologías aplicadas para alternativas sustentables. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1, 67-71.

7. Glosario

Caudalímetro. - Es un instrumento usado para medir lineal, no lineal, la masa o caudal volumétrico de un líquido o un gas.

Geolocalización. - Es una tecnología que utiliza datos obtenidos de la computadora o dispositivo móvil de un individuo para identificar o describir su ubicación física real.

Geomática. - Comprende la ciencia, ingeniería y arte que se emplea en la colecta y manejo de información geográficamente referenciada.

GPS. - Sistema americano de navegación y localización mediante satélite.

Interferencias. - Señal que altera la recepción de otra

IoT. - Internet de las cosas, es un sistema de dispositivos de computación interrelacionados, máquinas mecánicas y digitales, objetos, animales o personas que tienen identificadores únicos y la capacidad de transferir datos a través de una red, sin requerir de interacciones humano a humano o humano a computadora.

Medidor pH. - Es un instrumento utilizado para medir la acidez o la alcalinidad de una solución, también llamado de pH.

Sensor. - Dispositivo que capta magnitudes físicas (variaciones de luz, temperatura, sonido, etc.) u otras alteraciones de su entorno.

TIC. - Las Tecnologías de la Información y la Comunicación, son el conjunto de tecnologías desarrolladas para gestionar información y enviarla de un lugar a otro.

VANT. - Los Vehículos Aéreos No Tripulados, son herramientas de alta tecnología que pueden cumplir con una gran cantidad de funciones, debido a su capacidad de operar en áreas remotas, zonas peligrosas o con condiciones adversas para la presencia de personas.

8. Anexos

Tabla 3. Tecnologías y elementos de la agricultura de precisión

Tecnología / Elemento	Descripción
Sistemas	Claves para el control de tráfico agrícola, puesto que proveen datos en tiempo real de su ubicación, de facilitan así su gestión y control, y permiten la implementación de rutas óptimas. Dentro de estos sistemas se destacan GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou.
Tecnologías de tasa variable (VRT, Variable Rate Technologies).	Hacen referencia a elementos de aplicación de fertilizantes, pesticidas, herbicidas, agua y suplementos necesarios para el cultivo de manera autónoma y dependiente del lugar.
Sensores remotos.	Encargados de capturar datos del cultivo, suelo, humedad, precipitaciones, entre otros, con ayuda de tecnologías inalámbricas como Wi-Fi®, Bluetooth® y redes celulares.
Sistemas de recomendación aplicados a cosechas.	Realizan predicciones basados en datos de entrada, ayudándose de algoritmos de machine learning. Específicamente para el tópico agrícola, dichos sistemas presentan mapas de rendimiento y mapas de productividad de los cultivos basados en información de cosechas pasadas, lo que facilita y optimiza la gestión de los cultivos.

Aeronaves remotamente.	pilotadas	También denominados drones, ofrecen soluciones novedosas y económicas en el ámbito de obtención de imágenes en zonas de difícil acceso, estimación de variables agroclimáticas y monitorización remota de cultivos.
Sistemas de soporte a decisiones.	Hacen referencia a un conjunto de sistemas de información que complementa los anteriores componentes al facilitar la toma de decisiones por parte del personal relacionado con AP.	

Esta tabla describe las tecnologías y elementos que se usan en la agricultura de precisión

(Arley y Llano, 2016)



Figura 1.- Drones.

(Pino, 2019)



Figura 2.- Ciclo de la agricultura de precisión.

(Grupo de Investigación en Agrícola y Agricultura de Precisión, 2014)

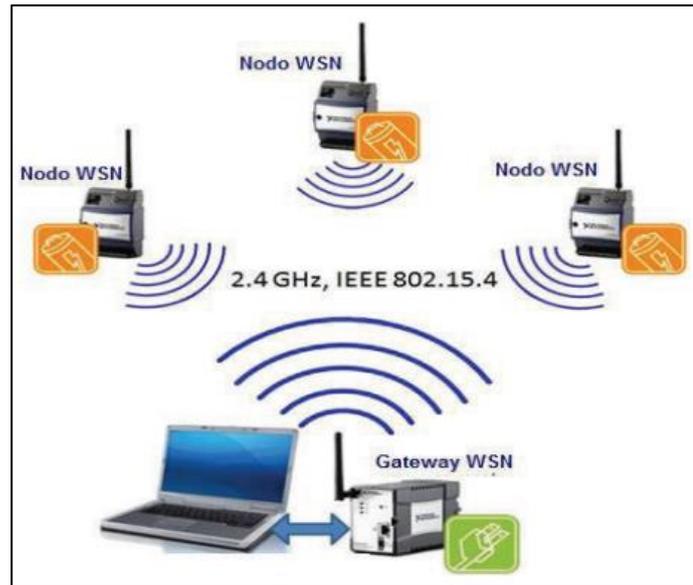


Figura 3.- Elementos de una red de sensores inalámbricos.

(Guaña, 2016)

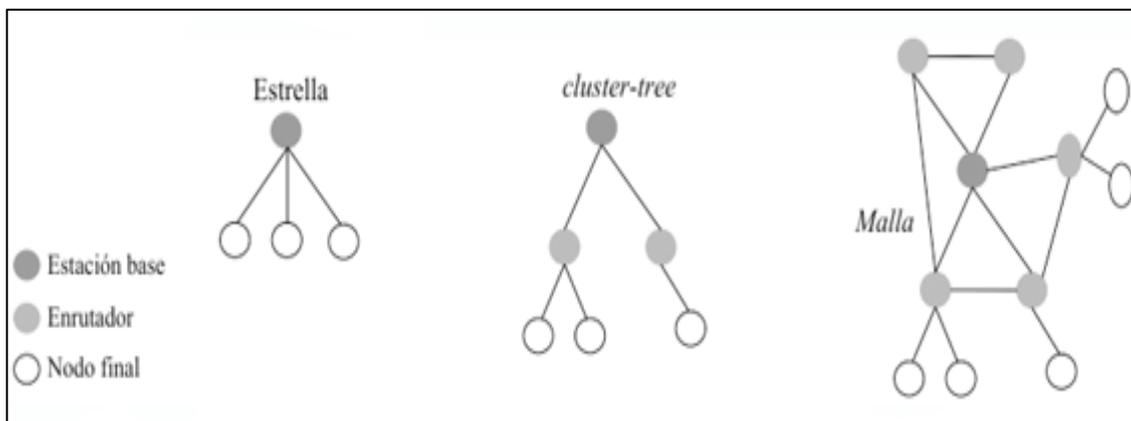


Figura 4.- Topologías utilizadas en una red de sensores inalámbricos.

(Lidice, Piña, y Goire, 2018)

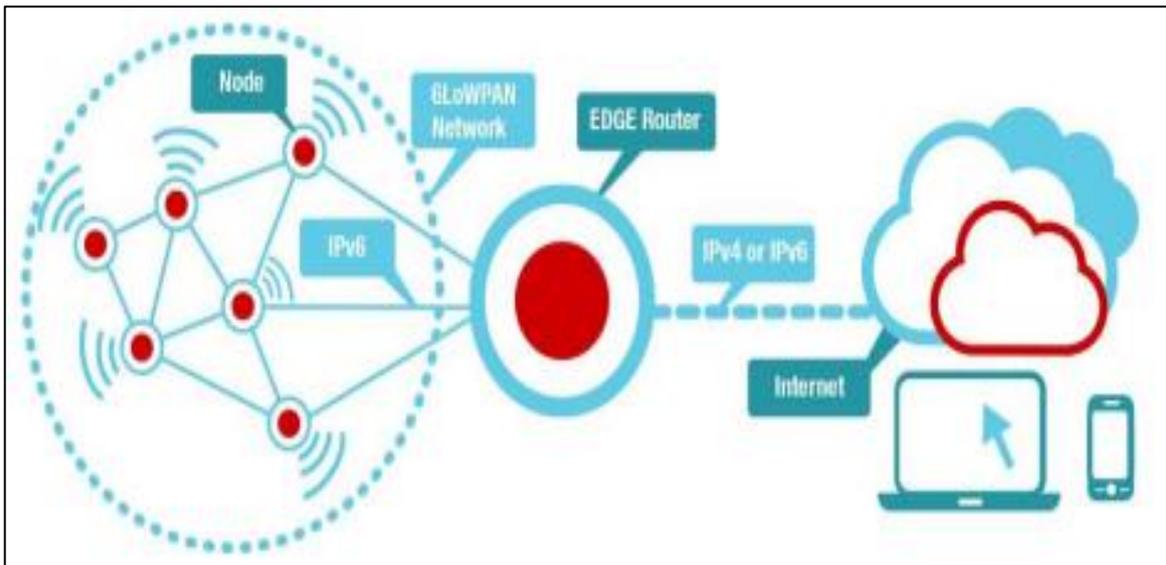


Figura 5.- Arquitectura de una red 6LoWPAN.

(Enríquez y Fernández, 2017)

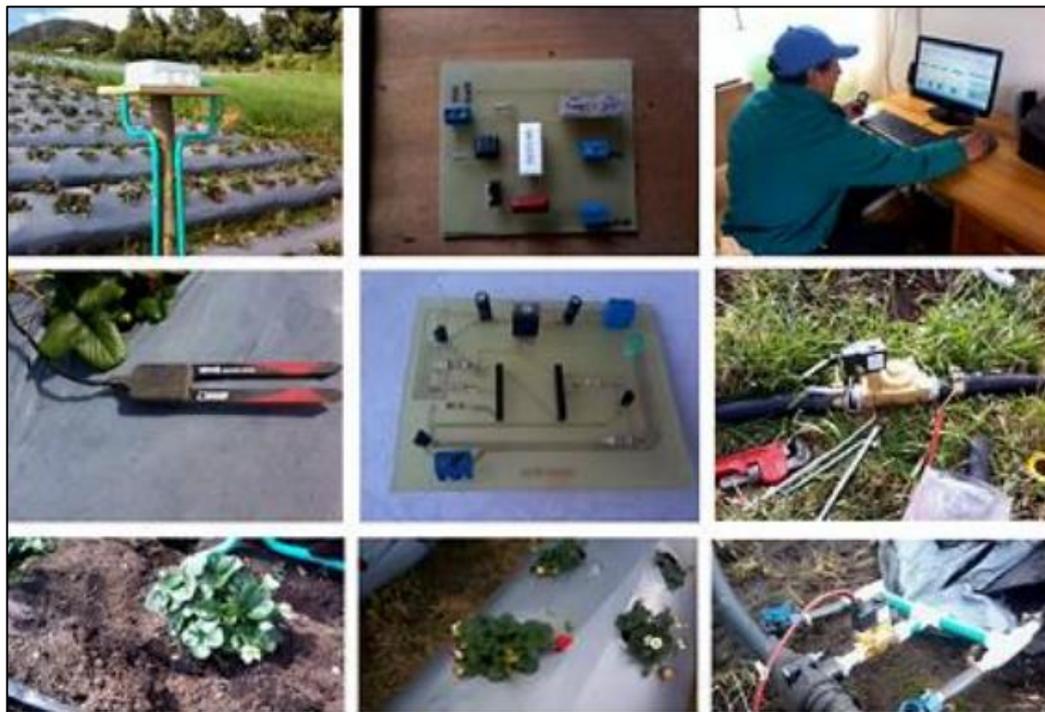


Figura 6.- Implementación de una Red de sensores inalámbricos en agricultura de precisión.

(Castro, Chamorro y Viteri, 2016)