



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

TEMA:

**“VEHÍCULO DE DETECCIÓN DE RUTAS INTELIGENTE MEDIANTE
POSICIONAMIENTO GPS ORIENTADO A REGADIOS POR AMBIENTE A
ESCALA DE LABORATORIO”**

AUTOR: CRHISTIAN OSWALDO QUESPAZ PATIÑO

DIRECTOR: MCS. PAÚL DAVID ROSERO MONTALVO

Ibarra-Ecuador

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO DE PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

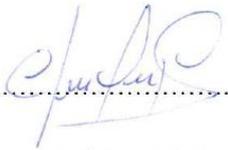
DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad	040174742-3
Apellidos y Nombres	Quespaz Patiño Crhistian Oswaldo
Dirección	Ibarra, Calle Profesor Rufo Simbaña y Lic. Nelson Dávila
E-mail	coquespazp@utn.edu.ec
Teléfono fijo	062978094
Teléfono móvil	0990737332
DATOS DE LA OBRA	
Título	VEHÍCULO DE DETECCIÓN DE RUTAS INTELIGENTE MEDIANTE POSICIONAMIENTO GPS ORIENTADO A REGADIOS POR AMBIENTE A ESCALA DE LABORATORIO
Autor	Quespaz Patiño Crhistian Oswaldo
Fecha	Mayo del 2019
Programa	Pregrado
Título	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
Director	MSc. Paúl David Rosero

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 09 días del mes de Mayo del 2019.

EL AUTOR:



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Quespaz', is written over a horizontal dotted line.

Quespaz Patiño Christian Oswaldo

CI: 040174742-3



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

MAGÍSTER PAÚL ROSERO, CON CÉDULA DE IDENTIDAD Nro. 100337803-9,
DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación denominado: “VEHÍCULO DE DETECCIÓN DE RUTAS INTELIGENTE MEDIANTE POSICIONAMIENTO GPS ORIENTADO A REGADIOS POR AMBIENTE A ESCALA DE LABORATORIO”, ha sido desarrollado por el señor Quespaz Patiño Crhistian Oswaldo bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

MSc. Paúl David Rosero
C.I. 100337803-9
DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la vida, por guiarme en mi camino y por permitirme concluir con un objetivo planteado en mi vida. A mi madre y abuelos por todo su amor, comprensión y apoyo. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida. Ustedes son mi motor y mi mayor inspiración, que, a través de su amor, paciencia, buenos valores, ayudan a trazar mi camino.

Y por supuesto a mi querida Universidad y a todas las autoridades, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, de manera especial a mi mentor y director Magister Paúl Rosero por su ayuda incondicional, paciencia, orientación y guía en el desarrollo de esta investigación y culminación de la misma de manera satisfactoria.

Quespaz P. Crhistian Oswaldo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. De manera especial a mi Madre Fanny Clemencia Patiño Malquín, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su apoyo incondicional con su trabajo, esfuerzo, ejemplo y respeto a lo largo de mi vida. A mis abuelos Jorge Patiño y Carmen Malquín a quien quiero como un Padre y una Madre, por compartir momentos significativos y siempre estar dispuestos a ayudarme en cualquier momento. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto personal como profesional.

Quespaz P. Crhistian Oswaldo

ÍNDICE

AUTORIZACIÓN DE USO DE PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	II
1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	II
2. CONSTANCIAS.....	III
CERTIFICACIÓN	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT.....	XVII
CAPÍTULO I	1
Problema	1
Objetivos.....	2
Objetivos General	2
Objetivos Específicos.....	2
Justificación	4
CAPÍTULO II.....	6
2.1 Estudio de la agricultura de precisión y tecnología GPS.....	6
2.1.1 Definición de la agricultura de precisión.....	7
2.1.2 Aplicación del concepto de agricultura de precisión.....	7
2.1.3 Fundamentos.....	9
2.1.4 Beneficios de la agricultura de precisión.....	10
2.1.5 Barreras en la agricultura de precisión.	11

2.1.6 Aplicaciones electrónicas y tecnológicas.	11
2.1.7 Herramientas de la agricultura de precisión.	11
2.1.7.1 Sistemas de posicionamiento global (GPS).	12
2.1.7.2 Monitoreo de rendimiento y mapeo.	12
2.1.7.3 Percepción o adquisición remota.	12
2.1.7.4 Dispositivos electrónicos.	13
2.1.7.5 Redes de comunicación.	14
2.1.7.6 Sistema de información geográfica (GIS).	14
2.1.7.7 Software.	14
2.2 Sistema de posicionamiento global como herramienta utilizada por la agricultura de precisión.	15
2.2.1 Composición del GPS.	16
2.2.2 Estructura de la señal del sistema GPS.	16
2.2.3 Arquitectura.	18
2.2.3.1 Segmento espacial.	18
2.2.3.2 Segmento de control.	19
2.2.3.3 Segmento de usuario.	19
2.2.4 Funcionamiento del sistema de posicionamiento global.	20
2.2.4.1 Triangulación de los satélites.	20
2.2.4.2 Medición de distancia a los satélites.	22
2.2.4.3 Control del tiempo.	22
2.2.4.4 Determinación de la posición de los satélites.	23
2.2.4.5 Corrección de errores.	23
2.3 Desarrollo de la agricultura de precisión y su compatibilidad con la infraestructura tecnológica en el Ecuador.	24
2.3.1 El sector florícola en el Ecuador y la introducción tecnológica.	25
2.3.2 Aplicación de la agricultura de precisión como herramienta en el mejoramiento de los sistemas de riego en el sector florícola del Ecuador.	26

2.4 Áreas de muestreo y adquisición de datos para suelos agrícolas.....	27
2.4.1 Áreas de muestreo y adquisición de datos para suelos agrícolas en General.....	28
2.4.2 Áreas de muestreo y adquisición de datos para suelos florícolas (Rosas).....	30
2.5 Sistemas embebidos.....	30
2.5.1 Redes de sensores inalámbricas (WSN).....	31
2.5.1.1 Topologías WSN.....	32
2.5.1.2 Tecnologías WSN.....	33
2.5.1.3 Estándares y protocolos de comunicación.....	35
2.5.2 Sistemas inteligentes.....	36
2.5.3 Características de demanda de los sistemas embebidos.....	36
2.6 Machine Learning.....	39
2.6.1 Machine Learning: Aprendizaje supervisado.....	40
2.6.2 Redes neuronales.....	41
2.6.2.1 Ventajas de las redes neuronales.....	41
2.6.2.2 Aplicaciones de las redes neuronales.....	42
2.6.3 Algoritmos para selección de rutas.....	42
2.6.4 Criterios de selección de algoritmos.....	43
CAPÍTULO III.....	45
3.1 Metodología.....	45
3.2 Análisis.....	45
3.2.1 Situación actual.....	46
3.2.1.1 Técnicas.....	46
3.2.2 Propósito y ámbito del sistema.....	46
3.2.3 Descripción general del sistema.....	47
3.2.4 Características del sistema.....	48
3.2.4.1 Restricciones.....	48
3.2.4.2 Riesgos.....	49

3.3 Requerimientos	49
3.3.1 Stakeholders.....	49
3.3.2 Atributos de los requerimientos.....	50
3.3.3 Nomenclatura de los requerimientos.	51
3.3.4 Requerimientos de Stakeholders.	51
3.3.5 Requerimientos del sistema.	52
3.3.6 Requerimientos de arquitectura.	54
3.4 Recursos.....	56
3.4.1 Recursos humanos.	56
3.4.2 Recursos económicos.	56
3.4.3 Recursos tecnológicos.	57
3.5 Elección del hardware y software para el diseño.....	58
3.5.1 Elección del hardware.	58
3.5.2 Elección del software.....	59
3.6 Diseño del primer prototipo	60
3.6.1 Diagrama de bloques del funcionamiento el robot FarMi4.	61
3.6.2 Diagrama de flujo del movimiento del robot FarMi4 y adquisición de datos GPS.	63
3.6.3 Diagrama de conexión.	66
3.6.3.1 Arduino Uno R3.....	66
3.6.3.2 Sensor Shield V5.0.....	67
3.6.3.3 Servomotores.	68
3.6.3.4 Módulo GPS Neo M6.	70
3.6.3.5 Conexión de los componentes.	71
3.6.4 Integración y pruebas del prototipo.	72
3.6.5 Movimientos del vehículo o robot FarMi4.....	73
3.6.6 Datos obtenidos del módulo GPS.....	74
3.6.7 Análisis del funcionamiento del primer diseño.	76

3.6.8 Observaciones del funcionamiento del primer diseño.....	76
3.7 Prototipo optimizado final	77
3.7.1 Diagrama de bloques del prototipo final.	77
3.7.2 Diagramas de flujo.....	78
3.7.2.1 Diagrama de flujo de datos censados.....	79
3.7.2.2 Diagrama de flujo de rutas y posición GPS.	79
3.7.3 Diagrama de conexión de la placa de sensores al robot FarMi4.	80
3.7.3.1 Placa de sensores.....	80
3.7.3.2 Esquema de conexión.	82
3.7.4 Integración del hardware del prototipo final.	83
3.7.5 Datos obtenidos del censado.....	84
CAPÍTULO IV.....	86
4.1 Cronograma de pruebas	86
4.2 Pruebas de funcionamiento (Prueba 1)	88
4.2.1 Pruebas físicas del movimiento del robot.....	88
4.2.2 Pruebas del microcontrolador (Robot).	89
4.3 Adquisición y evaluación de datos GPS dentro del campo de aplicación (Prueba 2) ...	90
4.3.1 Verificación de datos de ubicación.....	90
4.3.2 Evaluación de los datos GPS dentro del campo de aplicación.	91
4.4 Acoplamiento de la adquisición de datos con el robot dentro del campo (Prueba 3)....	92
4.4.1 Muestreo del terreno a escala de laboratorio.	92
4.4.2 Aplicación de algoritmo de aprendizaje supervisado.	95
4.4.3 Verificación de datos tratados en el terminal de Arduino.	95
4.4.4 Verificación de datos tratados en la base de datos de Excel.	96
4.5 Visualización de mapeo, procesamiento de datos con la elección de rutas y predicciones para los sistemas de riego (Prueba 4)	97
4.5.1 Predicciones para los sistemas de riego.....	97

4.5.2 Visualización del mapeo.....	98
4.5.3 Elección de rutas.....	99
4.6 Resumen general de resultados finales de las pruebas.....	101
4.7 Análisis final del sistema	102
CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES.....	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
GLOSARIO	112
ANEXOS	114
5.1 Anexo 1 (Manual de ensamblaje del robot FarMi4).....	114
5.2 Anexo 2 (Código del programa del movimiento del robot FarMi4).....	121
5.3 Anexo 3 (Código de Datos Censados y Algoritmo de Aprendizaje Supervisado)	123
5.4 Anexo 4 (Código del programa de adquisición de datos GPS y elección de rutas).....	124
5.5 Anexo 5 (Prototipo Final)	126
5.6 Anexo 6 (Área de muestreo de laboratorio de 12 x 30 metros – cultivo general)	126
5.7 Anexo 7 (Distribución de puntos de muestreo dentro del campo de aplicación)	127
5.8 Anexo 8 (Lugar de muestreo dentro de las camas de las florícolas)	127
5.9 Anexo 9 (Lugar y Área de muestreo en las florícolas)	128
5.10 Anexo 10 (Recorrido del robot dentro de la florícola)	128
5.11 Anexo 11 (Adquisición de datos dentro del cultivo general)	129
5.12 Anexo 12 (Adquisición de datos dentro de la florícola)	130
5.13 Anexo 13 (Adquisición de datos GPS)	130
5.14 Anexo 14 (Manual de Mapeo y Visualización de datos).....	131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Etapas de la agricultura de precisión	8
Figura 2. Etapas de la agricultura de precisión	9
Figura 3. Estructura de la señal de GPS.....	17
Figura 4. Arquitectura GPS.....	18
Figura 5. Sistema de coordenadas geográfico.....	19
Figura 6. Medición de distancia hasta tres satélites para localización del punto.....	21
Figura 7. Seguimiento de la señal de 4 satélites para la obtención de posición	21
Figura 8. Fuentes de errores en GPS.....	23
Figura 9. División de áreas dentro de la topografía de terreno	28
Figura 10. Esquemas de muestro	29
Figura 11. Toma de submuestras dentro de la cama sector florícola.....	30
Figura 12. Topologías WSN	33
Figura 13. FarMi4	47
Figura 14. Kit base para el robot FaMi4	61
Figura 15. Diagrama de bloques del Robot FarMi4y adquisición de datos GPS	62
Figura 16. Esquema del movimiento de cada extremidad del robot FarMi4.....	64
Figura 17. Diagrama de flujo del movimiento del robot y adquisición de datos GPS	65
Figura 18. Arduino Uno R3	66
Figura 19. Arduino Sensor Shield V5.0.....	67
Figura 20. Micro Servo 9g SG90.....	69
Figura 21. Micro Servo Motor MG90S	69
Figura 22. Módulo GPS Neo 6M.....	70
Figura 23. Diagrama de conexión de servomotores y modulo GPS	71
Figura 24. FarMi4 y componentes electrónicos.....	73
Figura 25. FarMi4 Final.....	73
Figura 26. Funciones del robot dentro del campo de aplicación	74
Figura 27. Diagrama de bloques del prototipo final	78
Figura 28. Diagrama de flujo de la comparación de datos censados	79
Figura 29. Diagrama de flujo del algoritmo de rutas cortas y GPS	80
Figura 30. Placa base de sensores	81
Figura 31. Esquema de conexión del sistema total	82
Figura 32. Placa base de sensores ubicada en la parte superior del robot FarMi4	83

Figura 33. Sensor de humedad del suelo ubicado en la parte trasera e inferior del robot FarMi4.....	83
Figura 34. Estado de compilación del Arduino con el código del Robot	89
Figura 35. Verificación de ubicación del módulo GPS	90
Figura 36. Datos GPS de los puntos de muestreo	91
Figura 37. Funciones completas del robot dentro del campo de aplicación	93
Figura 38. Funcionamiento del algoritmo en la adquisición de datos	95
Figura 39. Datos procesados del sensor de humedad	96
Figura 40. Datos procesados del sensor de humedad en Excel.....	96
Figura 41. Información procesada	97
Figura 42. Zona mapeada.....	98
Figura 43. Información de ubicación y sensado dentro de la aplicación My Maps.....	99
Figura 44. Definición de rutas	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de tecnologías inalámbricas	34
Tabla 2. Lista de Stakeholders presentes en el proyecto	50
Tabla 3. Nomenclatura de los requerimientos	51
Tabla 4. Requerimientos operacionales	51
Tabla 5. Requerimientos del sistema	53
Tabla 6. Requerimientos de arquitectura	54
Tabla 7. Recursos humanos que forman parte del proyecto	56
Tabla 8. Detalle de recursos económicos que forman parte del proyecto	57
Tabla 9. Recursos tecnológicos.....	57
Tabla 10. Características de los microcontroladores	58
Tabla 11. Evaluación para la elección del microcontrolador.....	59
Tabla 12. Análisis y evaluación del lenguaje de programación.....	60
Tabla 13. Especificaciones técnicas del Arduino Sensor Shield V5.0	67
Tabla 14. Especificaciones técnicas de los servomotores del robot	69
Tabla 15. Especificaciones técnicas del Módulo GPS Neo 6M.....	70
Tabla 16. Datos de posición referente a la Figura 25	75
Tabla 17. Especificaciones de la placa de sensores	81
Tabla 18. Datos de ubicación y estado de humedad de cada muestra	84
Tabla 19. Rangos de humedad de la muestra.....	85
Tabla 20. Cronograma de pruebas de evaluación del sistema	87
Tabla 21. Pruebas de evaluación al movimiento del robot	88
Tabla 22. Distancia comprendida entre un punto de muestreo y otro	92
Tabla 23. Datos GPS de submuestras	93
Tabla 24. Resumen general de resultados obtenidos en base a las pruebas de funcionamiento	101

RESUMEN

La investigación de este trabajo se enfoca en la necesidad que tienen los sectores agrícolas referente a conocer con exactitud los sectores específicos con necesidades de riego dentro del área de cultivos y para ello es necesario implementar sensores en varios puntos estratégicos que conlleva a un alto costo en comparación a la idea de que el sensado se lo realice con la ayuda de un vehículo que permita trasladarse dentro del terreno y sensor los mismos puntos estratégicos con un costo muy bajo y obteniendo los mismo resultados.

El desarrollo de esta investigación se enmarca en el uso de un Vehículo denominado “FarMi4”, que es un sistema robótico cuádruple con un sistema electrónico encargado del movimiento del robot y el Sistema de Posicionamiento Global, que en conjunto realizarán funciones de detección de rutas inteligentes para movilizarse dentro del espacio de cultivos con la adquisición de datos de ubicación, brindando al mismo tiempo información para ser tratada y orientada a regadíos por ambiente a escala de laboratorio.

El objetivo es definir rutas cortas y eficientes a partir de los datos GPS para proporcionar ubicaciones exactas por donde se movilizó el robot y definir sectores con requerimientos de riego. Para ello, se emplea pruebas y test que garantizan el funcionamiento correcto del sistema, establecer lugares y recorridos con el sistema de posicionamiento global y verificar la información para definir si es válida e ideal para su tratamiento.

ABSTRACT

The research of this work focuses on the need of the agricultural sectors to know exactly the specific sectors with irrigation needs within the area of crops and for this it is necessary to implement sensors in several strategic points that entails a high cost in comparison to the idea that the sensing is done with the help of a vehicle that allows to move within the terrain and sense the same strategic points with a very low cost and obtaining the same results.

The development of this research is part of the use of a vehicle called "FarMi4", which is a quadruple robotic system with an electronic system in charge of robot movement and the Global Positioning System, which together will perform intelligent route detection functions to move within the crop space with the acquisition of location data, while providing information to be treated and oriented to irrigations by environment at laboratory scale.

The objective is to define short and efficient routes from the GPS data to provide exact locations where the robot was moved and to define sectors with irrigation requirements. For this, tests and tests are used to guarantee the correct functioning of the system, establish places and routes with the global positioning system and verify the information to define if it is valid and ideal for its treatment.

CAPÍTULO I

CONTEXTO DEL PROYECTO

Este capítulo permite conocer el problema al cual se requiere dar una solución, con los aspectos teóricos necesarios y limitantes que se le aplicará a su desarrollo.

Problema

Ecuador es un país situado en la línea equinoccial con un gran potencial para el desarrollo del sector florícola, (Seguros, 2006). Actualmente, la utilización de invernaderos, y sistemas de riego de última tecnología hacen que Ecuador se involucre en la innovación para la producción florícola, también se tienen referencias de que la innovación se ha introducido con el 22 % en general, (Narváez, septiembre, 2008), en los cuales se encuentra actuales sistemas de riego por goteo, automatización y control de válvulas y redes de sensores estáticos. Esta tecnología representa un costo elevado para las empresas florícolas, siendo una de las principales limitantes para la implementación de estas. Existen sistemas de riego que se han implementado principalmente en Quito-Ecuador con tecnología GPRS para la transmisión de datos y realizar procesos florícolas dependiendo de su análisis, por lo que el problema existente aumenta debido a que esta tecnología es dependiente de empresas que brindan este servicio.

El porcentaje de aplicación de sistemas automáticos de riego de las florícolas del Ecuador está alrededor de 50%, pero estos sistemas se consideran ineficientes en relación con otros sistemas dentro de la agricultura de precisión ya que el análisis de datos del ambiente mediante sensores lo hacen en forma general y determinan que todo el sector tiene la necesidad de riego. En este caso se produce un desperdicio de líquido con el que se puede causar problemas a sitios específicos y principalmente al desarrollo de las plantas.

Los sensores que permiten la toma de datos de los parámetros relacionados con el desarrollo de las plantas y el ambiente son estáticos y de alto costo, así como también las tecnologías

como GPRS que tienen deficiencias de disponibilidad para usarla en cualquier lugar del mundo y las velocidades de transmisión suelen ser muy bajas en comparación a la tecnología GPS tiene una alta disponibilidad y su servicio es totalmente gratuito.

Por lo tanto, este proyecto pretende diseñar un vehículo pequeño que se movilice dentro del ambiente de implementación y permita determinar el sector específico de necesidad de riego con el uso de sensores y el análisis de parámetros previamente establecidos a evaluar. Esto permitirá conocer la ubicación exacta utilizando la tecnología GPS gracias a su cobertura global de modo que permita determinar la ruta más corta con la que los sistemas de riego más cercanos administren agua al sector con necesidad de esta. Con el desarrollo del proyecto permitirá generar temas de innovación dentro del proceso de producción del sector florícola posibilitando la aplicación de la Agricultura de Precisión y posteriormente la reducción de costos de implementación.

Objetivos

Objetivos General

Desarrollar un vehículo de detección de rutas inteligente mediante posicionamiento GPS orientado a regadíos por ambiente a escala de laboratorio.

Objetivos Específicos

- Analizar las bases teóricas correspondiente al sistema de posicionamiento global y la agricultura de precisión en el desarrollo del proyecto.
- Diseñar la metodología que permita determinar los componentes necesarios, tanto en software como en hardware para el diseño y desarrollo del sistema electrónico.
- Realizar la adquisición y comparación de datos para generar una alarma que permita proporcionar la ubicación exacta mediante GPS del lugar que requiere riego.

- Definir un método de selección de la ruta más corta y eficiente a partir de la alarma obtenida y la ubicación proporcionada por el Sistema de Posicionamiento Global.

Alcance

Con la finalidad de desarrollar un sistema inteligente que mejore los sistemas de riego en las empresas florícolas se realizará el estudio de las bases teóricas relacionadas a la agricultura de precisión para la elaboración de un vehículo cuya funcionalidad se adapte al ambiente de trabajo. Actualmente el uso del sistema de posicionamiento GPS está dentro del tema de agricultura de precisión el cual permite el manejo óptimo de grandes extensiones y la disponibilidad a cualquier usuario que requiera este servicio siendo una ventaja para el análisis de sitios específicos dentro de un mismo ambiente y realizar una exploración en tiempo real.

A partir de las características que se requieren para la funcionalidad de vehículo se definirá una metodología de elección de hardware y software, la cual para su presentación a escala se plasmará en circuitos impresos con los materiales que formen parte del diseño. Una vez definidos estos parámetros, el sistema del vehículo va a realizar la adquisición oportuna de datos que serán comparados con la información de la base de datos que ya estarán previamente definidos a partir del estudio y sondeo de otro proyecto enfocado al mismo sector florícola. Para la comparación de datos se determinarán umbrales con los que el sistema determine que el sector requiere riego si los datos están en un rango menor a los umbrales establecidos, permitiendo generar el punto de partida para el funcionamiento de alarmas y del sistema de posicionamiento global.

Este tipo de alarmas permitirán que el sistema de posicionamiento global indique con exactitud el sector con necesidades y con los datos adquiridos se desarrollará un método de selección de todas las rutas que definirá la que tenga menor distancia haciendo que el vehículo

se movilice de manera eficiente dentro del terreno hacia el sector donde existe la necesidad de riego.

El vehículo al recoger la información procedente del sector por donde se movilice establecerá rutas en tiempo y espacio dependiendo de la alarma generada y la distancia que existe entre el punto de partida y el sector necesitado, con lo que posteriormente se presentará en un mapa topográfico del mismo en el que el vehículo ejecute su tarea. Para ello también se elegirá el sistema eléctrico o la fuente de energía con el que el vehículo se traslade de un lugar a otro.

Finalizado este proyecto de tesis se tendrá como resultado un vehículo de detección de rutas inteligente mediante posicionamiento GPS orientado a regadíos. El que permitirá tener sistemas de riego eficientes y eficaces, generando así ahorro del líquido vital y económico para las florícolas que apliquen este tipo de tecnología.

Justificación

El presente proyecto se orienta en el Plan Nacional del Buen Vivir 2013 - 2017, dentro de los objetivos nacionales para el buen vivir, se toma el objetivo número 10 donde la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo contempla el impulsar la transformación de la matriz productiva.

El surgimiento de nuevos conocimientos y la creación de nuevas tecnologías de transmisión de datos han dado paso para que la electrónica cree nuevos dispositivos que solventen las necesidades de los sectores florícolas, logrando así el desarrollo de nuevos dispositivos para dicho sector. En el Ecuador, el sector agrícola va a la cabeza como es el claro ejemplo de las florícolas. Dicho sector ha tenido importantes avances en términos tecnológicos, y en cuanto al riego de las plantas se han implantado sistemas de riego moderno, pero los cuales representan elevados costos de implementación.

En cuanto a las herramientas para la agricultura de precisión, en el país se tiene todos los recursos necesarios, plataformas y tecnología que han permitido el desarrollo de técnicas como rastreo satelital mediante sistemas de posicionamiento global, sistemas de información geográfica, sistemas de telemetría utilizando las redes celulares, etc. Por lo que con los recursos que se tiene se pueden crear dispositivos que aporten directamente al desarrollo de la planta en el caso de las florícolas.

Los sistemas de riego que son implementados en las empresas florícolas del Ecuador tienen el 50% de aceptación y están en proceso de innovación lo cual conlleva a la investigación y desarrollo de sistemas reformados que brinden un servicio confiable y eficiente para mejorar el desarrollo de las plantas y el aumento de la producción.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estudio de la agricultura de precisión y tecnología GPS

Actualmente, la implementación de la electrónica y de tecnologías de información y comunicación están abarcando un perfeccionamiento tecnológico dentro de las empresas, y hoy en día forman parte de los sectores florícolas favoreciendo al desarrollo de la agricultura de precisión en el Ecuador.

La mayoría de las empresas florícolas realizan sus trabajos de manera ancestral, en la que los datos referentes a los cultivos como monitoreo continuo, riego, fertilización, entre otros, conlleva a altos costos de operación y es donde se genera la idea de optimizar dichos procesos innovando tecnología como una posible solución. (C. Gómez & Egas, 2014)

El presente proyecto se enfoca en optimizar la producción del sector florícola empezando por el mejoramiento de los procesos que se llevan a cabo en los cultivos para levantar información y sirva para aplicar los sistemas de riego. Por esto, se requiere realizar un análisis de las tecnologías utilizadas en la agricultura de precisión y definir una manera de enfocarlas al sector florícola y sectores agrícolas en general integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable.

Una de las tantas tecnologías aplicadas en la agricultura de precisión, son los Sistemas de Posicionamiento Global, y el uso de la información tratada en este sistema para generar soluciones eficaces y eficientes a las necesidades de automatización y control en los procesos de riegos. Este proyecto se enfocará en el estudio de dicha tecnología y se lo desarrollará a escala de laboratorio ya que la extensión geográfica en los sectores agrícolas y florícolas es amplia y realizar un estudio llevaría altos costos de implementación.

Analizada esta tecnología, se detallará las ventajas que tienen los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) dentro del sector agrícola y las prestaciones que brinda a el mismo. Se determinará su arquitectura, características y fundamentos de transmisión de información, fortalezas y debilidades. Así como también se determinará el estado del arte de GPS en el Ecuador y sus aplicaciones.

2.1.1 Definición de la agricultura de precisión.

La agricultura de precisión es la disciplina que hace uso de una serie de tecnologías avanzadas de información empleadas para analizar y controlar la variación espacio-temporal de los terrenos y cultivos. Permite una mayor sostenibilidad en el manejo y el uso de los recursos naturales durante la producción de cultivos y maximiza la misma. (Santillán & Rentería, 2018)

Este tipo de agricultura se lleva a cabo a través del uso de herramientas tradicionales como la selección genética, fertilización, control integral de plagas, sistemas de riego, entre otras, a las que también se han incorporado tecnologías avanzadas como la telemetría, los sistemas de posicionamiento global, los sistemas de información geográfica, y otros avances tecnológicos dentro de la agricultura de precisión.

2.1.2 Aplicación del concepto de agricultura de precisión.

Los estudios enfocados en la automatización de máquinas agrícolas crearon una nueva forma de hacer agricultura. Con la liberación del sistema de posicionamiento global para uso de toda la sociedad se hizo posible la creación de dispositivos inteligentes permitiendo simplificar y hacer más eficientes las labores dentro de la agricultura, mejorando la eficacia de aplicación de insumos, reduciendo el impacto ambiental y costos de producción de los productos finales. (Santillán & Rentería, 2018)

La tecnología que se desarrolla no solo debe medir la variabilidad que existe dentro de los procesos agrícolas sino administrar y tomar decisiones que favorezcan a una mejor producción. De esta forma se definen prácticas agrícolas orientadas a sustituir la aplicación habitual de insumos de la agricultura tradicional. Por lo tanto, se tienen tres etapas en las cuales se enfoca la agricultura de precisión (Figura 1): (Santillán & Rentería, 2018)

Etapa 1: Recolección de datos (monitoreo de cultivo y suelo, mapas de producción);

Etapa 2: Procesamiento e interpretación de la información (análisis), y

Etapa 3: Aplicación de insumos (manejo variable).

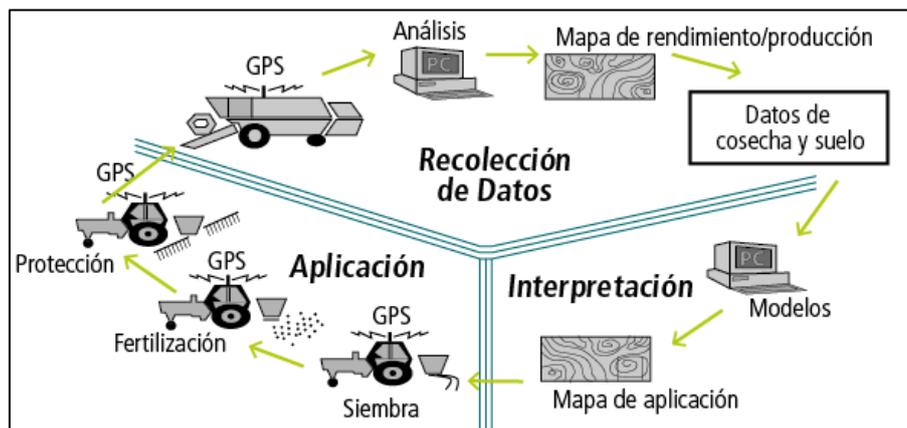


Figura 1. Etapas de la agricultura de precisión
Fuente: (Evardo Chartuni, Marcal, & Ruz, 2007)

La Figura 2, describe de mejor manera las etapas de la agricultura de precisión. En la primera etapa se debe realizar la recolección de datos en gran volumen, los que deben ser georreferenciados para identificar el área a la que pertenecen. Para llevar a cabo, se monitorea variables como el suelo, el que se puede analizar por medio de sensores que pueden estar fijos en el sector o ser móviles adquiriendo los datos variando la ubicación. Con las variables designadas para la recolección de sus datos, se inicia con la segunda etapa, en la que se procesa los datos. Estos datos procesados se asocian en conjunto para determinar mapas digitales. Estos más representan la variabilidad en los que pueden estar variables del suelo, humedad, etc. La tercera etapa permite el análisis de datos mediante softwares especializados, los que permitan

ayudar al especialista de agricultura de precisión a tomar decisiones de manejo del campo. Finalmente, la cuarta etapa lleva a cabo todas las decisiones tomadas en la etapa anterior juntamente con las tecnologías implementadas en el terreno, esta permitirá la aplicación de insumos necesarios, agroquímicos, fertilizantes y control de riego entre muchas otras. (Best, Inés, & Quiroz, 2008)

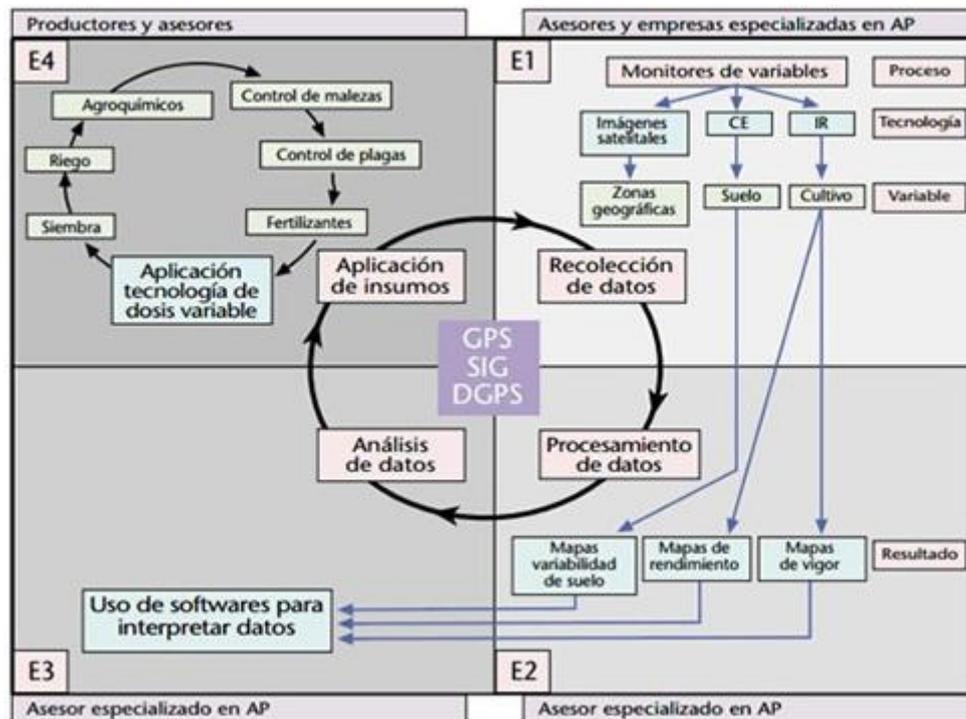


Figura 2. Etapas de la agricultura de precisión
Fuente: (Best et al., 2008)

2.1.3 Fundamentos.

El fundamento de la agricultura de precisión en el mundo se basaba en poder manejar la variabilidad de la producción, este manejo puede ser natural e inducido, como también puede darse con la combinación de las dos variabilidades.

Actualmente, la agricultura de precisión posee todas las herramientas que se encuentran disponibles dentro del desarrollo tecnológico de las comunicaciones: (García & Flego, 2015)

- Sistema de Posicionamiento Global GPS

- Sistemas de Información Geográfica
- Monitor de rendimiento
- Monitores de siembra
- Banderilleros satelitales
- Sensores remotos
- Teledetección Aérea y Satelital
- Telemetría.

El principio resumido de la agricultura de precisión es dar al cultivo lo que necesita, en el lugar y en el momento adecuado. Entre los principales objetivos que persigue la agricultura de precisión se mencionan los siguientes:

- Ofrecer lo que el cultivo necesita en el momento exacto y sus cantidades óptimas.
- Facilitar la obtención de datos agronómicos que permitan conocer y manejar la variabilidad de suelos y cultivo existente en un lote.
- Eliminar el enfoque tradicional de recomendaciones globales que no consideran los cambios que se presentan por la variabilidad y la tecnología de cada sitio.

2.1.4 Beneficios de la agricultura de precisión.

Entre los beneficios que pueden ser importantes en la implementación y desarrollo de la agricultura de precisión son: (García & Flego, 2015)

- La gestión optimizada de las explotaciones agrícolas.
- Reducción de la aplicación de pesticidas y fertilizantes juntamente con mayor aprovechamiento de energía y agua riego.
- Menor impacto medioambiental.
- Productos con mayor valor nutritivo.
- Obtención de información más precisa y alerta temprana de problemas.

2.1.5 Barreras en la agricultura de precisión.

Entre las barreras o desventajas que pueden ser importantes en la implementación y desarrollo de la agricultura de precisión son: (García & Flego, 2015)

- Debido a que cierta cantidad de empresas tienen una alta escala de producción y otros no, la agricultura de precisión no está disponible para todos.
- Altos costos de adquisición de equipos, dependiendo de lo que se requiere mejorar.
- La compatibilidad con maquinaria ya existente puede volverse nula.
- Necesariamente debe existir tecnología informática para la implementación y manejo de la maquinaria.
- Acceso a la información limitada (conexión de internet limitado para zonas rurales).

2.1.6 Aplicaciones electrónicas y tecnológicas.

La agricultura de precisión se enfoca en la utilización de la tecnología de la información para tener un adecuado manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente en un sector agrícola. Al usar sistemas de posicionamiento global (GPS) y diferentes medios electrónicos como fuente de obtención de datos permite al técnico implementar planes de manejo de variabilidad. Algunas de las técnicas que forman parte de la agricultura de precisión son utilizadas para siembras variables, manejo de fertilizantes, sistemas de riego, sensores remotos y muchas aplicaciones más. El uso de estas tecnologías permite el manejo óptimo de grandes extensiones y aumenta la rentabilidad. (García & Flego, 2015)

2.1.7 Herramientas de la agricultura de precisión.

Para dar a conocer las herramientas de la agricultura de precisión se detallan brevemente algunas de ellas:

2.1.7.1 Sistemas de posicionamiento global (GPS).

El sistema de posicionamiento global mediante satélites (GPS) es actualmente uno de los avances tecnológicos siendo inicialmente diseñado como herramienta militar para tener datos sobre la posición, velocidad y tiempo. (Villarroel, Scaramuzza, Méndez, & Vélez, 2014)

El GPS fue desarrollado por el departamento de EE. UU. con fines militares. Posteriormente su uso se lo implemento a aplicaciones civiles permitiendo localizar y ubicar personas y objetos en tiempo real. La tecnología satelital permite almacenar el recorrido de área a calcular, para luego informar en la pantalla de algún terminal el valor de dicho calculo con una precisión que varía entre los 5 y 20 metros. (García & Flego, 2015)

2.1.7.2 Monitoreo de rendimiento y mapeo.

Los monitores de rendimiento van de la mano de los sistemas de posicionamiento global ya que al combinarse pueden generar registros y mapeos instantáneamente del rendimiento de los cultivos. (Evandro Chartuni & Magdalena, 2014) Este monitoreo determina y adquiere parámetros para diagnosticar y corregir causas de bajo rendimiento dentro de los cultivos. (García & Flego, 2015)

El mapa de rendimiento es una representación espacial de datos durante el cultivo, entonces, los mapas de rendimiento se obtienen a partir de esos datos y de sensores que permiten calcular la cantidad de producción o rendimiento por superficie calculada, (Evandro Chartuni & Magdalena, 2014) basándose en la información de cada sector proporcionada por el GPS.

2.1.7.3 Percepción o adquisición remota.

Se refiere a la adquisición de información sobre un fenómeno u objeto por medio del análisis de datos obtenidos de un sensor remoto que no tiene contacto físico alguno con ese fenómeno u objeto bajo su estudio. (García & Flego, 2015)

La adquisición remota considera ser estudiada en dos etapas:

La primera etapa es la adquisición de datos, en la cual se realiza la detección y registro de información por medio de sensores para continuar con el análisis de datos, siendo esta la segunda etapa, en donde se procesa e interpreta los datos en relación con el estudio que se realice.

Los sensores remotos son equipos capaces de trabajar en cualquier plataforma ya sea móvil o estacionaria, cada una con características propias. La información que nos brindan puede ser velocidad y posición de una máquina, temperatura de un determinado lugar, fertilidad del suelo, entre otros. (Bragachini, 2016)

Lo innovador en la agricultura de precisión es que utilizan este tipo de dispositivos para determinar en tiempo real, algunas de las características agronómicas de los sectores por las que se desplace un vehículo equipado dentro del campo en caso de que la adquisición de datos sea móvil. (García & Flego, 2015)

2.1.7.4 Dispositivos electrónicos.

Son pequeños ordenadores portátiles, que se instalan en los vehículos que forman parte del trabajo agrícola o en sitios estratégicos estáticos. Estos dispositivos electrónicos trabajan juntamente con los sensores remotos permitiendo la obtención, almacenamiento y envío de la información por cualquier sistema de comunicación, trasladándola posteriormente a la presentación de los datos en una pantalla. Estos dispositivos pueden realizar diferentes tareas, siendo el caso dentro del funcionamiento del vehículo, trazar la ruta dentro del campo, variar la velocidad y generar movimientos evasores de obstáculos. (García & Flego, 2015)

2.1.7.5 Redes de comunicación.

Las redes o sistemas de comunicación transmiten la información obtenida por los sensores y dispositivos electrónicos instalados, desde el campo hasta un nodo central donde se procesa y se visualiza los datos para posteriormente tomar decisiones mediante la aplicación de metodologías correspondientes al estudio que se realice. Así, la información se vuelve precisa y oportuna evitando decisiones fallidas dentro del ambiente de trabajo.

2.1.7.6 Sistema de información geográfica (GIS).

Los Sistemas de Información Geográfica, permiten un adecuado manejo de la información, ya que los datos obtenidos se asocian a un conjunto de información gráfica en forma de planos o mapas a bases de datos digitales, representando los datos de una forma flexible. En la agricultura de precisión, esta herramienta se vuelve indispensable en la administración y gestión de la información, permitiendo monitorear y controlar diversas variables dentro del entorno de estudio o aplicación de esta herramienta. (Evandro Chartuni & Magdalena, 2014)

2.1.7.7 Software.

El software es un complemento a los dispositivos físicos que interactúan dentro del entorno permitiendo al técnico o personal encargado, administrar y tomar decisiones de las operaciones agrícolas. La administración de costos y el seguimiento de variables asociadas al campo, cultivo, rendimiento, maquinaria, entre otros, se los puede realizar desde una oficina. La información útil se la puede almacenar y utilizar para que el programa cree mapas de rendimiento y tomar decisiones para mejorar la producción.

2.2 Sistema de posicionamiento global como herramienta utilizada por la agricultura de precisión

El sistema de posicionamiento global es un sistema de navegación basado en satélites, se desarrolló originalmente para militares de los EE. UU. para ayudar a los soldados localizar sus posiciones; ahora, es un servicio público para todos los pueblos del mundo, para fines industriales, comerciales y civiles.

El servicio está disponible, en forma gratuita, las 24 horas del día y bajo cualquier condición meteorológica. Comenzado a principios de los '80 este sistema fue declarado completamente operacional. Completamente operacional significa que el sistema puede ser usado para determinar la posición de un receptor las 24 horas del día, en cualquier parte de la tierra.

En la agricultura, la temperatura del ambiente y humedad del suelo causan grandes pérdidas económicas en relación con el crecimiento disímil en varios sectores del terreno, por lo tanto, un constante y adecuado manejo de un programa de determinación de sectores con necesidad de riego es requerido en las plantaciones, medir la respuesta a los mecanismos de control y racionalizar el uso de líquido.

Para realizar dichas actividades se debe realizar el reconocimiento físico de las plantaciones, y determinar los intervalos de aplicación de riego. Tradicionalmente estas funciones son realizadas por trabajadores quienes hacen un registro manual de la información de campo lo que implica un costo elevado en mano de obra, toma de decisiones a destiempo e imprecisión de la información.

La utilización de un sistema de precisión GPS permite la recolección y el registro de información geográfica de interés para los productores, la misma que incluye: ubicación exacta de los lotes de la plantación, cables de la red eléctrica, carreteros, empacadores, canales de drenaje, árboles y otros obstáculos, así como principalmente los sistemas de riego.

Estos sistemas incorporan un receptor GPS de onda integrada, antenas, recolectores de datos y software para el procesamiento de la información. Las ventajas de esta tecnología con respecto al método tradicional son evidentes. La información generada puede ser procesada fácilmente en el mismo día, permitiendo la visualización del área recorrida por el trabajador con el fin de garantizar que el área asignada fue cubierta. Además, da la posibilidad de seguimiento del tiempo de iniciación y terminación del trabajo de campo, posibilitando el contar con información rápida, eficiente y confiable; determinando de forma precisa las áreas problemáticas y sus coordenadas y, finalmente, optimizando los recursos humanos.

2.2.1 Composición del GPS.

El sistema GPS está conformado por 24 Satélites en forma de red denominada NAVSTAR, estos están situados en una órbita a aproximadamente 20200 Km. de radio y un periodo o tiempo de revolución de 12 horas. Estos satélites están se encuentran ubicados entre seis planos orbitales con cuatro satélites cada uno. (Evandro Chartuni & Magdalena, 2014)

Los satélites permiten conocer la ubicación exacta a partir del procesamiento de los datos. Los receptores GPS portátiles empiezan a recibir señales de los satélites empezando por las de mayor magnitud, a partir de ello empieza a realizar cálculos de la distancia exacta hasta el satélite promovedor de la señal y conocer así los satélites cercanos. El receptor capta la señal de tres satélites y vuelve a calcular la posición del receptor en la tierra. En caso de tener un satélite que se suma a los cálculos, la precisión de los datos de la posición será más exactos. Los datos obtenidos como la latitud, longitud y altitud por lo general serán visualizados en una pantalla. (García & Flego, 2015)

2.2.2 Estructura de la señal del sistema GPS.

La clase de códigos que posee el sistema GPS son dos, el primero es el denominado Coarse I Acquisition o C/A que permite ser utilizado para la navegación y adquisición de datos de

2.2.3 Arquitectura.

El sistema GPS está basado en tres componentes como se muestra en la Figura 4:

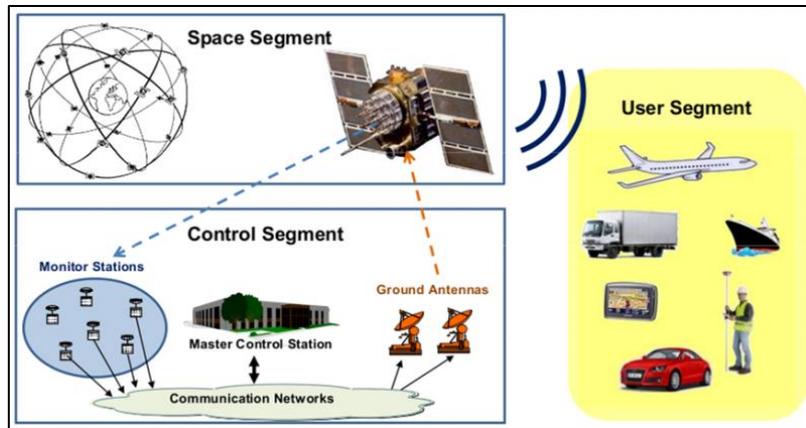


Figura 4. Arquitectura GPS
Fuente: (F. B. López & Ortega, 2017)

2.2.3.1 Segmento espacial.

El sistema está constituido de por lo menos 24 satélites funcionales, de los cuales veintiuno son de tipo operacional y tres de reserva. Todos estos permiten el funcionamiento del sistema en cualquier lugar del planeta, 24 horas al día y sobre cualquier condición climática. Los satélites orbitan aproximadamente 20 200 km por encima de la superficie terrestre en órbitas circulares medias (MEO), dichas órbitas poseen un ángulo de 55 grados de inclinación con respecto al plano del Ecuador con tiempo de revolución de aproximadamente 12 horas. (Evandro Chartuni & Magdalena, 2014) Esta configuración hace posible la detección de al menos cuatro satélites permitiendo el cálculo de la posición, tiempo y velocidad, esto debido a que los datos proporcionan datos de las tres dimensiones. (F. B. López & Ortega, 2017)

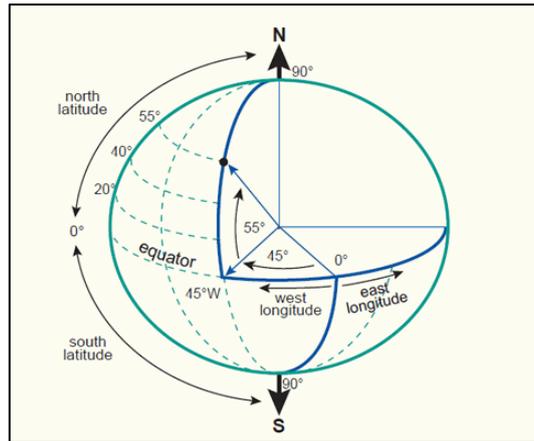


Figura 5. Sistema de coordenadas geográfico
Fuente: (F. B. López & Ortega, 2017)

2.2.3.2 Segmento de control.

El segmento de control monitorea los mensajes de navegación de los satélites y envía los ajustes que sean necesarios. Este segmento opera a partir de la Base Falcon de la Fuerza Aérea Americana en Colorado Springs, Estados Unidos, y también contiene cuatro estaciones de monitoreo y tres estaciones de carga distribuidas alrededor del mundo. Las estaciones envían a la Base Falcon información para el cálculo de las órbitas de cada satélite, y actualiza esa información en el sistema de señales. (Evandro Chartuni & Magdalena, 2014)

Estas estaciones terrestres poseen dos relojes atómicos de cesio referenciados al sistema de tiempo del GPS. De forma continua, calculan posiciones y horas de todos los satélites que estén a la vista. Estas operaciones se efectúan teniendo en cuenta el estado de la atmosfera y su influencia en la refracción de las señales. Con estos datos se calculan las orbitas y las correcciones temporales. (F. B. López & Ortega, 2017)

2.2.3.3 Segmento de usuario.

El usuario es el tercer componente quien recibe las señales enviadas por los satélites mediante el uso de receptores equipados con antenas. El usuario tendrá acceso a 6 o más satélites en un 96% del tiempo, a 8 satélites en un 32% del tiempo y a 9 satélites un 5% del

tiempo. El receptor recibe las señales de los satélites para procesar y convertir la señal GPS en posición, velocidad y tiempo, así el usuario puede acceder a aplicaciones como la navegación en tres dimensiones, el posicionamiento de precisión, la difusión del tiempo. (F. B. López & Ortega, 2017)

2.2.4 Funcionamiento del sistema de posicionamiento global.

Para determinar una posición espacial, necesariamente los tres segmentos o componentes de la arquitectura de un sistema GPS deben relacionarse mediante los siguientes pasos: (F. B. López & Ortega, 2017)

2.2.4.1 Triangulación de los satélites.

Para determinar una posición de un determinado objeto (receptor GPS) sobre la superficie de la tierra, se calcula la distancia desde el punto geográfico hasta tres puntos de coordenadas conocidas (grupo de satélites que actúan como puntos de referencia), estos cálculos se los realiza en cuatro mediciones como se detalla a continuación y se representa en la Figura 6:

- **Primera medición**

En cuanto el receptor capta la señal de un satélite, se calcula la distancia hasta éste, por ejemplo 19 000 km, esto significa que el receptor se localiza en cualquier punto sobre una esfera con este radio, con el satélite en el centro.

- **Segunda medición**

Al recibir la señal de un segundo satélite, se calcula la distancia, por ejemplo 20 000 km entre el satélite y el receptor, y se determina otra esfera. Como el área de intersección se da entre dos esferas y una circunferencia, la posición del receptor puede ser cualquier punto sobre el perímetro de esa circunferencia.

- Tercera medición

Al recibir la señal de un tercer satélite, se determina una tercera esfera y así se crean dos circunferencias que se interceptan en dos puntos. Teóricamente, con esas tres mediciones, el receptor sería capaz de determinar la posición correcta porque uno de los puntos presenta un valor absurdo y podría ser eliminado por procedimientos matemáticos. Sin embargo, esta posición está determinada en 2D (posición planimétrica).

- Cuarta medición

Una cuarta medición decide entre las dos posiciones y de esta manera determina la posición del receptor en 3D (posición planimétrica). El cuarto satélite también se utiliza para minimizar los errores de sincronización entre los relojes del receptor del satélite (Figura 7).

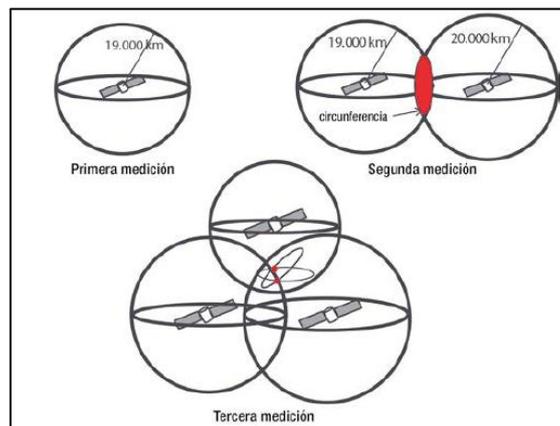


Figura 6. Medición de distancia hasta tres satélites para localización del punto
Fuente:(Evandro Chartuni & Magdalena, 2014)

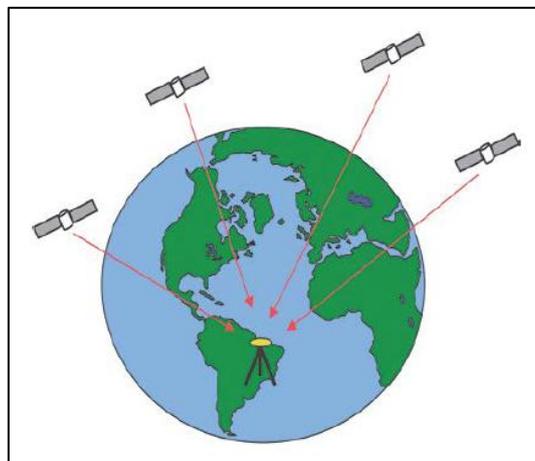


Figura 7. Seguimiento de la señal de 4 satélites para la obtención de posición
Fuente: (Evandro Chartuni & Magdalena, 2014)

2.2.4.2 Medición de distancia a los satélites.

La distancia comprendida entre el receptor y el satélite son calculadas a partir de los datos de velocidad de desplazamiento de la señal (velocidad de la luz) y el intervalo de tiempo necesario para que la señal sea emitida por el satélite hacia el receptor. (Evandro Chartuni & Magdalena, 2014)

Para determinar el tiempo que se demora en llegar la señal, el satélite y el receptor generan una señal con código pseudoaleatorio en forma simultánea. Entonces el receptor GPS analiza el código recibido y determina el tiempo transcurrido tras la generación del mismo código. (Evandro Chartuni & Magdalena, 2014)

Los códigos pseudoaleatorios generados por ambas partes son de alta complejidad en sus pulsos ya que así aseguran que señales de terceros no se sincronicen y manipulen la información, garantizando la seguridad de los datos. (F. B. López & Ortega, 2017)

2.2.4.3 Control del tiempo.

El valor del tiempo depende de la exactitud en la sincronización entre el emisor del código entre el satélite y el receptor. Los relojes atómicos en cada uno de los satélites generan una perfecta sincronización (Precisión de nanosegundos). In embargo, los receptores usan reloj de cuarzo con una alta estabilidad ya que la implementación de relojes de atómicos tendría un costo elevado y sería relativamente imposible implementarlo.

Los errores se pueden generar al realizar las mediciones entre 3 satélites, así que el sistema se diseñó con el propósito de corrección de errores de sincronización en el reloj del receptor involucrando a la medición un cuarto satélite. (F. B. López & Ortega, 2017)

2.2.4.4 Determinación de la posición de los satélites.

Además de la distancia y el tiempo, los receptores GPS necesitan conocer exactamente la ubicación de los satélites en el espacio. Para esto, los receptores GPS tienen en su memoria un almanaque que alberga efemérides que corresponden a los datos que el Segmento de Control transmite a cada satélite, en los cuales existe información sobre las correcciones en los cálculos de las órbitas, luego de los continuos monitoreos, mediante radares muy precisos que les permiten determinar con exactitud la altura, posición y velocidad de cada satélite. (Evandro Chartuni & Magdalena, 2014)

2.2.4.5 Corrección de errores.

Se debe considerar que diferentes fuentes de errores pueden afectar el correcto funcionamiento del sistema GPS y son determinantes en datos perfectos y precisos de las mediciones. Los principales errores que puede contener un sistema GPS son los siguientes (Figura 8) (F. B. López & Ortega, 2017):



Figura 8. Fuentes de errores en GPS
Fuente: (F. B. López & Ortega, 2017)

- Errores del segmento espacial

Entre estos errores tenemos, los errores de reloj, que se refiere a que los relojes atómicos de los satélites presentan ligeras variaciones a pesar de ser considerados los más exactos, sucediendo lo mismo con los relojes receptores. Las pequeñas variaciones pueden darse entre los tiempos de monitoreo. (Villarreal et al., 2014) Otro de los errores son los errores de

efemérides, que se relaciona con la línea de vista y dependiendo de esta el error afecta al posicionamiento, depende mucho de la separación entre el receptor y la estación de referencia. (F. B. López & Ortega, 2017)

- Errores de propagación

El Retardo ionosférico y troposférico es un tipo de error que se produce al pasar la señal por estas capas produciéndose un efecto similar a la refracción. al estar la ionosfera formada por partículas cargadas eléctricamente modifican la velocidad de las señales. En la troposfera se presentan fenómenos meteorológicos como el vapor de agua afectando igualmente a la velocidad del agua y considerándose datos prácticamente incorregibles. (Villarroel et al., 2014)

- Errores locales

Los errores locales vienen dados por Multipath, éste es un error local, puede originarse cuando el receptor está ubicado en superficies con características reflectivas. Una solución es colocar antenas GPS realizando la función de filtrar las señales y empleando técnicas avanzadas para el procesamiento de la señal. (Villarroel et al., 2014) El otro error local viene dado por el Ruido del receptor, en este caso el receptor posee una precisión muy alta, en ocasiones se presentan minúsculas variaciones en los datos que emiten en cuanto a velocidad de marcha, esto produce errores cuya magnitud no es muy alta, pero que siguen siendo errores. (F. B. López & Ortega, 2017)

2.3 Desarrollo de la agricultura de precisión y su compatibilidad con la infraestructura tecnológica en el Ecuador.

La agricultura tiene un gran impacto social y económico en el Ecuador siendo el verdadero motor de la economía ecuatoriana. (C. Gómez & Egas, 2014) Al ser una actividad que genera altos ingresos económicos presenta altas exigencias por parte de los mercados internacionales

y los demás países competitivos dentro del mercado de productos más tradicionales como lo son el banano, camarón y flores.

Al ser un país con características favorables respecto al clima, suelo y ubicación geográfica, todas las ciudades generan productos de origen agropecuario. Sin embargo, las exigencias y estándares de calidad hacen que el País, no solo considere, sino cumpla con las exigencias de los mercados a los que exporta sus productos. Este problema puede no ser atendido por la falta de herramientas tecnológicas y el apoyo por las autoridades gubernamentales.

En los Países vecinos la introducción de la agricultura de precisión genera aspectos positivos en la producción, así como la introducción de tecnología en el Ecuador principalmente en los sectores florícolas. En general se podría afirmar que el País ha tenido un gran avance tecnológico basadas en las condiciones locales.

Con respecto a la agricultura de precisión, Ecuador cuenta con los recursos necesarios y tecnología de punta como los sistemas de posicionamiento global, sistemas de telemetría y rastreo satelital. Al tener un alto acceso a la información relacionada a sistemas de posicionamiento global y su aplicación dentro de actividades agrícolas se considera que al ser utilizado e implementado con algunos servicios que pueden complementarse permitiría un avance tecnológico y productivo, colocando al país en uno de los mejores exportadores dentro del mercado internacional.

2.3.1 El sector florícola en el Ecuador y la introducción tecnológica.

El sector florícola ha venido conformándose como un verdadero motor de producción generando empleo y altos ingresos económicos muy dinámicos en el área de agricultura y ganadería. (C. Gómez & Egas, 2014). Para ello, es necesario desarrollar tecnología dentro de la cadena productiva para tener un sector dinámico y apto para la aplicación y generación de

ideas innovadoras, siendo capaz de responder de manera rápida y eficaz a la demanda externa, colocando su producto en varios destinos de exportación.

El esfuerzo diario por perfeccionar procesos de producción ha logrado que las flores del Ecuador sean caracterizadas como exclusivas y de alta calidad a nivel internacional, ganando competitividad en el exigente mercado externo. Todos estos factores convierten al sector floricultor en un verdadero ejemplo de desarrollo económico local, a través del cambio estructural.

Ecuador tiene implementado tecnología de diferentes países como, por ejemplo, la tecnología de riego es israelí, pero para la implementación de cualquier tecnología va a depender de las condiciones climáticas y estructurales de la empresa. Por lo general la tecnología que se encuentra en las empresas son sistemas de riego, control de humedad y luminosidad, ventilación, etc. Haciendo que los trabajadores se independicen de factores que son muy difíciles de controlar haciendo que la producción sea positiva.

El presente proyecto se enfoca a los sistemas de riego basados en la agricultura de precisión y a buscar una solución basada en selección de rutas eficientes para los mismos sistemas dependiendo del punto estratégico que tenga necesidades y ahorrar recursos y tiempo mejorando la producción florícola.

2.3.2 Aplicación de la agricultura de precisión como herramienta en el mejoramiento de los sistemas de riego en el sector florícola del Ecuador

La agricultura en el transcurso del tiempo ha estado ligada a un problema de la disponibilidad del recurso hídrico y su uso inadecuado. Los objetivos y retos que se plantean las florícolas son mejorar la eficiencia en el uso de este recurso. El riego de precisión utiliza las tecnologías disponibles para realizar una programación óptima del riego, estableciendo el momento, para lograr optimizar la frecuencia y el tiempo de riego adecuados según las

características del cultivo, la configuración de la red de riego, el clima y suelo de la finca, dando de esta forma el agua que necesita la planta en el momento adecuado, (Arroyo, 2015)

En los sistemas de Riego, la agricultura de precisión tiene un papel importante ya que permite ejecutar planes de acuerdo con las necesidades de las plantas y los parámetros de los sembríos como son la humedad, CO₂, etc. Estos planes de riego optimizan el uso del agua y permiten mejorar los procesos de producción y desarrollo de las plantas.

La actualización y mejoramiento de los sistemas de riego permite establecer riegos programados en cantidad, tiempo y aplicado a sectores en donde si exista la necesidad de este recurso, basados en la detección y selección de rutas más cortas en los sistemas de riego dentro del sector.

Actualmente las tecnologías que están dentro de la agricultura de precisión hacen uso de varios sistemas de comunicaciones así como también de orientación y navegación, sin embargo los sistemas de posicionamiento global están al alcance de todos y el uso del mismo no se ve limitado permitiendo que el uso del mismo en este proyecto permita determinar conjuntamente con el uso de sensores los sectores con necesidad de riego dentro de la finca y lograr que el sistema de riego proporcione el recurso hídrico únicamente a ese sector para tener mejor uso del agua. Además, estos sistemas de posicionamiento nos permiten trabajar en cualquier condición del tiempo proveyendo información digital con una integración más sencilla con sistemas de informaciones geográficas y con costos relativamente económicos.

2.4 Áreas de muestreo y adquisición de datos para suelos agrícolas

Hay que hacer notar que la toma de datos y el movimiento del robot se basa en “etapas de la toma de muestras para análisis de suelos”. Por lo que se explica brevemente en que consiste y como se aplica a los cultivos.

2.4.1 Áreas de muestreo y adquisición de datos para suelos agrícolas en General.

Existe una gran variedad de metodologías para la Toma de Muestras dentro de un ambiente de estudio, todo se debe a la diversidad de ambientes naturales y los distintos objetivos del análisis. Sin embargo, existen algunas normas básicas para obtener muestras representativas. (Bolsa de Comercio de Rosario, 2014)

En terrenos en general se debe realizar una división en áreas uniformes en lo que hace a la topografía de todo el terreno como se muestra en la Figura 9. Así se permite diferenciar las áreas de muestreo y aplicación del sistema propuesto.

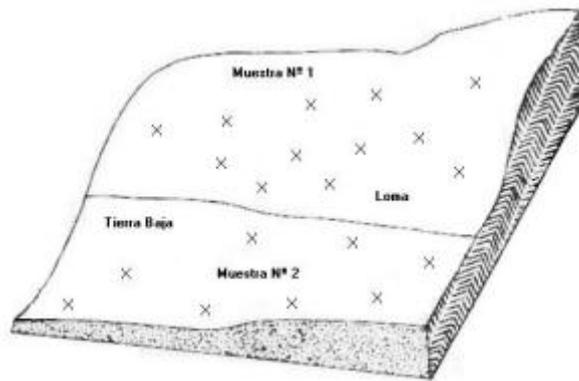


Figura 9. División de áreas dentro de la topografía de terreno
Fuente: (Bolsa de Comercio de Rosario, 2014)

La aplicación del sistema por lo tanto únicamente se la realiza en área homogéneas y se requiere realizar varias submuestras dentro de esa área. Con relación a tomar 100 muestras solo se debería tomar 10, lo que representará que esa área tendría similares características de suelo, logrando tener una representación de la muestra total esa área.

Para tener una representación de la muestra total se debe tomar algunas submuestras en las áreas ya divididas. cómo se mencionó anteriormente. Dicho de otra manera, no es necesario tomar muchas muestras sino las necesarias, que definan el estado del área.

Para ello, se debe seguir una determinada metodología de muestreo como se menciona a continuación:

- Para cultivos extensivos (cultivos y praderas), la superficie para revelar por cada muestra sería entre 20 y 50 hectáreas y la toma de submuestras debería ser cada 2 o 3 hectáreas.
- Para cultivos intensivos (quintas, frutales, florícolas, huertas), la superficie para revelar por cada muestra sería de 1 hectárea o 1 parcela y se tomarán de 10 a 30 submuestras por hectárea o parcela.

Ahora bien, una vez definida la metodología de muestras existen algunos recorridos para realizar dentro del área en la toma de muestras y son de acuerdo con esquemas como se muestra la Figura 10. (Bolsa de Comercio de Rosario, 2014)

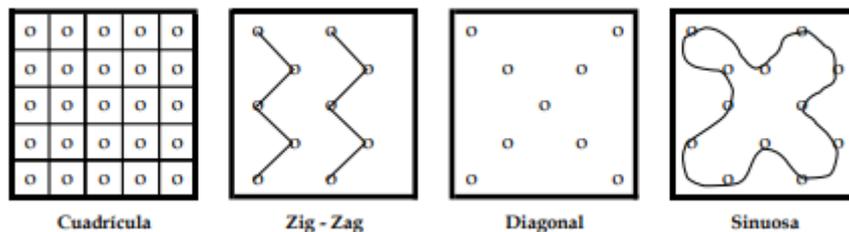


Figura 10. Esquemas de muestro
Fuente: (Bolsa de Comercio de Rosario, 2014)

Después de lo detallado anteriormente, en esta prueba se analiza los datos GPS aplicando el esquema de muestreo en forma de cuadrícula ya que es más efectivo para cultivos en general y en el cual el robot puede desenvolverse de mejor manera y cumplir sus funciones efectivamente. Se debe considerar que el sistema al ser aplicado a escala de laboratorio las medidas van a variar en relación con las medidas de un sector comprendido por varias hectáreas.

2.4.2 Áreas de muestreo y adquisición de datos para suelos florícolas (Rosas).

El procedimiento que se lleva a cabo dentro de las empresas florícolas es muestrear cada cama adquiriendo únicamente dos submuestras. Los sitios de toma de muestra en la cama son siempre el 3ro o 6to cuadro en camas con longitud de 30 metros y en las de 15 metros en el 2do y 4to cuadro. (“Procedimiento de Laboratorio para el Análisis de c.e., PH y nitratos en los suelos florícolas,” n.d.)

Las submuestras se toman en el centro de la cama exactamente entre las dos plantas o entre las dos líneas de manguera de goteo como muestra la Figura 11.



Figura 11. Toma de submuestras dentro de la cama sector florícola
Fuente: Autoría

2.5 Sistemas embebidos

Los sistemas embebidos son sistemas de procesamiento de información de uso específico integrado en otro sistema de mayor tamaño y conformado por componentes de hardware y software. (González & Urrego, 2008) Estos sistemas están diseñados para cumplir un alto rango de necesidades y funciones específicas dedicadas en un sistema de computación en tiempo real. (UNED, 2016)

Algunas de las características que debe tener un sistema embebido están basadas en la seguridad informática, disponibilidad, confiabilidad, la eficiencia e interfaces de uso amigables al usuario. Se debe tener en cuenta que los sistemas deben cumplir una restricción de tiempo real para generar respuestas correctas a tiempo y no tardías que podrían ser erróneas.

Para poder desarrollar un sistema embebido, los componentes se los ubican en la placa base tomando en cuenta factores de hardware como el procesador, memorias y periféricos, los sistemas operativos y compiladores forman parte de los factores de software. Así automatizan tareas específicas y realizan funciones programables optimizando recursos para su realización por parte de los seres humanos.

Los sistemas embebidos en la agricultura de precisión y la introducción en las florícolas hacen que su uso permita automatizar procesos dentro del desarrollo de producción. Estos sistemas pueden ser complementados con otros sistemas de comunicación y transmisión de datos para su mejor tratamiento dentro de una interfaz y generar metodologías dentro de las actividades agrícolas. Las redes de sensores inalámbricas forman parte de los sistemas embebidos y son las que actualmente están inmersas en mejorar la productividad de las empresas.

2.5.1 Redes de sensores inalámbricas (WSN).

La red de sensores inalámbricos, es una red de pequeños sistemas informáticos embebidos colocados en el mundo físico, y capaz de interactuar con este. Al ser una tecnología moderna, integra el conocimiento de sensores, control de automatización, transmisión de la red digital, almacenamiento y procesamiento de datos. El papel de las WSN en la agricultura de precisión se ha convertido en prominente como parte de la iniciativa de aplicar a los campos agrícolas. (Honores, 2016) Con el uso de esta tecnología se pretende monitorizar y gestionar en tiempo real la comunicación de varios dispositivos inalámbricos desplegados en el cultivo tanto

estáticos como móviles, logrando reducir tiempos de respuesta y minimizando consumo de energía.

La agricultura de precisión requiere de redes de sensores que tengan una unidad de control centralizado con un interfaz de usuario donde se maneje la información acorde a las necesidades de campo. con esto se pretende el mejoramiento de procesos agrícolas asegurando la máxima producción agrícola con un mínimo impacto ambiental.

2.5.1.1 Topologías WSN.

Los esquemas de las redes de sensores inalámbricas dependen de su aplicación, la importancia de la topología y su implementación se ve reflejada en la diferencia de consumo de energía por factores como la tecnología a usarse, distancia entre nodos finales, números de salto al nodo central o de gestión. Los modelos que se pueden plantear son:

- Topología en estrella (Star topology), que contiene sensores conectados a un centro de gestión.
- Topología en rama (Branch topology), se genera a partir de una topología en estrella ya que los nodos centrales o de gestión va a comunicarse entre sí.
- Topología lineal (Linear topology), el nodo final se enlaza a otro nodo con comunicación al centro de gestión. (Núñez, 2014)

Estas topologías se muestran en la Figura 12, con su color representativo para la topología en estrella (amarillo), topología en rama (azul) y la topología lineal (rojo).

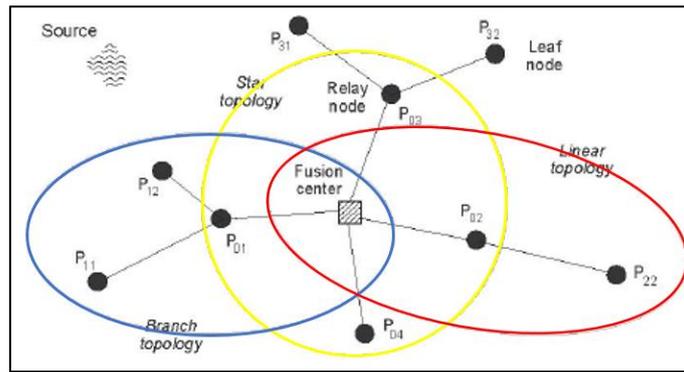


Figura 12. Topologías WSN
Fuente: (Thatte & Mitra, 2006)

2.5.1.2 Tecnologías WSN.

Las redes de sensores están basadas en algunos de los estándares inalámbricos, indicados en la Tabla 1, donde habrá que alcanzar características específicas entre la velocidad de transmisión, cobertura y coste energético por paquete transmitido. Actualmente, los estándares y tecnologías más utilizados son los siguientes:

- ZigBee

Es una tecnología que cubre las necesidades de mercado de redes inalámbricas con bajo coste y de baja velocidad de área personal basadas en el estándar IEEE 802.15.4. Esta tecnología que define más niveles además de capa física y capa MAC. El encaminamiento, la seguridad a nivel superior y aplicaciones son los niveles definidos para esta tecnología. El encaminamiento se lo aplica en múltiples satos, especificando diferentes topologías de red. (Kaur, Kaur, & Singh, 2014)

- Bluetooth

Es una tecnología inalámbrica basada en el estándar IEEE 802.15.1, con el objetivo de la comunicación entre dispositivos móviles con limitaciones a cortas distancias y diseñado para optimizar la funcionalidad de las redes ad-hoc. (Núñez, 2014)

- IEEE 802.11

IEEE 802.11 o “Wi-Fi” es un medio inalámbrico de comunicación usado para la transmisión y recepción de datos dentro del internet. Dispositivos como computadores, celulares y entre otros, hacen uso de este equipamiento. A continuación, en la tabla 1 se explica las tecnologías antes mencionadas con su respectiva comparación y detalles de características:

Tabla 1. Comparación de tecnologías inalámbricas

Descripción	Bluetooth	Wi-Fi	ZigBee
Estándar	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11	IEEE 802.15.4
Aplicación principal	Transferencia de audio y datos	Navegación por Internet, red de ordenadores y transferencia de ficheros.	Control y monitorización remota, control médico, industrial, domótica.
Ancho de Banda	1 Mbps	De 11 a 54 Mbps	250 kbps (2.4 GHz) 40 kbps (915 MHz) 20 kbps (868 MHz)
Memoria necesaria	250 KB+	1 MB+	4-32 KB
Potencia	40mA transmitiendo y 0,2mA en reposo	400mA transmitiendo y 20mA en reposo	30mA transmitiendo y 3uA en reposo
Vida de la batería (días)	1-7	0.5 – 5	100-1000+
Tamaño de red	8 dispositivos	32 dispositivos	255/65000 nodos
Velocidad (Kbps)	720 kbps	54 Mbps	20-250 Kbps
Cobertura (metros)	10	15-100	10-75
Seguridad	PIN (Número de identificación personal)	No obligatorio	Servicio cifrado y autenticación de paquetes
Parámetros importantes	Coste y perfiles de aplicación	Velocidad, flexibilidad	Fiabilidad, bajo consumo y costo

Fuente: (Núñez, 2014)

2.5.1.3 Estándares y protocolos de comunicación.

Existen algunos estándares y protocolos pertenecientes a las WSN, a continuación, se detallan los estándares más relevantes en aspectos de optimización para el encaminamiento de datos:

- Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (Leach)

En las WSN, Leach es un algoritmo de encaminamiento de los datos, el consumo de energía equilibrada y la evasión de colisiones lo logra con la técnica TDMA, el funcionamiento consta de que los nodos finales transmiten a los principales la información, estos nodos principales recibe la información, la procesa y los comprime hasta enviarlos a la central de gestión. Los nodos principales son seleccionamos aleatoriamente dependiendo de la capacidad de conectarse con la central de gestión. (Núñez, 2014)

- Routing Protocol for low Power Lossy Networks (RPL)

El protocolo está diseñado para redes con tasas de pérdidas de paquetes altos y de baja energía. Se basa en el vector distancia y los dispositivos que ejecuten este protocolo están conectados sin presencia de ciclos presentes. El objetivo de RPL es apuntar a redes con miles de nodos con recursos limitados en los cuales se incluyen tráfico punto a punto, punto multipunto y viceversa. (Núñez, 2014)

- IPv6-based Low Power Wireless Personal Area Networks (6LoWpan)

Proporcionan el envío de paquetes IP versión 6 sobre una red basada en el IEEE 802.15.4. Los dispositivos de bajo consumo que usan protocolos IP pueden comunicarse directamente con otros similares. Este estándar es pensado para las aplicaciones en las que se usan dispositivos que tiene baja tasa de envío de datos y que requieren comunicación con internet. (J. López, 2011)

2.5.2 Sistemas inteligentes.

Los sistemas inteligentes embebidos hacen hincapié en las tecnologías y capacidades que incluye desde los componentes individuales hasta las soluciones completas de sistemas. La visión de tener sistemas inteligentes en las empresas es que sean capaces de detectar, conectar y controlar aprovechando el procesamiento integrado y la conexión inalámbrica de las tecnologías ya existentes o emergentes.

2.5.3 Características de demanda de los sistemas embebidos.

El diseño de un producto que incorpora sistemas embebidos se acopla a una demanda de requerimientos con los cuales se ajusten a operar en un ambiente dedicado con condiciones operacionales y escenarios muy específicos. Algunas características por analizar son:

- Memorias

Los sistemas embebidos requieren de un software y hardware para su manejo y ejecución de tareas. Esto se refiere a la memoria RAM o ROM que incluso puede venir dentro del mismo procesador. Debido a que las tareas realizadas por los sistemas embebidos son sencillas, los procesadores más usados cuentan con registros de 8 a 16 bits. Las memorias albergan los códigos de los programas con característica principal de tener un acceso de lectura y escritura en el menor tiempo posible haciendo que el procesador no pierda tiempo en las tareas que el código ejecute.

- Baterías

El diseño de los dispositivos electrónicos alimentados por baterías representa un coste de mantenimiento que puede llegar a ser significativo en función de la frecuencia con que haya que sustituirlas. Esto genera que sea imprescindible tener un valor exacto de duración de una batería y por lo efecto los costes de mantenimiento. Existe una manera de dimensionar las baterías dependiendo del dispositivo calculando con las siguientes variables:

La capacidad de las baterías se mide en amperios/hora o miliamperios/hora dependiendo de su tamaño. Ahora bien, la corriente consumida por la batería (I) y la capacidad (C), son conocidas y se podrá obtener un aproximado de duración con la siguiente expresión:

$$\text{Número de horas} = C/I$$

Con la expresión mencionada se podrá calcular una cantidad casi fija de la duración, pero al existir varios elementos como servomotores, sensores, elementos de transmisión y recepción de información, así como también los estados como reposo, almacenamiento de datos, recepción de órdenes del microprocesador hacen que se consideren independientemente en el cálculo para dimensionar con exactitud el perfil energético del sistema embebido. Expresado matemáticamente, el consumo por estos elementos y estados se calculará como:

$$I_s = \sum_{i=1}^n d_i I_i$$

Siendo $d_i I_i$ el ciclo de trabajo por corriente o ciclo útil, definiéndose como la *fracción de tiempo en el cual un determinado dispositivo, o un estado de este, está activo*.

Una observación importante es que estos estados sin ninguna actividad consumen batería solo por mantenerse en modo stand-by. Por lo que se debería sumar todos los consumos quedando la expresión de corriente total como:

$$I_T = I_{lmp} + I_s = I_{lmp} + \sum_{i=1}^n d_i I_i$$

Si analizamos la ecuación de la corriente total del equipo, podemos observar que la corriente que consume el equipo en stand-by es algo que no podemos eliminar ni reducir, y, por otro lado, la corriente consumida por las distintas operaciones es variable en función del ciclo de trabajo de dichas operaciones. Por tanto, es fácil observar que podemos reducir el ciclo de

trabajo de dichas operaciones para maximizar la vida útil de las baterías. Obteniendo que, en el extremo, la duración máxima de las baterías se obtendrá cuando la corriente consumida por las operaciones, aplicando el ciclo de trabajo, sea despreciable frente a la corriente de stand-by, cuyo ciclo de trabajo es 1. Expresado matemáticamente: (Longares, 2011)

$$I_s \ll I_{lmp}$$

$$I_T \approx I_{lmp}$$

$$\sum_{i=1}^n d_i I_i \ll I_{lmp}$$

$$I_T \approx I_{lmp}$$

- Tiempos de procesamiento

Los tiempos de procesamiento dependen de las operaciones de software deben ejecutarse en tiempo real y en periodos limitados. Los sistemas embebidos deben estar sujetos a fuertes restricciones por lo que trabajar con sistemas operativos especiales en tiempo real es una de las grandes restricciones, para lo cual el procesamiento dentro del microprocesador debe reaccionar a los estímulos provenientes del exterior, respondiendo con fuertes restricciones de tiempo. Por lo tanto, los tiempos de procesamiento deben ser mínimos para que la información tratada en tiempo real sea vigente. Dicho de otra manera, si la información llega al receptor en forma periódica, los tiempos de adquisición y tratamiento deben ser inferiores a los de actualización de la misma información.(UNED, 2016)

- Coste computacional

El bajo consumo de potencia y los bajos costos debe ser una característica principal de los sistemas embebidos. Normalmente los procesadores instalados en los sistemas son básicos y con memorias pequeñas haciendo que el procesamiento computacional sea lento por lo tanto los costos se ven reducidos. La velocidad de procesamiento no solo se da por la velocidad del reloj del procesador, sino que también la estructura de un embebidos reduce los costos.

- Seguridad

El diseño de un producto que incorpora los sistemas embebidos está orientado a los costos y a maximizar la confiabilidad, pero es necesario e importante el aspecto de la seguridad de la información para lo cual se incluye funciones y protocolos criptográficos que protejan la información durante todo su tratamiento. Tradicionalmente la información ha sido recabada por medio de terminales seriales, pero existe la necesidad de que toda la información sea adquirida remotamente con interfaces de operador, eléctricas y exteriores a las cuales se les puede aplicar funciones criptográficas y que los datos se vuelvan segura de alguna forma. (UNED, 2016)

2.6 Machine Learning

El desarrollo de sistemas de información se enfoca en abarcar gran cantidad de datos que puedan ser provechosos y de valor real en el negocio y generar una ventaja competitiva para las empresas florícolas en el mercado. Es ahí donde se introduce el termino de Machine Learning.

Machine Learning se introdujo en todo tipo de empresas debido a que proporciona un valor agregado al negocio y en busca de solucionar problemas que la programación tradicional no puede solucionar con sus principales innovaciones en aumento de la capacidad de procesamiento y la disminución de los costes de este.

Según (Contreras, 2016), el machine Learning es una rama de la inteligencia artificial encargada de crear programas de software capaces de generalizar comportamientos a partir de los datos recibidos. La investigación actual se centra en la visión por ordenador, el oído, el procesamiento de lenguajes naturales, procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones, computación cognitiva, entre otras. Estas líneas de investigación tienen como objetivo brindar a las maquinas con capacidades de recolección de datos el uso de herramientas

de inteligencia computacional y métodos de aprendizaje automático para realizar predicciones y toma de decisiones en el mismo nivel que los seres humanos. (Mohammed, Khan, & Bashie, 2016)

2.6.1 Machine Learning: Aprendizaje supervisado.

Dentro del Machine Learning los algoritmos utilizados se los agrupa en dos tipos que son el aprendizaje supervisado y no supervisado. En este caso de estudio se analiza únicamente el aprendizaje supervisado.

El aprendizaje supervisado es aquel que para un conjunto de datos de entrada conocemos de antemano los datos correctos de salida. Consta de dos fases, una de entrenamiento y otra de pruebas. (Contreras, 2016)

- En la fase de entrenamiento se cuenta con un conjunto de datos que representan el 60% o 70% de la data disponible con los cuales se entrena el algoritmo para encontrar los patrones y relaciones de la data.
- En la fase de pruebas se cuenta con una data de pruebas que representa el 40% o 30% de la data disponible haciendo que se valide o no el rendimiento del algoritmo.

Dos grupos o métodos de Machine Learning que están enfocados en los algoritmos mencionados anteriormente son:

- Método de Regresión: mapea variables de entrada a alguna función continua para predecir el valor de un atributo continuo.
- Método de Clasificación: predice resultados con una salida discreta clasificando un registro de variables. (Contreras, 2016)

2.6.2 Redes neuronales.

Existen numerosas maneras de definir a una red neuronal, para este caso la mejor definición es:

“Una red neuronal es un modelo computacional, paralelo, compuesto de unidades procesadoras adaptativas con una alta interconexión entre ellas, las cuales procesan información para dar una respuesta a entradas externas.” (Hilera & Martínez, 1995)

Las redes neuronales intentan reproducir el comportamiento cerebral, realizan una simplificación averiguando los elementos más relevantes del sistema de toda la data. Una elección adecuada de las características juntamente con una estructura conveniente es el procedimiento para realizar tareas específicas. (Serrano, Soria, & Martín, 2010)

2.6.2.1 Ventajas de las redes neuronales.

Las redes neuronales tienen varias propiedades y características que las hacen atractivas para ser utilizadas como solución a problemas prácticos, entre ellas están su topología, el mecanismo de aprendizaje, asociación entre información de entrada y salida, y la forma de representación de la información. Debido a esto existen ventajas en múltiples áreas: (Serrano et al., 2010)

- Aprendizaje adaptativo. Se refiere a la capacidad de aprender a realizar tareas basadas en un entrenamiento.
- Autoorganización. Crea su propia organización o representación de la información que receipta mediante la etapa de entrenamiento.
- Tolerancia a fallos. Al existir fallas en algunos elementos individuales, no altera significativamente la respuesta total del sistema.

- Operación en tiempo real. El hardware es diseñado especialmente para obtener una alta capacidad de procesamiento.
- Fácil inserción dentro de la tecnología existente. Permite la integración modular en sistemas existentes mejorando la capacidad de tareas específicas.

2.6.2.2 Aplicaciones de las redes neuronales

Existen gran variedad de aplicabilidad de las redes neuronales según su tipo. Una de ellas se enfoca al mercado de manufactura, aplicándolas en robots automatizados y sistemas de control (sistemas de riego, sensores de temperatura, gas, visión artificial, etc.), control de producción, optimización de recursos, entre otras. Podemos buscar hechos comunes en esta lista de aplicaciones; la mayoría de ellas consisten en realizar un reconocimiento de patrones: buscar un patrón en una serie de ejemplos, clasificar patrones, completar una señal a partir de valores parciales o reconstruir el patrón correcto partiendo de uno distorsionado. Muchos de los ejemplos tienen que trabajar con datos sensoriales y de percepción (señales visuales, auditivas y otras) y otros realizan filtrado o mapeo de señales de entrada. En general, los ejemplos mostrados indican que son característicos más de las personas que de los ordenadores convencionales. (Hilera & Martínez, 1995)

2.6.3 Algoritmos para selección de rutas.

El algoritmo de la ruta más corta consiste en determinar el plan de rutas que genere la trayectoria con la mínima distancia total, de tal manera que una un nodo fuente con un nodo destino, sin importar el número de nodos que existan entre estos. (Salazar, 2016)

Existen algoritmos de búsqueda gráfica que resuelve solo la fuente más corta de un problema del camino, produciendo un camino más corto. Este algoritmo se utiliza a menudo en la ruta. (Jia, Pan, & Xu, 2016) El algoritmo encuentra la ruta con menor coste (es decir, el camino más corto) entre el vértice y cualquier otro vértice. Vale la pena considerar, que, en la práctica, es

muy frecuente la utilización del algoritmo resultante con variaciones que consisten en la minimización de tiempos, no necesariamente de distancias.(Salazar, 2016)

2.6.4 Criterios de selección de algoritmos.

Para determinar los criterios de selección de algoritmos se debe realizar un análisis de estos, tomando en cuenta los recursos restringidos como el tiempo y la memoria. Cuando los algoritmos ejecutan sus tareas en circunstancias extremas permite generar criterios para su selección o totalmente ser eliminados de la propuesta. Algunos criterios que se analizan son los siguientes:

- Coste computacional

La reducción del coste computacional viene asociado tanto al aprendizaje como al propio modelo de conocimiento generado, eliminando atributos irrelevantes y a la precisión al seleccionar dichos atributos. Por lo que los algoritmos de selección de características reducen el coste computacional de los sistemas. (Schaeffer, 2017)

El número de operaciones de los algoritmos que deben realizarse para completar el procedimiento y encontrar resultados, comprueba la eficiencia del algoritmo. Por lo que el número de las operaciones y la eficiencia son parte fundamental en el coste computacional. Por lo tanto, la eficiencia viene dada por, coste espacial o cantidad de memoria requerida y coste temporal o tiempo necesario para resolver el problema.

Dependiendo del tiempo/memoria consumidos se definirá el coste computacional del algoritmo y determinara si es válido o no para el sistema que se esté desarrollando. (Schaeffer, 2017)

- Costes espacial o memoria

La cantidad de memoria que requiere un algoritmo se suele llamar coste de espacio. Es evidente que conviene buscar algoritmos que mantengan tan bajo como sea posible el consumo de recursos que hacen el sistema, como se mencionó en el anterior enunciado, que sean lo más eficiente posibles. (Duch, 2007) Un algoritmo debe ser analizado para determinar el uso de los recursos que realiza con el fin de lograr una eficiencia máxima. Sin embargo, varias medidas como la complejidad temporal y espacial no pueden ser comparadas directamente, ya que la complejidad espacial se refiere a la cantidad de memoria que necesita el código y la cantidad que necesitan los datos sobre los que opera el código y la temporal a cuanto se demora un algoritmo en terminar sus funciones. (Schaeffer, 2017)

- Costes en tiempo o tiempo de respuesta del algoritmo

La elección de un algoritmo o programa para solucionar un problema se vuelve complicada al tener varios algoritmos que presentan la alternativa de solución. Por lo tanto, se puede requerir de un algoritmo fácil con un uso eficiente de los recursos de la maquina o un complejo que el costo de ejecutar el programa se refleja en los tiempos de ejecución. (M. del C. Gómez & Cervantes, 2014)

Como se menciona anteriormente, el tiempo de ejecución depende del tamaño o valor de la entrada del programa, la calidad del código generado por el compilador, complejidad en el tiempo del algoritmo y la rapidez de las instrucciones en la maquina utilizada para que se ejecute. (M. del C. Gómez & Cervantes, 2014)

CAPÍTULO III

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Este capítulo se basa en la selección y presentación de Hardware y Software que van a ser parte fundamental dentro de la investigación basándose en el estándar IEEE 29148. Al ser un proyecto de investigación el hardware y software propuesto se basa en los requerimientos básicos del sistema.

3.1 Metodología

Para el proceso de investigación se debe basar en una metodología que permita llevar a cabo procesos y conjunto de técnicas para poder recabar, ordenar y analizar los resultados obtenidos dentro de la investigación. La función de la metodología es otorgar validez y rigor científico a esos resultados a partir de los criterios adoptados y procedimientos que abordan el cumplimiento del objetivo planteado.

El modelo IEEE 29148 proporciona un tratamiento de procesos y productos que intervienen en requisitos de ingeniería del sistema tanto en hardware como software, así se cumple un proceso metodológico adecuado dentro de la investigación y solución del problema propuesto.

3.2 Análisis

El análisis establecerá los requerimientos tanto en software como hardware necesarios para todo el sistema dependiendo de la cantidad de servomotores a utilizarse en el vehículo y de la adquisición de datos de geolocalización. La investigación permitirá dar soluciones a la problemática presentada mediante el uso de una metodología propuesta como desarrollador de esta propuesta.

3.2.1 Situación actual.

Inicialmente es abarcar la información importante basada en la problemática, en este caso es la adquisición de datos por medio de GPS y la ubicación del vehículo dentro de un sector florícola o terreno en general a escala de laboratorio para realizar sus funciones ya establecidas. El sistema se va a desarrollar en un Robot Cuádruple denominado FarMi4 el cual hará la función de vehículo y se lo presenta como propuesta para el desarrollo del proyecto.

3.2.1.1 Técnicas.

La realización de este proyecto se basa netamente en investigación y se considera como una propuesta para la utilización de este sistema dentro del sector agrícola favoreciendo a la introducción de agricultura de precisión y aplicado a regadíos por ambientes demostrándolo a escala de laboratorio. Debido a que no existe ningún antecedente dentro y fuera de la institución de una investigación similar se considera proponer como punto de partida cierto hardware y software basándose en las consideraciones personales para dar la solución del problema planteado.

3.2.2 Propósito y ámbito del sistema.

Se propone desarrollar un sistema electrónico que abarque el funcionamiento del vehículo de detección de rutas inteligente mediante posicionamiento GPS orientado a regadíos por ambiente a escala de laboratorio.

El sistema electrónico permitirá el manejo de servomotores para el movimiento del vehículo (Robot Cuádruple FarMI4) y la adquisición de datos por medio del módulo GPS Neo-6M (GY-GPS6MV2). El vehículo inteligente será capaz de detectar rutas cortas mediante algoritmos basándose en la posición del vehículo y la comparación de datos censados obtenidos por otro proyecto enfocado al sector florícola. La información adquirida a partir de los datos y la debida

comparación nos permite definir rutas basadas en diferentes características del suelo y al mismo tiempo el posicionamiento permitirá dar una solución y mejorar los regadíos por ambiente.

El trabajo se limita a escala de laboratorio y será base para estudios posteriores en la misma área. La solución que se presenta es una aplicación que puede formar parte en el contexto de la agricultura de precisión.

3.2.3 Descripción general del sistema.

El sistema se denomina FarMi4 (Figura 13) debido a que el robot realiza funciones similares a las de un agricultor (Farmer) y al estar conformado por cuatro extremidades para su movilización. Generando así una marca o nombre al actual proyecto de investigación.

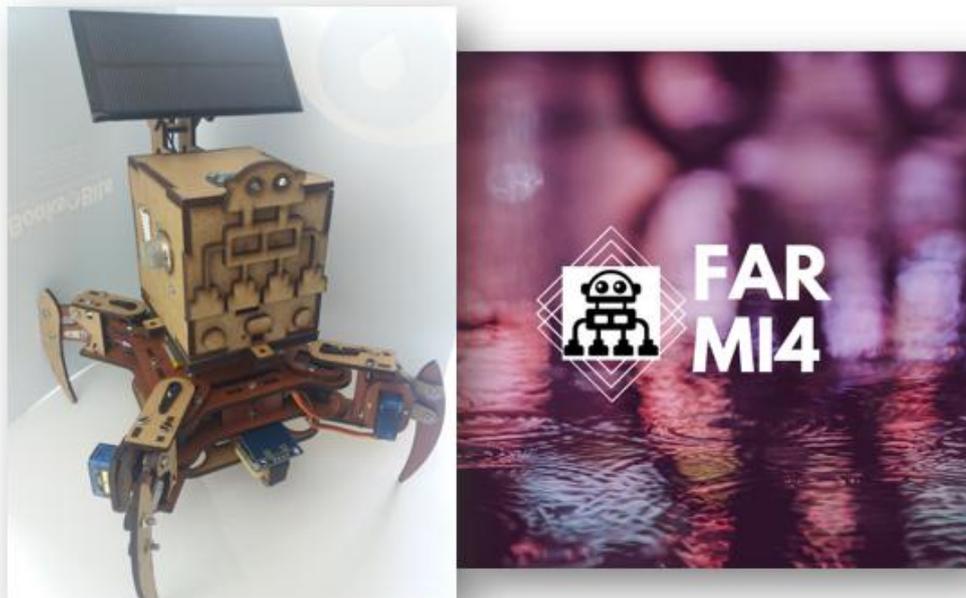


Figura 13. FarMi4
Fuente: Autoría

El sistema electrónico constará de un módulo GPS y un Shield para el manejo de servomotores con características específicas como el peso y el tamaño para no generar problemas en el movimiento del vehículo. Como se menciona, toda la electrónica se ubicará

tanto en la parte superior como inferior del vehículo FarMi4, la placa principal se encargará de adquirir los datos de posicionamiento global y realizar la comparación de datos censados referentes a las características del suelo por medio de algoritmos con los que se determinan las necesidades de riego y el vehículo puede actuar trasladándose dentro del campo de aplicación.

La información adquirida por el módulo GPS servirá para que el vehículo actúe como dispositivo inteligente eligiendo la ruta más eficiente en base a datos censados y los algoritmos diseñados dentro del microprocesador. Los datos finales servirán para dar un aporte a los sistemas de riego por ambientes.

3.2.4 Características del sistema.

El vehículo de detección de rutas inteligente mediante posicionamiento GPS es una investigación a escala de laboratorio basada en la agricultura de precisión y enfocada a regadíos por ambientes dentro del sector florícola. El proyecto genera muchas ideas para desarrollarlo por lo que se definen algunas de las restricciones y riesgos que existen o pueden llegar a existir en el funcionamiento y aplicación.

3.2.4.1 Restricciones.

- Es un sistema a escala de laboratorio, por lo que las pruebas de funcionamiento se las realizan en espacios reducidos y simulando un campo florícola.
- Adquisición de datos GPS a partir del módulo GPS Neo 6M con la placa Arduino Uno R3.
- El vehículo será un robot cuádruple denominado FarMi4, su movimiento dependerá de los datos GPS y las decisiones que tome el Arduino Uno R3 en base a datos censados en proyecto similar y los algoritmos previamente diseñados.
- Únicamente el administrador puede modificar y configurar el prototipo final.

- Existe una limitación en hardware, debe ser lo menos pesada para no provocar fallas en el movimiento del vehículo.
- Costo elevado para mayor precisión en la geolocalización.
- El sistema constará de baterías LIPO y funcionará siempre y cuando proporciones la cantidad de energía suficiente para todo el sistema.
- El vehículo deberá realizar sus movimientos dentro de un campo totalmente plano y libre de agua en el piso, es decir libre de obstáculos.

3.2.4.2 Riesgos.

- Al tener un margen de error dentro de la adquisición de datos GPS, el vehículo puede variar la toma de decisiones respecto a las rutas.
- La batería no proporcione la energía suficiente para el correcto funcionamiento de todo el sistema.
- El cableado se vea afectado con la rotación de las patas del robot y se produzca una rotura en alguno de ellos.
- El piso tenga presencia de agua acumulada y el robot no pueda trasladarse por ese sitio.
- Exceso de lluvia puede afectar al sistema electrónico e invalidar el funcionamiento.

3.3 Requerimientos

El análisis realizado anteriormente proporcionó información relevante para determinar los requisitos necesarios que cumplan con la propuesta. Para esa investigación se realizará únicamente el estudio de Requerimientos de Sistema y Requerimientos de Arquitectura.

3.3.1 Stakeholders.

A continuación, en la Tabla 2, se presenta la lista de personas que participan directa o indirectamente en el desarrollo del presente proyecto.

Tabla 2. Lista de Stakeholders presentes en el proyecto

Lista de Stakeholders
1. Ing. Paul Rosero Director de Tesis
2. Sr. Crhistian Quespaz
3. Ing. Fabian Cuzme Opositor de Tesis
4. Ing. Carlos Andrade Opositor de Tesis

Fuente: Autoría

3.3.2 Atributos de los requerimientos.

Los requerimientos se plantean en base a tres ámbitos: requerimientos de Stakeholders, requerimientos del sistema y requerimientos de arquitectura. Cada requerimiento debe ser verificable y que se pueda cumplir con condiciones medibles y restricciones definiendo el funcionamiento y rendimiento del sistema.

Basándose en (Núñez, 2014) los atributos para los requerimientos deben ser:

- Identificación: cada requisito debe ser único e identificado (nombre, número, etiquetas)
- Prioridad de Stakeholders: cada requisito identificado debe ser definido de manera escalada.
- Dependencia: se debe definir la dependencia entre los requisitos y basándose en cada dependencia se genera su prioridad con escalas.
- Riesgo: son inconvenientes causados por las personas o medios externos que posiblemente generen restricciones en los requerimientos.
- Fuente: el requisito debe incluir el autor.
- Justificación: se debe dar una explicación breve y concisa de porque cada requisito es fundamental para el desarrollo del sistema.
- Dificultad: cada requisito viene definido por su asequibilidad y costes lo cual genera que sea fácil o compleja su adquisición y utilización.

3.3.3 Nomenclatura de los requerimientos.

Cada uno de los requerimientos dentro de la investigación se presentan en la Tabla 3, la cual tiene definido una nomenclatura que permita el manejo de la información de una manera sintetizada y comprensible.

Tabla 3. Nomenclatura de los requerimientos

Nomenclatura de Requerimientos	
Requerimiento	Nomenclatura
Stakeholders	STSR
Sistema	SYSR
Arquitectura	SRSR

Fuente: Autoría

3.3.4 Requerimientos de Stakeholders.

Los requerimientos se basan en el cumplimiento de un objetivo, el cual es definir los requisitos del sistema basándose en las necesidades que tiene la solución de un problema. Por lo que se busca que el proyecto genere y cumpla con una solución tecnológica y que la investigación sea validada dentro de un entorno de aplicación. A continuación, en la Tabla 4 se evaluará requerimientos operacionales en base al sistema propuesto.

Tabla 4. Requerimientos operacionales

StSR					
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES					
N°	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACION
		Alta	Media	Baja	
StSR1	Integración y menor tamaño del sistema		X		SRSR11
StSR2	Alimentación portable	X			SRSR13

StSR3	Robots Cuadrúpedos como vehículos o sistemas móviles para la toma de datos	X			
StSR4	Autonomía del sistema	X			SySR3

Fuente: Tomado por el Autor en base a (Rovira, 2016)

Los requerimientos antes mencionados y analizados son parte de la propuesta de investigación por parte del desarrollador y Docente Tutor del proyecto en base a investigaciones realizadas por Francisco Rovira, investigador de la Universidad Politécnica de Valencia que tiene establecido como propósito aplicar ideas de la robótica, electrónica, las tecnologías de la información, y la agricultura de precisión a los vehículos agrícolas haciendo uso de tecnologías emergentes como sistemas de posicionamiento global, visión artificial, control automático para la navegación autónoma de los vehículos terrestres, y la implementación de biosensores que permitan la caracterización no invasiva de los cultivos. (Rovira, 2016) Esto brinda una idea generalizada para el diseño del prototipo y su modo de prueba como aplicación al sector agrícola. Los requerimientos considerados con mayor prioridad vendrían a ser que el sistema sea móvil y autónomo con una alimentación portable.

3.3.5 Requerimientos del sistema.

Los requerimientos del sistema se basan en las funciones a realizar el sistema y todo lo que comprende el funcionamiento de este. Para ello, se analizará requerimientos de uso, rendimiento, interfaces, estados del sistema y físicos que dependen de los requerimientos analizados en el ítem anterior. La Tabla 5 brinda la información de los requerimientos relevantes del sistema.

Tabla 5. Requerimientos del sistema

SySR					
REQUERIMIENTOS DE SISTEMA					
N°	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACION
		Alta	Media	Baja	
SySR1	Flexibilidad para que no genere problemas al funcionamiento del vehículo	X			StSR1
SySR2	Tiempo reducido en adquisición de datos		X		
SySR3	Sin saturación y rendimiento a largo plazo	X			
REQUERIMIENTO DE PERFORMANCE					
SySR4	Adquisición de datos GPS todo el tiempo	X			StRS4
REQUERIMIENTOS DE INTERFACES					
SySR5	Conectividad Satelital	X			SRS11
SySR6	Puertos I / O (4)	X			SRS12
SySR7	Pines digitales (12)	X			SRS12
REQUERIMIENTOS DE ESTADO					
SySR8	Modo Sleep (Movimiento del robot en funcionamiento y adquisición de datos desactivada)			X	
SySR9	Modo On (Adquisición de datos activada)		X		
REQUERIMIENTOS FÍSICOS					
SySR10	Tamaño reducido de la tarjeta programable		X		SRS11

Fuente: Tomado por el Autor en base a (Rovira, 2016)

Después de analizar y establecer los requerimientos necesarios para el sistema se concluye que para el funcionamiento correcto se requiere de una tarjeta programable de tamaño y peso

que no genere problemas al vehículo y con gran capacidad de procesamiento, también se incluye un sistema de adquisición de datos a tiempo completo. Los requerimientos mencionados anteriormente son resultados de un análisis enfocado en proyectos de investigación que tienen el mismo enfoque y propuestos para este tema de investigación. Los roles de los proyectos se basan en el mapeo automático, comportamientos del robot, interacción usuario-robot, vehículos no tripulados y equipados con tecnologías de sensado lo que genera requerimientos como autonomía tanto del vehículo como de la adquisición de datos y toma de decisiones, flexibilidad del mismo, adquisición de datos en tiempos reducidos sin saturación e interfaces necesarias para cada uno de los sensores a utilizarse. (Rovira, 2016)

3.3.6 Requerimientos de arquitectura.

Este tipo de requerimientos se refieren a las necesidades de componentes electrónicos para el sistema, este sistema demanda ciertas características específicas tanto en hardware como software para lo cual se toma a consideración requerimientos que se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6. Requerimientos de arquitectura

SRSH					
REQUERIMIENTOS DE ARQUITECTURA					
N°	REQUERIMIENTO	PRIORIDAD			RELACION
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS LÓGICOS					
SRSH1	Vincular microcontrolador con GPS	X			SySR5
SRSH2	Puerto Serial	X			
SRSH3	Convertor análogo / digital		X		
REQUERIMIENTO DE DISEÑO					
SRSH4	Lugar donde ubicar la placa de desarrollo	X	X		

SRSH5	Lugar donde ubicar las baterías	X			
SRSH6	Peso ligero de todos los componentes	X			
REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE					
SRSH7	Librerías para Servomotores	X			
SRSH8	Librerías para módulos	X			
SRSH9	Lenguaje de programación modificable	X			SRSH10
REQUERIMIENTOS DE HARDWARE					
SRSH10	Tarjeta programable de desarrollo	X			SRSH9
SRSH11	Microcontrolador pequeño		X		StRS1
SRSH12	Capacidad de conectar varios servomotores y otros componentes		X		SySR6 SySR7
REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS					
SRSH13	Fuente y alimentación por medio de baterías LIPO		X		StSR2

Fuente: Tomado por el autor en base a (Rovira, 2016)

Los requerimientos antes analizados se relacionan con las necesidades propuestas como investigación por los Stakeholders y demás variables que requiera todo el sistema . Según el análisis es conveniente desarrollar un sistema poco robusto ya que el vehículo no soporta mucho peso y la placa de desarrollo debería ser suficiente para cubrir las necesidades de los componentes periféricos. En relación con el software se debe verificar además de la compatibilidad de lenguaje de programación, las librerías correspondientes a módulos y demás periféricos. Ahora bien, estos requerimientos son resultados de un análisis enfocado en proyectos de investigación en los cuales existen roles que se basan en estrategias de navegación automática, gestión de datos y procesamiento mínimo de los equipos, integración de software libre, sistema de alimentación por paneles solares, tarjetas de desarrollo programables y de alto

procesamiento con opciones de conexión de varios componentes para funciones de sensado y alimentación mediante baterías recargables. (Rovira, 2016)

3.4 Recursos

Se refiere a los elementos de gran importancia y absolutamente necesarios para el vehículo de detección de rutas inteligente mediante posicionamiento GPS orientado a regadíos por ambiente, basándose en el análisis realizado previamente. A continuación, se resume los recursos humanos, económicos y tecnológicos para este tema de investigación.

3.4.1 Recursos humanos.

Comprende a las personas que forman parte directa de la investigación. Se especifica en la Tabla 7:

Tabla 7. Recursos humanos que forman parte del proyecto

RECURSOS HUMANOS	
Tutor	Ing. Paúl Rosero
Desarrollador	Sr. Crhistian Quespaz

Fuente: Autoría

3.4.2 Recursos económicos.

En la Tabla 8, se detalla el hardware utilizado en el prototipo y el costo aproximado final. La tabla de estos recursos económicos se presenta de la siguiente manera:

Tabla 8. Detalle de recursos económicos que forman parte del proyecto

RECURSOS ECONÓMICOS			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO	COSTO
		UNITARIO	TOTAL
Kit Base mePed Robot V2	1	80	80
Arduino UNO R3	1	15	15
Módulo GPS NEO 6M	1	15	15
Arduino Sensor Shield V5.0	1	10	10
MPU-6050	1	5	5
Batería	2	30	60
Set de Cables Jumper	1	10	10
TOTAL			195

Fuente: Tomado por el Autor en base a <http://easybot3d.com/>

3.4.3 Recursos tecnológicos.

Comprende el tipo de software que se va a utilizar en el desarrollo del proyecto. A continuación, se detallan los recursos utilizados:

Tabla 9. Recursos tecnológicos

RECURSOS TECNOLÓGICOS	
Software	COSTO
Ide Arduino	0
Fritzing	0
Google My Maps	0
Adobe Illustrator CC	0
TOTAL	0

Fuente: Autoría

3.5 Elección del hardware y software para el diseño

El hardware y software toman parte de una propuesta como investigación, mas no partiendo de un análisis profundo de procedimientos a seguirse respecto a su selección. El procedimiento que se toma es proponer una alternativa de componentes con características técnicas eficientes y eficaces para ser aplicados a la solución del problema.

3.5.1 Elección del hardware.

Lo que tiene que ver con el hardware únicamente se realizará la elección de la placa de microcontrolador que se refiere a la unidad de procesamiento central que cumpla con los requerimientos mencionados anteriormente. A continuación, en la Tabla 10 se presentan las características de los microcontroladores dentro del proceso de selección y en la Tabla 11 se presenta el análisis para la selección del microcontrolador.

Tabla 10. Características de los microcontroladores

Microcontrolador	Características	
Arduino Uno	Microcontrolador	ATmega328P
	Tensión de funcionamiento	5V
	Voltaje de entrada	7-12V
	Voltaje de entrada	6-20V
	Pernos digitales de E / S	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
	Pin PWM Digital I / O	6
	Clavijas de entrada analógica	6
	Corriente DC por Pin de E / S	20 mA
	Pin Corriente DC para 3.3V	50 mA
	Memoria flash	32 KB (ATmega328P)
	SRAM	2 KB (ATmega328P)
	EEPROM	1 KB (ATmega328P)
	Velocidad de reloj	16 MHz
	LED_BUILTIN	13
	Longitud	68.6 mm
	Anchura	53.4 mm
Peso	25 g	
Raspberry Pi 3	Procesador	Broadcom BCM2837, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC
	Memoria	1GB LPDDR2 SDRAM
	Puertos	GPIO 40 pines

	HDMI
	4 x USB 2.0
	CSI (cámara Raspberry Pi)
	DSI (pantalla táctil)
	Toma auriculares / vídeo compuesto
	Micro SD
	Micro USB (alimentación)
Voltaje de entrada	5V/2.5A DC
Longitud	85.60 mm
Anchura	56.5 mm
Peso	50g

Fuente: Desarrollado por el Autor en base a <https://www.xataka.com/basics/arduino-raspberry-pi-que-cuales-sus-diferencias>

Tabla 11. Evaluación para la elección del microcontrolador

MICROCONTROLADOR															
Tipo	Requerimiento													Valoración	
	StSR1	SySR1	SySR3	SySR4	SySR5	SySR6	SySR7	SySR10	SRSR1	SRSR7	SRSR8	SRSR9	SRSR10		SRSR12
Arduino Uno	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
Raspberry Pi 3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	12

Nota: Cumple: "1" No Cumple: "0"

Fuente: Autoría

De acuerdo con el análisis de diferentes microcontroladores en la Tabla 11, el electo es el microcontrolador de Arduino Uno por cumplir con el mayor puntaje de los requerimientos. Así, se considera utilizar la placa de desarrollo Arduino Uno R3 ya que se ajusta al tamaño y lugar donde va a ser ubicado dentro del Vehículo FarMi4.

3.5.2 Elección del software.

La elección del Software depende netamente de los atributos evaluados en las Tablas 4, 5, 6 correspondientes a los requerimientos de usuario, sistema y arquitectura, además debe ser el lenguaje soportado por la placa de microcontrolador seleccionada anteriormente. A

continuación, en la Tabla 12 se presenta el análisis con el que se seleccionó el lenguaje de programación.

Tabla 12. Análisis y evaluación del lenguaje de programación

LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN							
Tipo	Requerimiento						Valoración
	SySR2	SRSH2	SRSH3	SRSH7	SRSH8	SRSH9	
Intel Galileo, Arduino, AVR, PIC (C)	1	1	1	1	1	1	6
Raspberry (Phyton)	1	1	1	1	1	1	6

Nota: Cumple: "1" No Cumple: "0"

Fuente: Autoría

Los dos tipos de lenguaje de programación cumplen con los requerimientos basados en librerías de módulos y servomotores, así como también conversores análogos digitales y puertos seriales. Un atributo importante que se consideró para la elección del Lenguaje de Programación C del IDE de Arduino es que no es tan robusto y las placas de desarrollo son de menor tamaño y peso en comparación a una placa Raspberry.

3.6 Diseño del primer prototipo

Una vez realizado el análisis de requerimientos y definido los componentes a utilizarse se procede con el Diseño del prototipo. Los componentes seleccionados con su debida justificación forman parte de la investigación planteada y se basará en la Agricultura de Precisión, para lo cual el proceso de diseño es el siguiente.

Lo primero en realizar es configurar el vehículo (Robot Cuadrúpedo FarMi4) el cual será el que transporta el módulo GPS y se encarga de la adquisición de datos en diversos sectores del ambiente en el que se aplica. El robot consta de 8 Servomotores los cuales son parte

fundamental del movimiento de los cuales 4 son Micro Servo 9g SG90 TowerPro y 4 Micro Servo Motor MG90S como se observa en la Figura 14, el primer paso es armar y hacer que el robot camine y permita trasladar los demás componentes dentro del ambiente de trabajo.



Figura 14. Kit base para el robot FarMi4
Fuente: <http://www.meped.io/mepedv2>

3.6.1 Diagrama de bloques del funcionamiento el robot FarMi4.

El siguiente diagrama de bloques de la figura 15, se explica la representación gráfica del funcionamiento del robot y los ciclos o movimientos que cumple dentro del ambiente juntamente con la adquisición de datos con el módulo GPS.

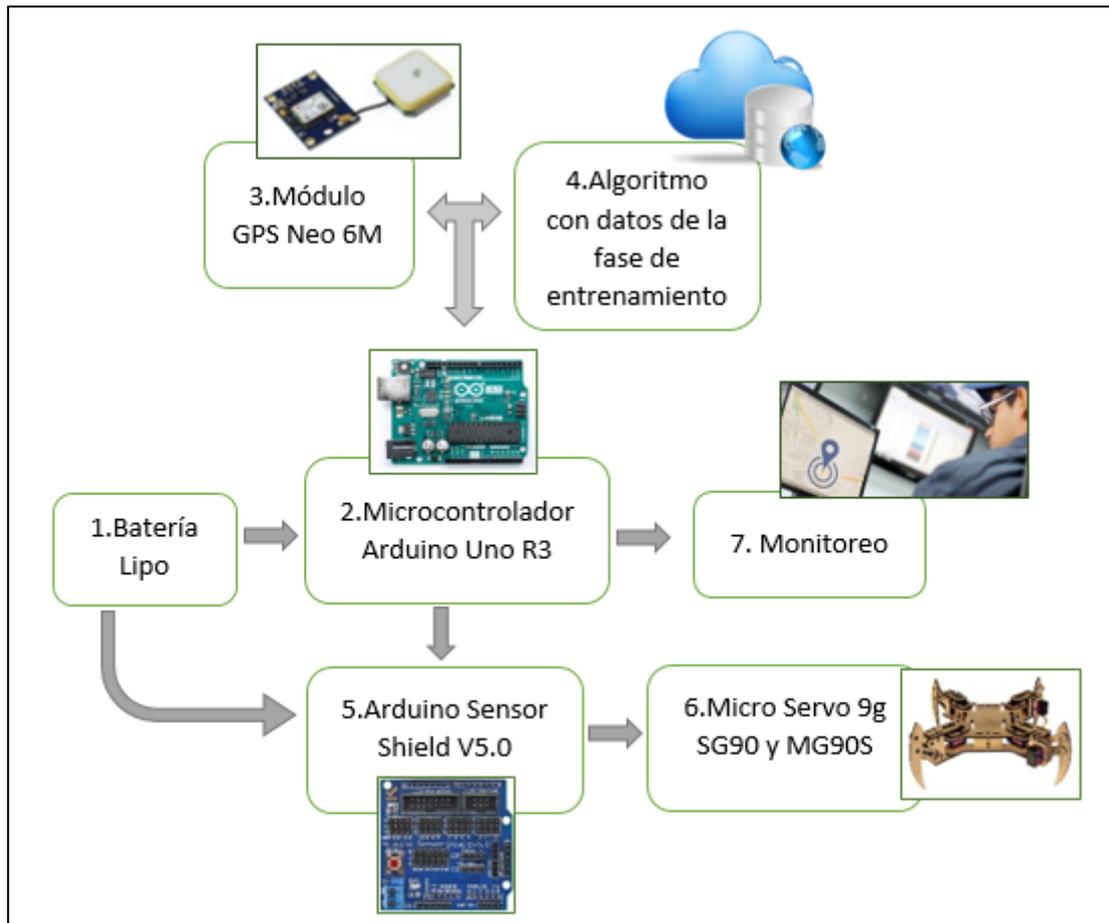


Figura 15. Diagrama de bloques del Robot FarMi4 y adquisición de datos GPS
Fuente: Autoría

El movimiento del robot y la adquisición de datos GPS está basado en 7 etapas, a continuación, se detalla brevemente cada una de ellas:

- Etapa 1: La batería Lipo alimentará de energía a todo el sistema, en la Figura 15 se puede observar que brinda alimentación directa al Arduino y Sensor Shield los cuales se encargaran de transportar energía hacia los servomotores que forman parte del robot y al módulo GPS.
- Etapa 2: La placa de desarrollo Arduino Uno R3 por medio de sus pines digitales será la encargada de enviar las ordenes por medio de la Sensor Shield hacia los servomotores, tomará datos con el módulo GPS el cual estará conectado a los pines Tx y Rx del Arduino de igual manera por medio de la Shield y realizar la comparación de datos censados para la elección de rutas cortas.

- Etapa 3: El módulo GPS enviará los datos hacia el Arduino el que se encargará de procesarlos y visualizarlos para el cliente y brindar ubicaciones exactas de datos de muestreo.
- Etapa 4: Los datos de la etapa de entrenamiento se introducirán en el algoritmo programado en el Arduino para realizar comparaciones y determinar estados del suelo al momento de censar en tiempo real el campo de aplicación.
- Etapa 5: La Arduino Sensor Shield será la encargada principalmente de transportar las ordenes de la placa Arduino hacia los servomotores y el módulo GPS. Esta placa nos da una ventaja de poder conectar ordenadamente los servomotores a los pines digitales que están conectados a los de la placa Arduino y alimentarlos para que ejerzan sus movimientos de acuerdo con la programación.
- Etapa 6: Con la programación realizada en el microcontrolador en base a el algoritmo de la ruta más corta, los servomotores tendrán secuencias de movimientos haciendo que el robot se traslade de un lugar a otro y al mismo tiempo adquiera datos de geolocalización. Además, trabajará en base a los datos censados para determinar información relevante para los sistemas de riego.
- Etapa 7: Los datos adquiridos por el GPS se los visualizará primeramente en el puerto serial de la IDE de Arduino verificando si existe diferencia entre un punto determinado y otro. Estos datos se los visualizara en latitud, longitud, velocidad, fecha, hora y número de satélites que entran en la triangulación para la localización. Para una mejor visualización se hará uso de la herramienta Google Maps.

3.6.2 Diagrama de flujo del movimiento del robot FarMi4 y adquisición de datos GPS.

Luego de realizar el diagrama de bloques se sigue con la programación que realizara las funciones de movimiento del robot y adquisición de datos GPS. Esta programación se la representa en un diagrama de flujo siendo este un diagrama que describe un proceso, sistema

o algoritmo informático. Los diagramas de flujo se usan ampliamente en numerosos campos para documentar, estudiar, planificar, mejorar y comunicar procesos que suelen ser complejos en diagramas claros y fáciles de comprender. Estos emplean rectángulos, óvalos, diamantes y otras numerosas figuras para definir el tipo de paso, junto con flechas conectoras que establecen el flujo y la secuencia.

El diagrama de la Figura 17, indica el funcionamiento del robot como es su desplazamiento y secuencias de movimientos, así como también la adquisición de datos GPS. La primera etapa consiste en declarar las variables correspondientes a todos los servomotores y módulo GPS, a continuación, se asignan los pines del Arduino a cada servomotor para continuar definiendo los ángulos en los que se va a mover cada uno de los servos, dos pines más serán parte del módulo GPS como transmisor y receptor.

Antes de continuar con los diagramas de flujo se representa gráficamente el esquema del movimiento de cómo está constituido el robot FarMi4 y sus extremidades. Para ello se ha definido nombrar a las partes que generan el movimiento como hombros (h) y patas (p) con su número respectivo como se muestra en la figura 16.

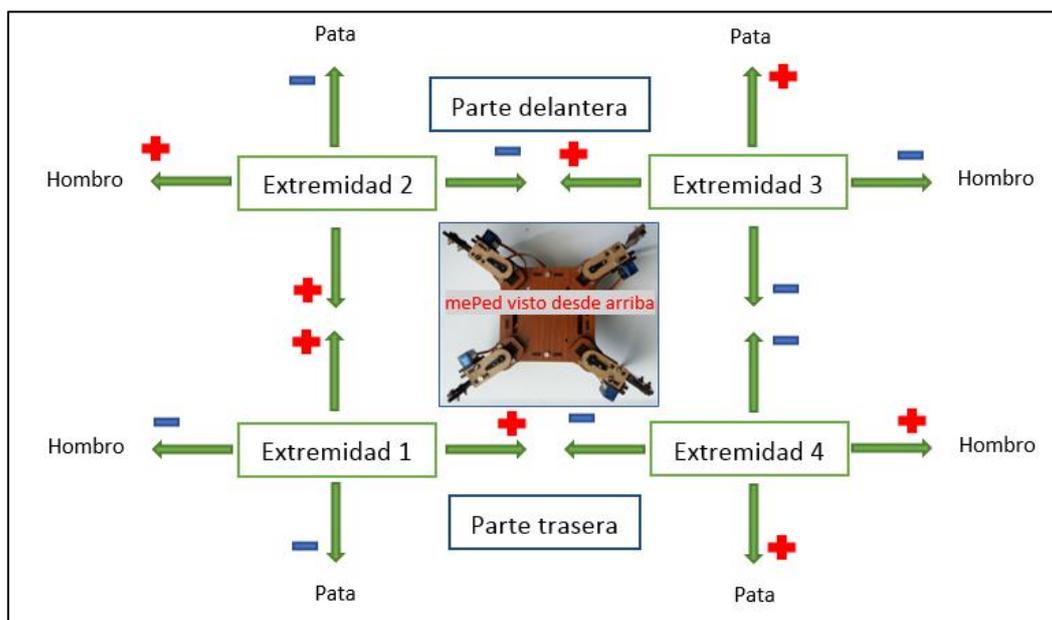


Figura 16. Esquema del movimiento de cada extremidad del robot FarMi4
Fuente: Autoría

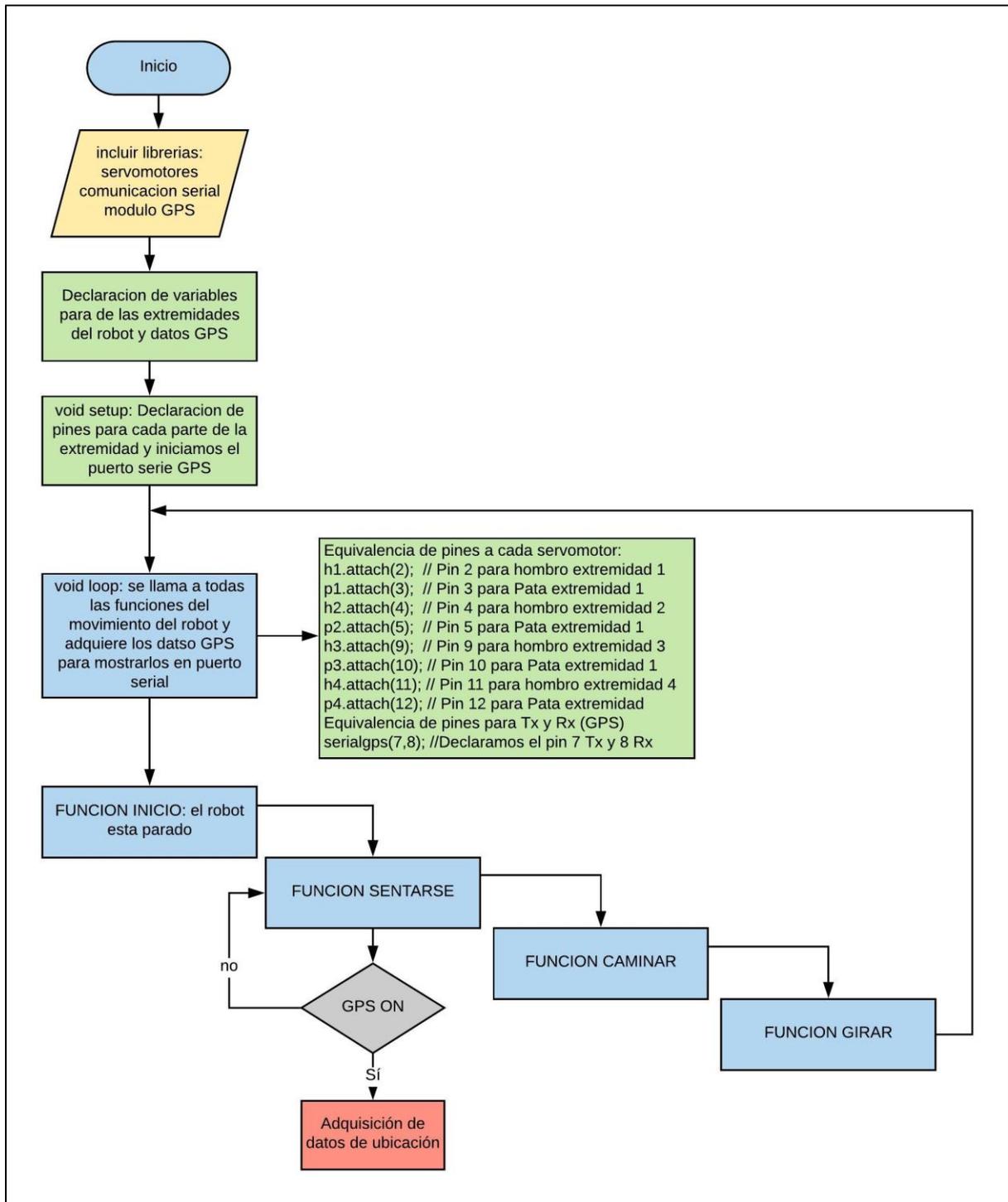


Figura 17. Diagrama de flujo del movimiento del robot y adquisición de datos GPS
 Fuente: Autoría

El programa de IDE de Arduino con el cual se ejecuta los movimientos del robot FarMi4, se presenta en el ANEXO 2.

3.6.3 Diagrama de conexión.

Los elementos utilizados para el movimiento del Robot son los servomotores correspondientes a el mismo, la placa Arduino Uno R3 y el Arduino Sensor Shield v5.0. Los componentes son analizados y una vez verificado sus especificaciones técnicas se procede a su uso y configuración.

3.6.3.1 *Arduino Uno R3.*

La tarjeta Arduino Uno R3, de la Figura 18, es la placa por utilizarse en el prototipo ya que abarca la unidad de procesamiento ideal y es compatible con Servo Shields para llevar una conexión ordenada y permitiendo el manejo de los servomotores del vehículo FarMi4 haciendo que este se traslade de un lugar a otro. Otra de las funciones es el manejo de datos con el módulo GPS Neo 6M y el sensor MPU6050 (Acelerómetro y Giroscopio) definiendo la posición del Robot y la toma de decisiones para trasladarse dependiendo de los datos adquiridos.

La tarjeta al ser de fácil manipulación y con un tamaño exacto para ser ubicado en la parte inferior del FarMi4, permitiendo que la conexión de los demás elementos que forman parte del prototipo sea sencilla y no involucre incomodidad al movimiento del Robot.

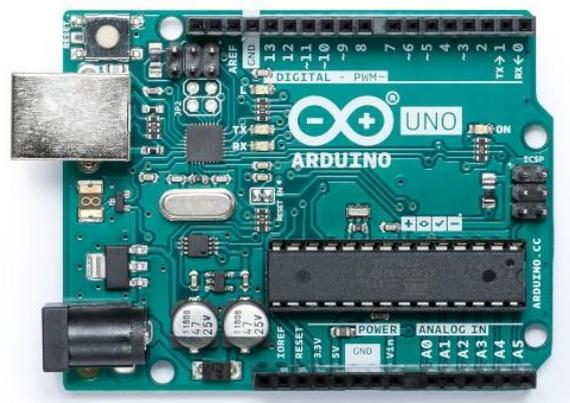


Figura 18. Arduino Uno R3
Fuente: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev>

3.6.3.2 Sensor Shield V5.0.

El Sensor Shield, Figura 19, facilita la parte de hardware de Arduino. El uso de este Shield permite conectar rápidamente sensores, servos, pulsadores, potenciómetros, módulos I2C, etc. De esta forma nos permite tener una ordenada conexión de los servomotores del robot FarMi4, así como también el módulo GPS NEO 6M.

El sensor Shield posee conectores con 3 pines: Alimentación, Tierra y Señal. Existen conectores para entradas analógicas y conectores para I/O digitales. Especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 13.

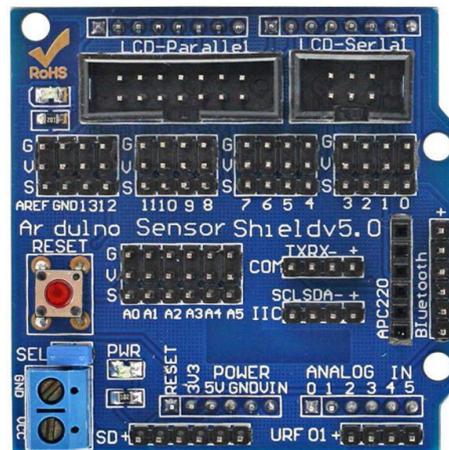


Figura 19. Arduino Sensor Shield V5.0

Fuente: <https://naylampmechatronics.com/arduino-shields/109-sensor-shield-v5.html>

Tabla 13. Especificaciones técnicas del Arduino Sensor Shield V5.0

Voltaje de operación	5V
Compatibilidad	Arduino Uno, Mega, Leonardo
Puertos I / O	14
Puertos de entrada analógica	6
Puerto	UART
	I2C
	Modulo inalámbrico APC220

	Modulo bluetooth HC06 o HC05
	Modulo SD Card
	URF01+
	LCD Paralelo
	LCD Serial
Led	Power
	L (Pin 13)
Longitud	57 mm
Anchura	57 mm
Peso	26 g

Fuente: Desarrollado por el Autor en base a <https://naylampmechatronics.com/arduino-shields/109-sensor-shield-v5.html>

3.6.3.3 Servomotores.

Los servomotores son parte del robot FarMi4 y son los principales componentes para que el robot se traslade de un lugar a otro. El robot cuadrúpedo se basa en la utilización de 8 servomotores de los cuales 4 son Micro Servo 9g SG90 TowerPro y 4 Micro Servo Motor MG90S ya que el robot está diseñado de fabrica con este tipo de servomotores.

Los Micro Servo 9g SG90 TowerPro como se observa en la Figura 20, forman parte del movimiento de las patas del robot y los Micro Servo Motor MG90S como se observa en la Figura 21, forman parte del movimiento de los hombros del robot.



Figura 20. Micro Servo 9g SG90

Fuente: http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf

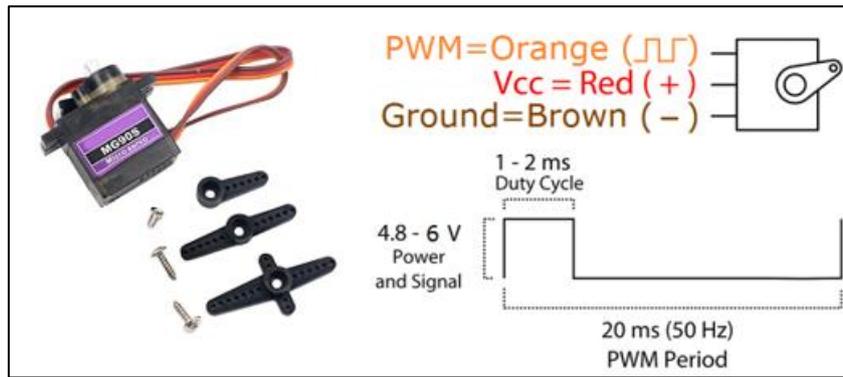


Figura 21. Micro Servo Motor MG90S

Fuente: <https://engineering.tamu.edu/media/4247823/ds-servo-mg90s.pdf>

Las especificaciones técnicas de los dos tipos de servomotores se las detalla en la Tabla 14.

Tabla 14. Especificaciones técnicas de los servomotores del robot

CARACTERISTICA	SG90 TowerPro	MG90S
Velocidad	0.10 sec/60° (4.8V)	0.10sec/60degree (4.8V)
Torque	1.8 Kg-cm (4.8V)	1.8kg/cm (4.8V);
	1.6 Kg-cm (6V)	2.2kg/cm (6.6V)
Voltaje de funcionamiento	3.0-7.2V	4.8V
Corriente de funcionamiento	0,1 -1,2A	0,1 -1,2A
Ángulo de rotación	180°	180°
Temperatura de funcionamiento	-30 °C ~ 60 °C	0°C ~ 55°C
Ancho de pulso	500-2400 μs	1us

Longitud del cable conector	24.5cm	25 cm
Dimensiones	32 x 30 x 12 mm	22.8×12.2×28.5mm
Peso	9g	13.4g

Fuente: Desarrollado por el Autor en base a <http://www.baudaelectronica.com.br/micro-servo-9g-sg90-towerpro.html> y <https://www.towerpro.com.tw/product/mg90s-3/>

3.6.3.4 Módulo GPS Neo M6.

El módulo GPS NEO-6M, Figura 22, permite conocer la geolocalización exacta donde se encuentre el robot FarMi4 y nos permite definir a partir de sus datos las rutas más cortas dependiendo del punto de referencia. Es ideal para controlarlo con Arduino y se basa en el chip receptor NEO-6M de la marca UBLOX.

Su tamaño pequeño le permite fácilmente acoplarse a la Arduino Sensor Shield V5, de igual forma incluye la antena cerámica del tamaño de una moneda lo cual no afecta al movimiento del vehículo tomando en cuenta que el peso afectaría notablemente. Especificaciones técnicas generales se detallan en la Tabla 15.



Figura 22. Módulo GPS Neo 6M

Fuente: <https://naylampmechatronics.com/sensores-posicion-inerciales-gps/106-modulo-gps.html>

Tabla 15. Especificaciones técnicas del Módulo GPS Neo 6M

Voltaje de alimentación	3-5V
Interfaz	Serial UART 5V

Frecuencia de refresco	5HZ
Puertos de entrada analógica	6
Sistemas soportados	SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGA)
Led	Indica señal
Longitud	35 mm
Anchura	25 mm
Tamaño de la antena	25mm x 25mm

Fuente: Desarrollado por el Autor en base a <https://naylampmechatronics.com/sensores-posicion-inerciales-gps/106-modulo-gps.html>

3.6.3.5 Conexión de los componentes.

Con las especificaciones técnicas de cada uno de los componentes analizados, se concluye que los servomotores necesitan de una Shield compatible con el Arduino Uno para una ideal conexión, así como también el módulo GPS. La alimentación para el sistema es mínima de 5V a 2A y con la utilización de 10 pines digitales tanto del Arduino como de la Shield. A continuación, en la Figura 23 se muestra el diagrama de conexión de los componentes al Arduino.

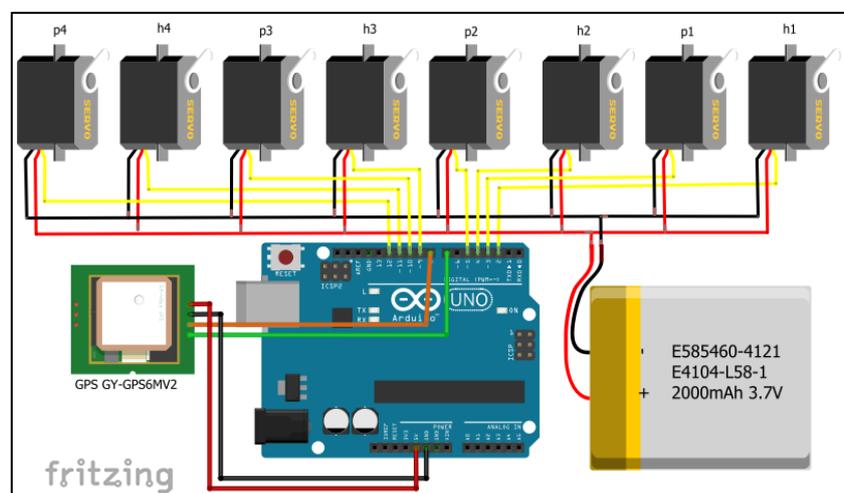


Figura 23. Diagrama de conexión de servomotores y módulo GPS
Fuente: Autoría

Nota: Los servomotores corresponden a cada una de las extremidades del robot con su respectiva nomenclatura y pin asignado. El módulo GPS tiene pines RX (Cable verde) y TX (Cable Naranja) conectados a los pines 7 y 8 respectivamente.

3.6.4 Integración y pruebas del prototipo.

Las primeras pruebas se las ejecuta después de haber realizado las etapas de programación y diseño del sistema. Los componentes que forman parte del hardware para la implementación son: Arduino Uno R3, Arduino Sensor Shield V5.0, Robot FarMi4 con sus propios componentes y el módulo GOS Neo 6M. Además, se añade la placa de sensores desarrollada en otro proyecto enfocado al mismo estudio para que el sistema realice todas las funciones en conjunto.

Las pruebas del prototipo constituyen el movimiento del robot dentro de un ambiente mediante el traslado de un punto específico a otro, la adquisición de datos GPS para la localización y la comparación de datos censados en tiempo real con los ya establecidos en la etapa de entrenamiento dentro del mismo ambiente.

El robot o vehículo FarMi4 abarca en la parte inferior todos los elementos electrónicos para su movimiento y adquisición de datos GPS. Para tener un mejor orden, conexión y alimentación de energía a los servomotores se hace uso de una Shield compatible con la placa de desarrollo Arduino Uno la cual también servirá para alimentar y conectar al módulo GPS. Los cables de los servomotores hacia la Shield se los coloca en el espacio inferior sobrante entre el Arduino y el robot para no tener problemas con el movimiento y el módulo va sujeto al robot al igual que la antena cerámica. La Figura 24, muestra el robot FarMi4 y el hardware utilizado en todo el sistema y la Figura 25 indica la ubicación final de todos los elementos en el FarMi4.

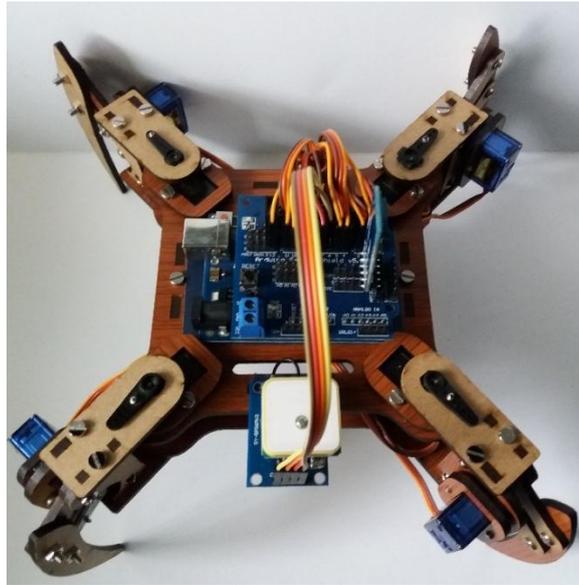


Figura 24. FarMi4 y componentes electrónicos
Fuente: Autoría

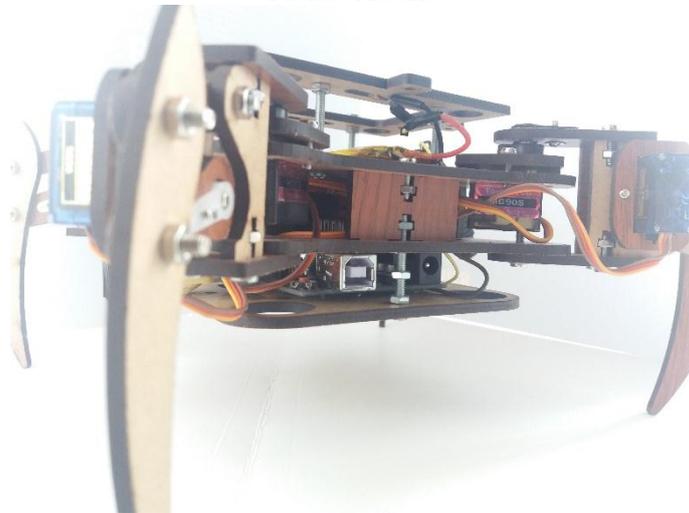


Figura 25. FarMi4 Final
Fuente: Autoría

3.6.5 Movimientos del vehículo o robot FarMi4.

El robot tiene funciones específicas a realizar cuando se esté trasladando por el ambiente de trabajo o campo de aplicación, Figura 26. A parte de la función principal que es caminar es que en el transcurso de su recorrido juntamente con el módulo GPS y la placa con el conjunto de sensores se podrá acceder a los datos de ubicación por donde se traslade y permitirá determinar sectores con necesidad de riego.

El robot tiene un punto de partida y se traslada por medio de dos guachos o divisiones entre las plantas hasta llegar al otro extremo de ese sector. En el cual retrocederá hasta llegar al punto de partida o existirán rutas que se definirán de acuerdo con la programación efectuada dentro de la placa de procesamiento para que el vehículo se movilice autónomamente dentro del espacio de aplicación.

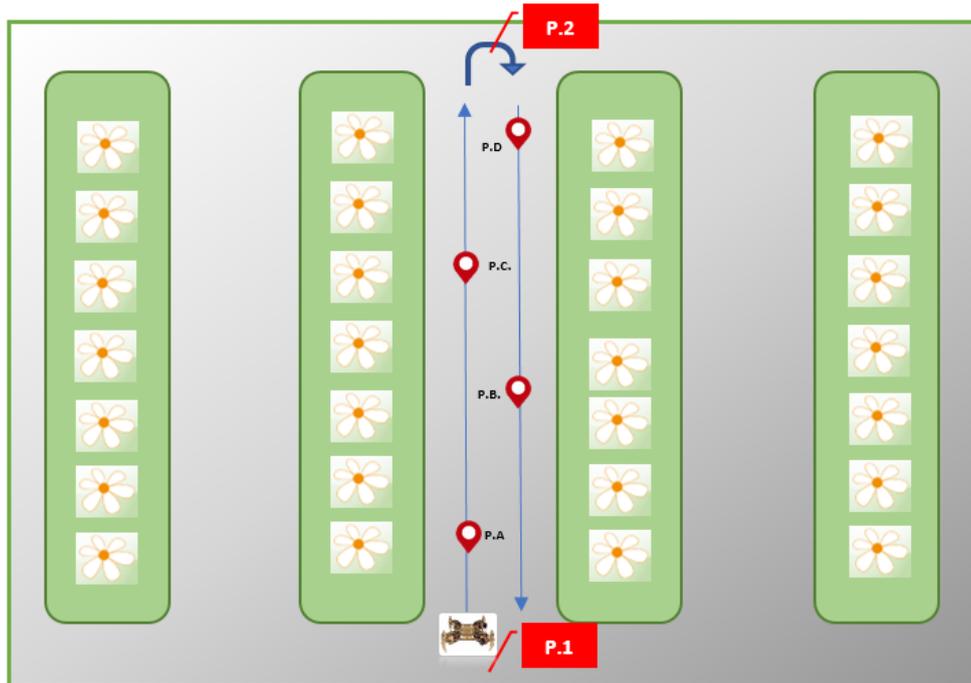


Figura 26. Funciones del robot dentro del campo de aplicación
Fuente: Autoría

3.6.6 Datos obtenidos del módulo GPS.

En el transcurso que FarMi4 se moviliza, el módulo GPS va a adquirir datos en diferentes puntos estratégicos dentro del sector aplicado. Estos datos como prueba inicial se los va a ir adquiriendo por medio del puerto serial para luego definir si existe variación en la información y si nos brinda datos que sean importantes para ser usados posteriormente. Al existir un margen de error en la triangulación de la ubicación puede ser un problema y es necesario una prueba inicial para verificar si los datos son idóneos y usarlos para su aplicabilidad y estudio.

Inicialmente los datos obtenidos por parte del módulo GPS y visualizados en el monitor serial de la IDE de Arduino se los puede verificar en la tabla 16.

Tabla 16. Datos de posición referente a la Figura 25

Posición	Datos GPS
Punto 1	Latitud/Longitud: 0.62490, -77.94091 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:6:29.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 288.54 Velocidad(kmph): 0.43 Satélites: 255
Punto A	Latitud/Longitud: 0.62488, -77.94088 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:5:41.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 0.00 Velocidad(kmph): 0.39 Satélites: 255
Punto B	Latitud/Longitud: 0.62487, -77.94087 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:5:29.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 0.00 Velocidad(kmph): 0.76 Satélites: 255
Punto C	Latitud/Longitud: 0.62484, -77.94084 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:5:59.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 0.00 Velocidad(kmph): 1.26 Satélites: 255
Punto D	Latitud/Longitud: 0.62483, -77.94083 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:6:17.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 0.00 Velocidad(kmph): 0.30 Satélites: 255
Punto 2	Latitud/Longitud: 0.62482, -77.94081 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:6:5.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 0.00 Velocidad(kmph): 1.24 Satélites: 255

Fuente: Autoría

3.6.7 Análisis del funcionamiento del primer diseño.

- Luego de realizar pruebas en el movimiento del robot y las funciones específicas dentro del sector de aplicación se considera que el robot cumple con un 80% de efectividad. Esto corresponde a que las características de piso donde se aplicó la primera prueba no son las idóneas y genera tropiezos al tener mucha tierra suelta.
- Lo que tiene que ver con la adquisición de datos GPS, al realizar los cálculos correspondientes para obtener una distancia transformado los datos de longitud y latitud obtenidos mediante el módulo GPS Neo 6M y comparando con medidas reales dentro del terreno a escala de laboratorio, se define que tiene un 70% de efectividad. En otras palabras, la distancia comprendida entre un punto y otro realmente es de 1 metro y con los cálculos de los datos en el monitor serial tenemos distancias en unidades de centímetros. Esto debido a que la geolocalización tiene un margen de error.
- El análisis de requerimientos brindó información válida con los componentes del sistema, trabajan a tiempo completo y no generan falencias. El movimiento del robot es como se esperaba y los datos GPS son adquiridos sin problema alguno. Al manejar la Sensor Shield favoreció a la conexión y orden de cableado dentro del robot. Al ser livianos, los componentes no generan problemas al movimiento del robot.

3.6.8 Observaciones del funcionamiento del primer diseño.

- Realizar las pruebas en un lugar con las características idóneas y antes mencionadas para que el robot no tenga problemas en el proceso de trasladarse de un lugar a otro.
- Asegurar los componentes electrónicos al robot para que durante la movilización no causen problemas en la adquisición de datos y el mismo movimiento.
- Ubicar la antena del módulo GPS que tengo línea directa hacia el cielo para no generar problemas en la triangulación y cálculos del módulo.

- Buscar una metodología para que los datos GPS sean adquiridos de modo remoto lo cual llevaría a un mejor tratamiento de los datos.
- Se debe verificar que la batería que alimenta a todo el sistema este en perfectas condiciones y con la energía suficiente para que realice su trabajo de manera perfecta.

3.7 Prototipo optimizado final

El diseño presentado anteriormente cumple funciones básicas como son las del recorrido del terreno y la adquisición de datos GPS. Por lo cual, para realizar la comparación de datos y definir en base a los mismo los sectores con necesidad de riego y rutas orientadas a los regadíos es necesario la utilización de una placa de sensores desarrollada en otro proyecto que se enfoca a la misma área de estudio (Reconocimiento de patrones de datos de WSN enfocados a regadíos por ambientes controlados de rosas a escala de laboratorio).

Este prototipo se complementa con la placa de sensores ya desarrollada para cumplir con los objetivos planteados. En base al funcionamiento del primer prototipo se requiere mejorar y variar las funciones de movimiento dentro del ambiente de aplicación y la ubicación de sensores en el mismo.

3.7.1 Diagrama de bloques del prototipo final.

El diagrama de funcionamiento del robot es similar al primer diseño, únicamente se difiere en la etapa número 4 con el acoplamiento de la placa de sensores. El diagrama se muestra en la figura 27.

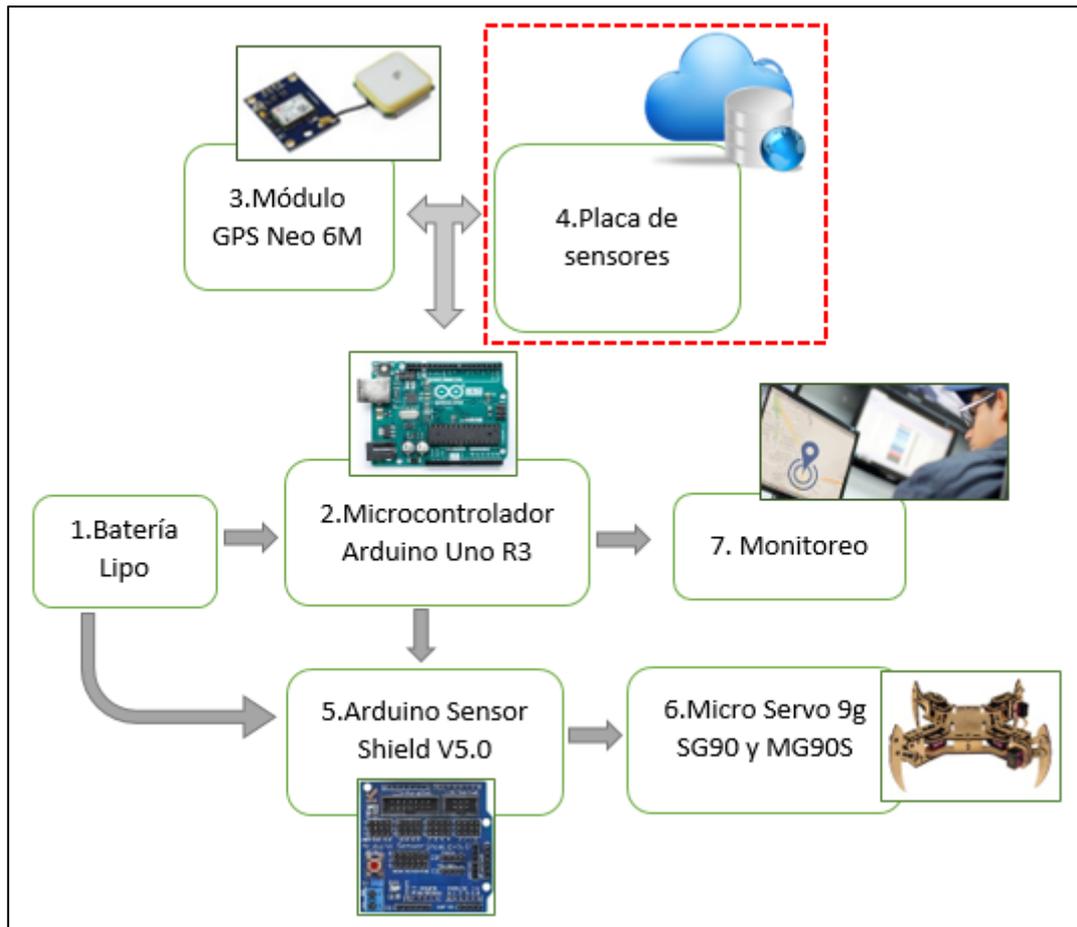


Figura 27. Diagrama de bloques del prototipo final
Fuente: Autoría

El diseño del segundo prototipo está basado en las mismas etapas, únicamente se varía la etapa número 4. Esta etapa anteriormente simulaba los datos adquiridos para entrar en comparación con los datos ya establecidos, ahora bien, se instala la placa de sensores que realizarán la adquisición de datos en tiempo real y serán comparados de la misma manera que la simulación.

3.7.2 Diagramas de flujo.

Para entender el funcionamiento completo del sistema se explica en base a los diagramas siguientes:

3.7.2.1 Diagrama de flujo de datos censados.

El diagrama que se presenta en la Figura 28, corresponde a la comparación de datos obtenidos en el censado con los datos ya establecidos en el algoritmo que permita determinar la muestra con necesidades de riego, dicho procesamiento se efectúa en la placa Arduino Uno en la “función sentarse” que ejecuta el robot. El código se puede observar en el Anexo 3.

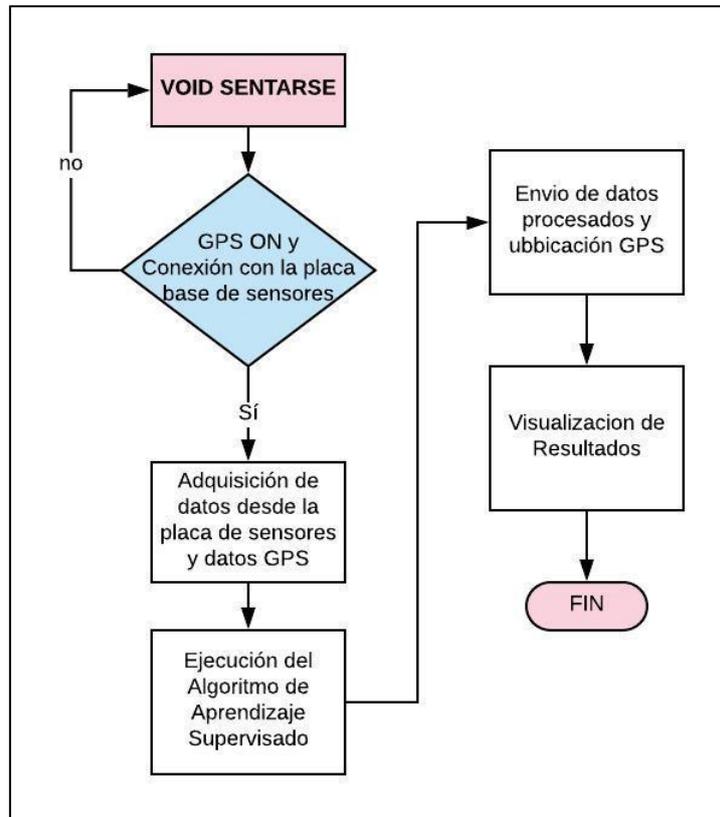


Figura 28. Diagrama de flujo de la comparación de datos censados
Fuente: Autoría

3.7.2.2 Diagrama de flujo de rutas y posición GPS.

El diagrama de la Figura 29, es una descripción de cómo funciona el algoritmo de la ruta más corta en base a los datos adquiridos por GPS y los datos censados que permitan determinar rutas inteligentes para el movimiento del robot dentro del área de aplicación. El código se puede observar en el Anexo 4.

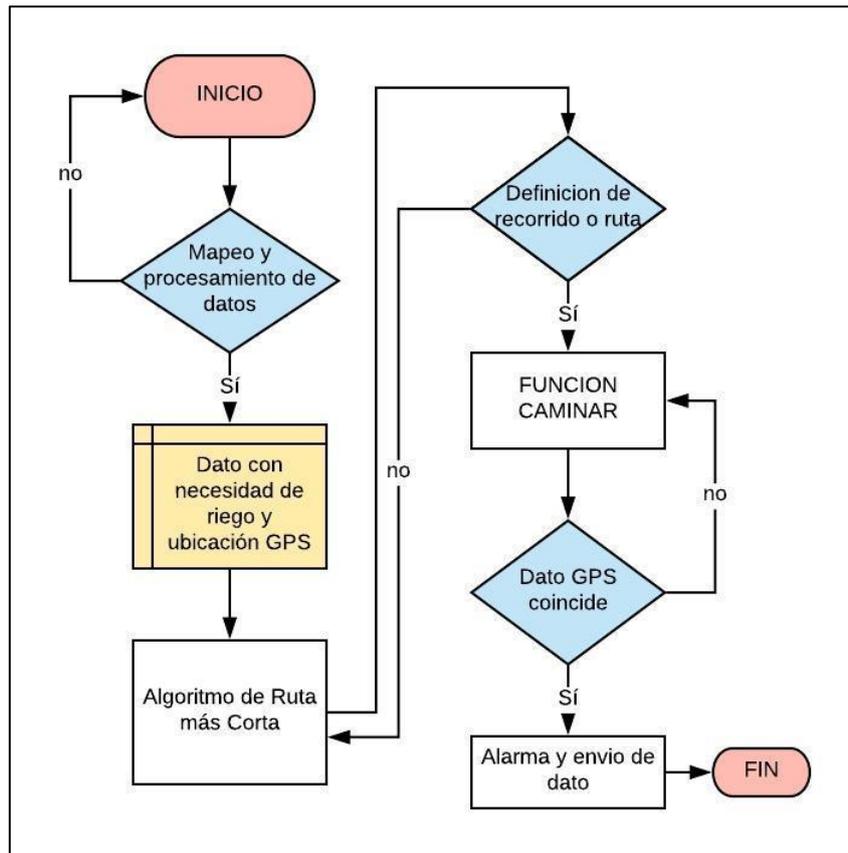


Figura 29. Diagrama de flujo del algoritmo de rutas cortas y GPS
Fuente: Autoría

3.7.3 Diagrama de conexión de la placa de sensores al robot FarMi4.

La placa de sensores fue desarrollada en otro proyecto y la cual consta con su diseño para realizar las funciones similares a las de este proyecto. El estudio se basa en el análisis de diferentes datos relacionados con los ambientes dentro del sector florícola y la valoración de los mismos para definir características de cada uno de ellos. A continuación, se detalla cuáles son los componentes de la placa de sensores:

3.7.3.1 Placa de sensores.

Para el funcionamiento completo del sistema se requiere el acoplamiento de una placa base de sensores ya desarrollada en el proyecto “Reconocimiento de patrones de datos de WSN enfocados a regadíos por ambientes controlados de rosas a escala de laboratorio”, Figura 30.

Esta permitirá adquirir los datos en tiempo real para determinar los ambientes que necesitan riego aplicando la comparación de datos mediante un algoritmo supervisado.

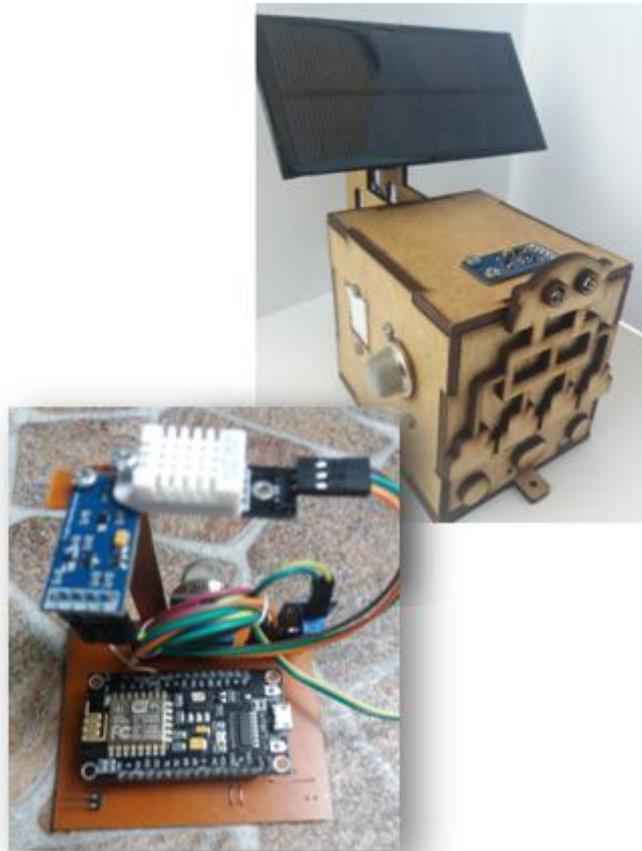


Figura 30. Placa base de sensores

Fuente: Proyecto denominado “Reconocimiento de patrones de datos de WSN enfocados a regadíos por ambientes controlados de rosas a escala de laboratorio”

El tamaño y el peso le permite acoplarse fácilmente sobre el robot FarMi4 que es el encargado de transportarla y realizar la función de adquisición de datos. En la Tabla 17, se detallan los sensores que forman parte de la placa y demás características propias de esta.

Tabla 17. Especificaciones de la placa de sensores

Voltaje de operación	5V (Panel Solar 6V)
Compatibilidad	Arduino Uno, Mega, Leonardo
Sensores	Luz (BH1750) Temperatura y humedad relativa (DTH22)

	Humedad del suelo (YL69)
	CO2 (MQ135)
Puerto	UART
	Modulo inalámbrico NODEMCU V3
Longitud	90 mm
Anchura	75 mm
Altura	80mm
Peso	50 g

Fuente: Proyecto denominado “Reconocimiento de patrones de datos de WSN enfocados a regadíos por ambientes controlados de rosas a escala de laboratorio”

3.7.3.2 Esquema de conexión.

Se diseñó las funciones del robot y algoritmos como elemento procesador al Arduino Uno y al cual es necesario acoplar la placa base de sensores para que el sistema se complemente y ejecute las funciones completamente. El esquema de conexión de la parte electrónica tanto para el funcionamiento del vehículo y adquisición de datos se muestra en la Figura 31.

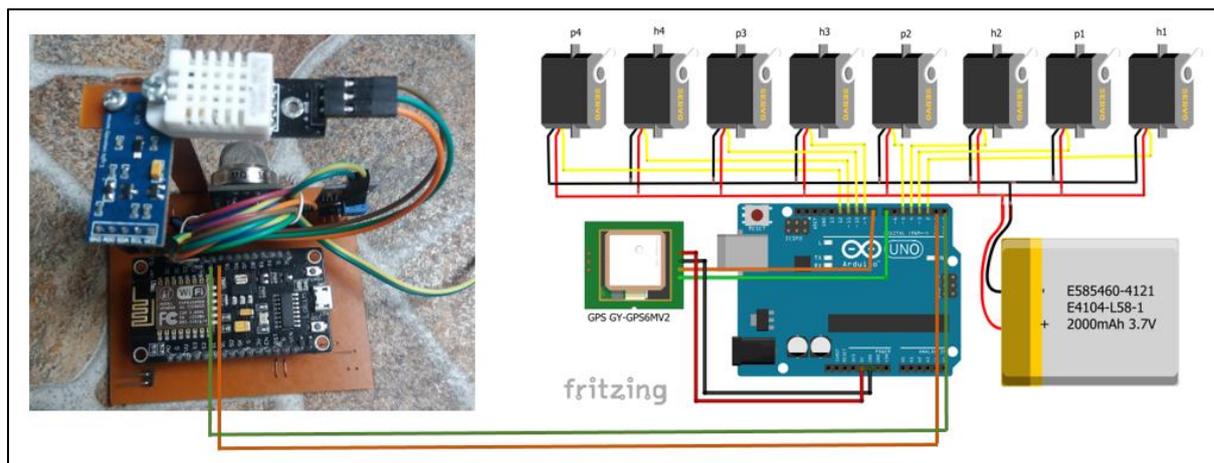


Figura 31. Esquema de conexión del sistema total

Fuente: Autoría

3.7.4 Integración del hardware del prototipo final.

La placa base de sensores es ubicada en la parte superior de la electrónica correspondiente al robot y modulo GPS como muestra la Figura 32. El sensor de humedad de suelo es el único que se ubicará en la parte trasera inferior del robot ya que necesita ser introducido en el suelo para la toma de datos, Figura 33.



Figura 32. Placa base de sensores ubicada en la parte superior del robot FarMi4
Fuente: Autoría



Figura 33. Sensor de humedad del suelo ubicado en la parte trasera e inferior del robot FarMi4
Fuente: Autoría

3.7.5 Datos obtenidos del censado.

Una vez armado el sistema final se procede a realizar la etapa de muestreo y la adquisición de los datos dentro del terreno a escala de laboratorio y automáticamente los algoritmos programados en la placa de procesamiento nos brindará la información relacionada a este proyecto y ejecutará órdenes para que el robot se mueva dentro del campo de aplicación. Es importante mencionar que la información visualizada únicamente será si el sector muestreado necesita humedad con su respectivo dato de ubicación en variables de latitud y longitud, Tabla 18.

Tabla 18. Datos de ubicación y estado de humedad de cada muestra

MUESTRA 1	PORCENTAJE DE HUMEDAD	APLICACIÓN DE RIEGO	UBICACIÓN		
			LATITUD	LONGITUD	FECHA HORA
Sub-1.1	53%	SI	0.62759	-77.93953	27/12/2018 17:5:23.0
Sub-1.2	70%	NO	0.62747	-77.93953	27/12/2018 17:10:35.0
Sub-1.3	80%	NO	0.62734	-77.93953	27/12/2018 17:15:13.0
Sub-1.4	60%	NO	0.62719	-77.93953	27/12/2018 17:20:26.0
Sub-1.5	35%	SI	0.62703	-77.93953	27/12/2018 17:25:8.0
Sub-1.6	69%	NO	0.62688	-77.93953	27/12/2018 17:30:3.0

Fuente: Autoría

Una vez que todos los datos hayan sido tratados y procesados el porcentaje de humedad establecerá si existe necesidad de riego y brindará la ubicación exacta de cada punto de muestreo. Los rangos definidos para que se establezca la acción de riego o no, son los detallados en la tabla 19.

Tabla 19. Rangos de humedad de la muestra

DETALLE	PORCENTAJE	ACCIÓN DE RIEGO
Seco	0-54 %	SI
Humedad necesaria	55-65 %	NO
Demasiado húmedo	66-100 %	NO

Fuente: Autoría

CAPÍTULO IV

PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO

Este capítulo se basa en las pruebas de funcionamiento tanto físicas, componentes electrónicos y el tratamiento que se le da a la información. Estas pruebas permitirán tener la ubicación exacta de las trayectorias del robot FarMi4 y el mapeo del terreno obteniendo como resultado del censado los sitios con necesidades de riego. La fase de prueba se la desarrolló dentro de un ambiente controlado a escala de laboratorio en la ciudad de El Ángel perteneciente al cantón Espejo para impulsar la introducción de la agricultura de precisión en los sectores agrícolas y florícolas pertenecientes al mismo.

4.1 Cronograma de pruebas

Una vez finalizada la etapa de diseño se procede a realizar varios tipos de prueba del sistema para verificar su validez y funcionamiento. Las pruebas constarán en la adquisición de datos GPS y su diferencia de distancias a los puntos estratégicos analizados y el movimiento del robot FarMi4 dentro del campo de trabajo para continuar con el mapeo del terreno y adquisición de datos de humedad del suelo para definir el estado del suelo con respecto a si existe la necesidad de aplicar riego. El objetivo de las pruebas es identificar la ubicación exacta del robot dentro de un ambiente controlado a escala de laboratorio con el dato más relevante donde se necesita riego y determinar rutas por donde se movilizó, los datos GPS servirán para definir si son válidos para identificar exactamente el lugar sin margen de error. Estas pruebas se las desarrolló comprendidas entre el mes de noviembre del 2018 a enero del 2019 en un terreno de área pequeña o ambiente controlado a escala de laboratorio. La tabla 20, nos indica cómo se fueron realizando las pruebas de todo el sistema.

Tabla 20. Cronograma de pruebas de evaluación del sistema

CRONOGRAMA DE PRUEBAS			
TIPO DE PRUEBA	LUGAR DE DESARROLLO DE PRUEBAS	RESULTADOS ESPERADOS	DURACIÓN
Prueba 1: Verificar comportamiento del Robot dentro del campo, movimientos eficientes.	Terreno de muestra a escala de laboratorio. Lugar: El Ángel – Carchi Invernadero Florícola Lugar: Tabacundo	Se espera que el robot no tenga problemas en trasladarse de un lugar a otro dentro del campo.	Después de realizar la programación 8 días del 5 al 11 de noviembre
Prueba 2: Adquisición y Evaluación de datos GPS dentro del campo	Terreno de muestra a escala de laboratorio. Lugar: El Ángel – Carchi Invernadero Florícola Lugar: Tabacundo	Se desea que los datos obtenidos por el módulo GPS están dentro del área de estudio y tengan diferencia notable de distancias para la aplicabilidad de algoritmo de ruta más corta.	Una semana, 12 al 18 de noviembre
Prueba 3. Acoplar adquisición de datos y movimiento del robot dentro del campo	Terreno de muestra a escala de laboratorio. Lugar: El Ángel – Carchi Invernadero Florícola Lugar: Tabacundo	Se espera que el acoplamiento de la placa base de sensores permita adquirir los datos y procesarlos para tener información relacionada con la humedad y así mismo el robot realice el mapeo del terreno sin dificultades.	Tres semanas, del 19 de noviembre al 10 de diciembre
Prueba 4. Adquisición de datos GPS para la visualización y elección de rutas	Terreno de muestra a escala de laboratorio. Lugar: El Ángel – Carchi Invernadero Florícola Lugar: Tabacundo	Los resultados que se quiere obtener es que el robot se traslade en base a una ruta determinada calculada por el algoritmo y los datos obtenidos de GPS sean válidos juntamente con los datos procesados después del censado.	Dos semanas, del 11 al 25 de diciembre

Fuente: Autoría

4.2 Pruebas de funcionamiento (Prueba 1)

Como objetivo a cumplir es el validar el comportamiento del robot dentro del campo de aplicación. Esto quiere decir que el robot ejerza sus movimientos de manera satisfactoria para movilizarse sin problema alguno. Este tipo de pruebas permite definir si el robot puede ejercer su función en tiempos prolongados y determinar si al trasladarse no tiene problemas de desconexión de cables, tornillos flojos o sueltos por mucha fricción y que al mismo tiempo causen que partes del robot se desprendan y complique el movimiento, duración de batería y saturación del microcontralor.

4.2.1 Pruebas físicas del movimiento del robot.

En esta prueba se verificó si el movimiento del robot dentro del campo de aplicación era el más idóneo para lo cual se analizó algunas variables y funciones que forman parte únicamente del robot como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21. Pruebas de evaluación al movimiento del robot

PRUEBA	DESEMPEÑO DEL SISTEMA
Función sentarse	Correcto en el descenso de patas traseras
Función elevarse	Correcto en la elevación de patas traseras
Función caminar	Correcto en los movimientos de las extremidades para caminar y con una mínima falencia causado por la tierra floja.
Función Girar	Correcto en los movimientos de cada extremidad para girar.
Peso de placas, modulo y batería genera problemas al caminar.	El robot soportó el peso de las placas, modulo GPS, placa de sensores y baterías de alimentación de energía. No generó problemas al caminar.

Tornillos en general del Robot.

Falencia única en tornillos de las patas, al ejercer sus movimientos hace que se aflojen y pierda estabilidad a largo trabajo. Se lo soluciona con otro modelo de tornillos.

Durabilidad de batería

La batería aporta suficiente energía para que el robot cumpla varios ciclos y permita mapear la zona completamente.

Batería utilizada: 7.4V 2000mAh

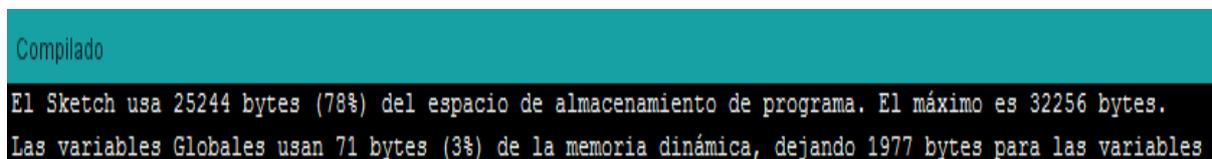
Durabilidad: 1 hora x 300m2

Fuente: Autoría

Una vez realizada las pruebas del robot se obtiene como resultado que es capaz de realizar sus funciones correctamente independientemente de alguna falencia que se pueda corregir al finalizar su ciclo de trabajo.

4.2.2 Pruebas del microcontrolador (Robot).

Esta prueba se basa en verificar como actúa el microcontrolador al ejercer las diferentes funciones programadas para que el robot se mueva. La Figura 34, nos muestra la memoria utilizada por el microcontrolador y que si satisface todo el procesamiento generado por el código del robot. Entonces, para el almacenamiento del programa usa el 78% y la memoria dinámica el 3% del porcentaje máximo total del microcontrolador.



```
Compilado
El Sketch usa 25244 bytes (78%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables Globales usan 71 bytes (3%) de la memoria dinámica, dejando 1977 bytes para las variables
```

Figura 34. Estado de compilación del Arduino con el código del Robot
Fuente: Autoría

Al estar ejerciendo el robot sus movimientos durante 30 minutos que serían más que suficientes para la toma de datos dentro del campo de aplicación a escala de laboratorio, el microcontrolador no presento problema alguno y demuestra que abastece al funcionamiento en tiempos prolongados sin paralizaciones o errores en el funcionamiento.

4.3 Adquisición y evaluación de datos GPS dentro del campo de aplicación (Prueba 2)

Esta prueba corresponde a la adquisición de datos GPS a través del módulo GPS Neo 6M y la visualización de la información en el monitor serial del IDE de Arduino. Posteriormente se evalúa si los datos son idóneos para su procesamiento y aplicación del algoritmo de rutas más cortas.

4.3.1 Verificación de datos de ubicación.

Para ello primero se enciende el módulo GPS y se espera a que un led del módulo se encienda el cual nos indica que la antena ya tiene conectividad. Posteriormente, se abre el monitor serial y obtendremos la información de localización. Para verificar que la información brinda la ubicación exacta de donde se encuentra el módulo, se ingresa a Google Maps y se introduce los valores de Latitud/Longitud: 0.62488, -77.94087.

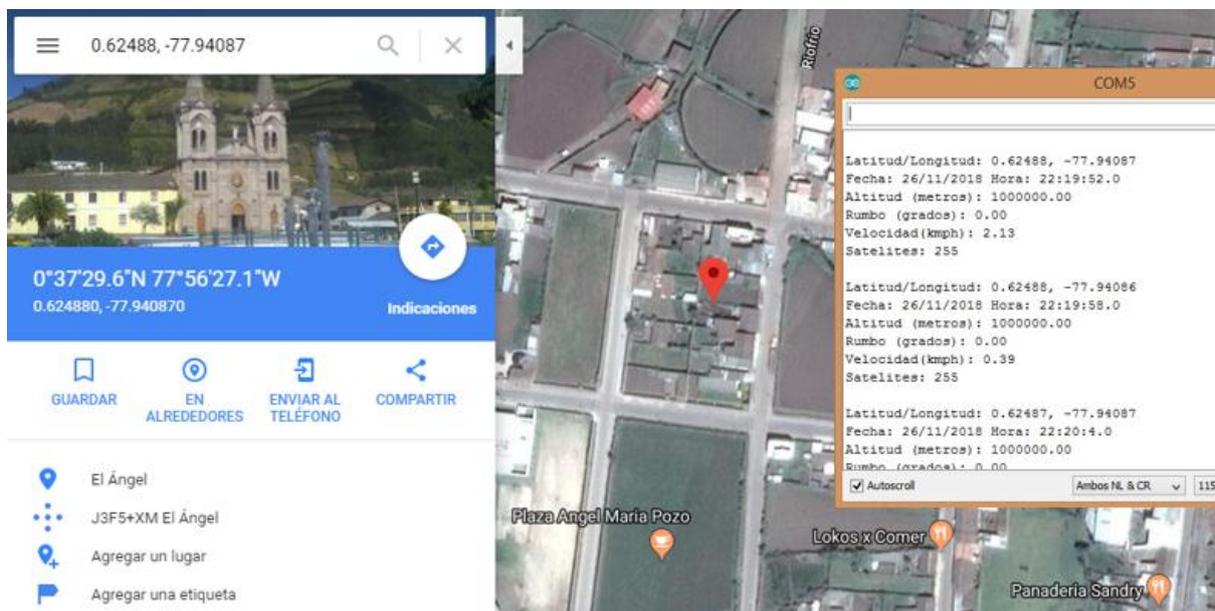


Figura 35. Verificación de ubicación del módulo GPS
Fuente: Autoría

Como se observa en la Figura 35, los datos obtenidos por el módulo GPS han sido verificados y la posición es la correcta de donde se encuentra ubicado el módulo. Una vez verificado que los datos son válidos y utilizables, se empieza a trabajar con el robot dentro del

campo de aplicación para obtener nuevos datos y realizar el mapeo de la zona estudiada. De la misma manera se realiza la prueba y verificación de datos GPS dentro de los invernaderos en florícolas ubicados en Tabacundo.

4.3.2 Evaluación de los datos GPS dentro del campo de aplicación.

Ahora bien, una vez que se hayan obtenido los datos del mapeo se calcula la distancia que separa a cada uno de los puntos de muestra para verificar si son valores válidos y utilizables. Para ello el módulo GPS va a ir ubicándose en los diferentes puntos de muestreo y adquiriendo la ubicación en latitud/longitud. Los datos obtenidos en la etapa de prueba se muestran en la Figura 36.

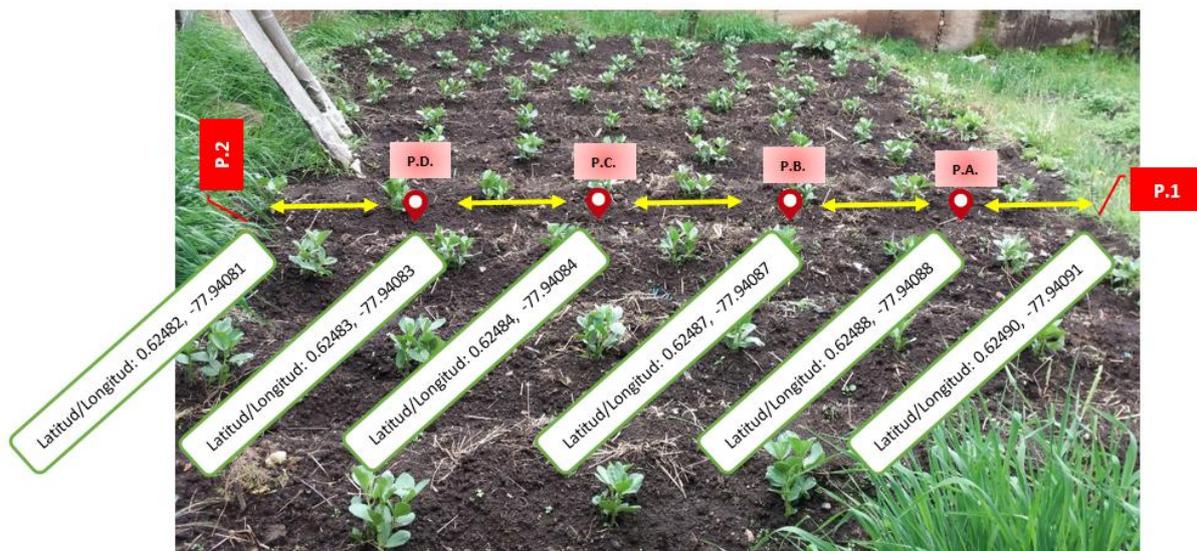


Figura 36. Datos GPS de los puntos de muestreo
Fuente: Autoría

Para el cálculo de la distancia comprendida entre un punto y otro se lo realiza con la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

Siendo: X = Valor de latitud

Y= Valor de longitud

Una vez calculado las distancias comprendidas entre los diferentes puntos se tiene:

Tabla 22. Distancia comprendida entre un punto de muestreo y otro

Puntos de Muestreo	Distancia
P.1 – P.A.	36 cm
P.A. – P.B.	24 cm
P.B. – P.C.	42 cm
P.C. – P.D.	24 cm
P.D. – P.2	22 cm

Fuente: Autoría

Una vez realizado los cálculos se verifica que esos datos son válidos y concuerdan aproximadamente con las medidas reales dentro del campo de aplicación. Los datos se consideran válidos y listos para trabajar.

4.4 Acoplamiento de la adquisición de datos con el robot dentro del campo (Prueba 3)

Una vez realizadas las pruebas de movimiento y verificación de datos GPS se procede a el acoplamiento de la placa de sensado con el microprocesador del robot de la cual se utilizará el sensor de humedad (FC-28) el que permitirá establecer parámetros necesarios o no de riego.

4.4.1 Muestreo del terreno a escala de laboratorio.

Una vez acoplado todo el sistema a uno solo para que trabaje dentro el campo de aplicación. El robot realizará el mapeo y adquisición de datos como se muestra en la Figura 37. Las distancias y recorrido que hace el robot están en base a un sembrío a escala de laboratorio.

El recorrido del robot FarMi4 se basa en el esquema de cuadrícula para la adquisición de datos. La Figura 37, muestra una representación de un área de muestreo homogénea por lo que se realiza la simulación de submuestreo y adquisición de datos GPS al mismo instante.

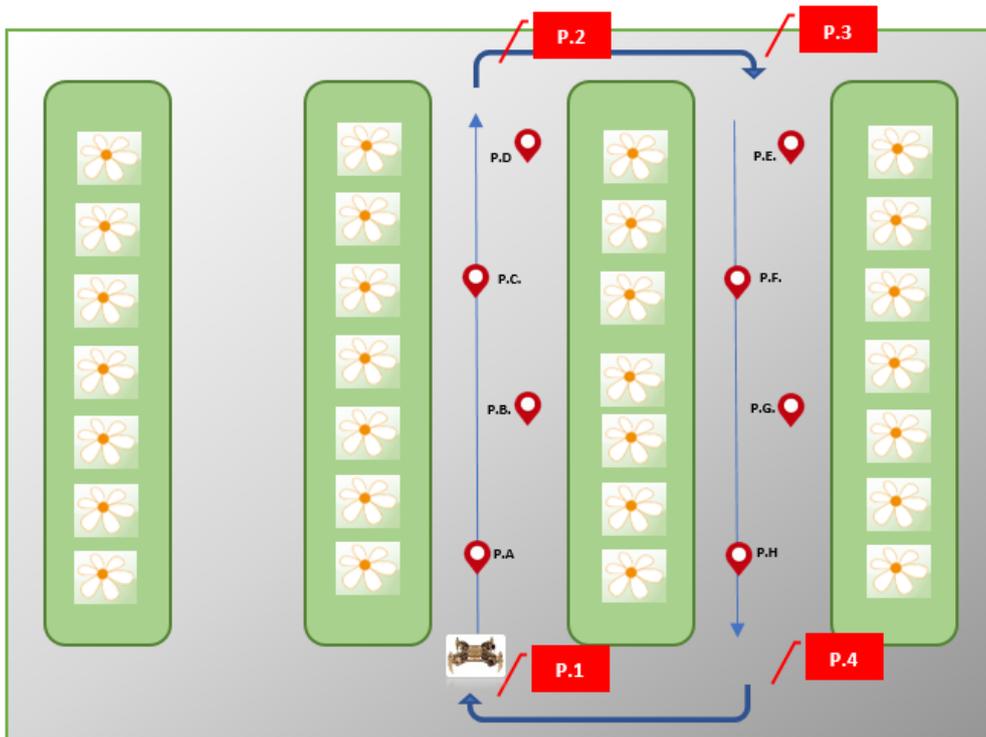


Figura 37. Funciones completas del robot dentro del campo de aplicación
Fuente: Autoría

Una vez definida la trayectoria del robot FarMi4, este realiza la simulación de adquisición de datos en la cual generará también la ubicación exacta para cada submuestra o estado del suelo. Las submuestras están definidas con las siglas A (Punto A) y cada una de ellas tendrá su dato GPS único. Los Puntos 1,2,3,4 representan en donde el robot gira para realizar su recorrido, en estos puntos el robot no simula el sensado ni adquiere datos GPS.

Tabla 23. Datos GPS de submuestras

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN GPS	DATO SENSADO
A	Latitud/Longitud: 0.62486, -77.94086 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:5:23.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 0.00 Velocidad(kmph): 0.71 Satélites: 255	Cada punto de submuestra tiene sus propias características basado en
B	Latitud/Longitud: 0.62486, -77.94088 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:5:23.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 0.00 Velocidad(kmph): 0.70	datos obtenidos por sensores de humedad del

	Satélites: 255	suelo. Para la adquisición
C	Latitud/Longitud: 0.62486, -77.94090 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:5:23.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 0.00 Velocidad(kmph): 0.67 Satélites: 255	de estos datos se trabajó otro proyecto enfocado en la misma temática complementando la
D	Latitud/Longitud: 0.62486, -77.94092 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:5:23.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 0.00 Velocidad(kmph): 1.13 Satélites: 255	funcionalidad del sistema final.
E	Latitud/Longitud: 0.62488, -77.94091 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:5:23.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 0.00 Velocidad(kmph): 1.70 Satélites: 255	
F	Latitud/Longitud: 0.62488, -77.94089 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:5:23.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 0.00 Velocidad(kmph): 1.26 Satélites: 255	
G	Latitud/Longitud: 0.62488, -77.94087 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:5:23.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 0.00 Velocidad(kmph): 0.46 Satélites: 255	
H	Latitud/Longitud: 0.62488, -77.94086 Fecha: 27/11/2018 Hora: 17:5:23.0 Altitud (metros): 1000000.00 Rumbo (grados): 0.00 Velocidad(kmph): 0.96 Satélites: 255	

Fuente: Autoría

4.4.2 Aplicación de algoritmo de aprendizaje supervisado.

Al momento del muestreo del terreno y la adquisición de datos con respecto a la humedad se realiza la prueba de funcionalidad del algoritmo de aprendizaje supervisado el cual realiza la clasificación de datos y detecta la zona con características secas las cuales necesitan de riego.

Los umbrales programados en el Arduino nos permiten detectar si la zona muestreada está seca, con humedad necesaria, o demasiada humedad, siendo información válida para aplicarla a los sistemas de riego. La Figura 38, muestra el funcionamiento del algoritmo y las predicciones que se van a obtener como salida.

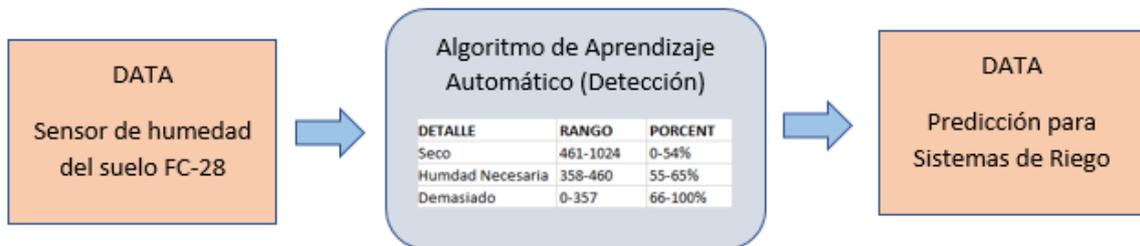


Figura 38. Funcionamiento del algoritmo en la adquisición de datos
Fuente: Autoría

4.4.3 Verificación de datos tratados en el terminal de Arduino.

Una vez ejecutado el algoritmo los datos se los puede visualizar en el terminal del Arduino IDE en valores porcentuales con los cuales se predice si existe la necesidad de riego o no.

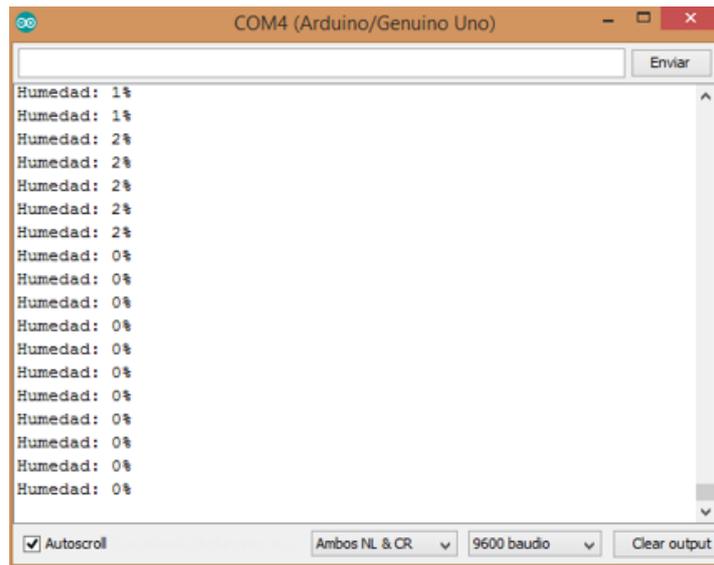


Figura 39. Datos procesados del sensor de humedad
Fuente: Autoría

Como se puede observar en la Figura 39, se adquiere los datos en valor porcentual con los cuales se puede determinar si el sector muestreado tiene necesidades de riego. Al tener el dato tratado como 2% el sitio muestreado da como resultado que el suelo está totalmente seco y necesita proporciones de agua para tener la humedad necesaria.

4.4.4 Verificación de datos tratados en la base de datos de Excel.

La verificación de datos se la puede realizar de igual manera en la base de datos en Excel la cual se basa en el Software PLX-DAQ permitiendo tener una presentación de datos ordenada.

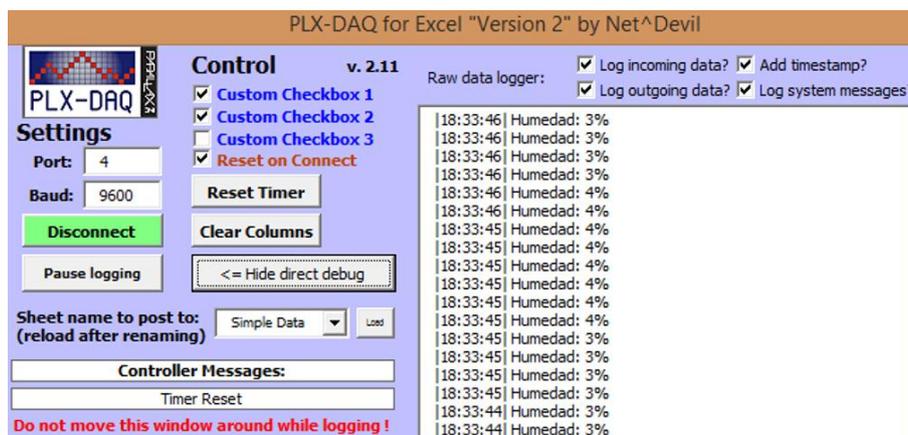


Figura 40. Datos procesados del sensor de humedad en Excel
Fuente: Autoría

Como se observa en la Figura 40, los datos procesados se los visualiza de tal manera que se puede tomar acciones y predicciones con el estado del suelo respecto a la humedad.

4.5 Visualización de mapeo, procesamiento de datos con la elección de rutas y predicciones para los sistemas de riego (Prueba 4)

4.5.1 Predicciones para los sistemas de riego.

Con la aplicación del algoritmo en los datos censados tenemos un dato de predicción para la salida y el cual va a ser visualizado en Excel. Aquí se abarcará la información con respecto al valor de humedad y la acción que se debe efectuar en la zona, así como también la ubicación exacta y la hora en la que se realizó.

MUESTRA 1	PORCENTAJE DE HUMEDAD	APLICACIÓN DE RIEGO	UBICACIÓN		
			LATITUD	LONGITUD	FECHA HORA
Sub-1.1	53%	SI	0.62759	-7.793.953	27/12/2018 17:5:23.0
Sub-1.2	70%	NO	0.62747	-7.793.953	27/12/2018 17:10:35.0
Sub-1.3	80%	NO	0.62734	-7.793.953	27/12/2018 17:15:13.0
Sub-1.4	60%	NO	0.62719	-7.793.953	27/12/2018 17:20:26.0
Sub-1.5	35%	SI	0.62703	-7.793.953	27/12/2018 17:25:8.0
Sub-1.6	69%	NO	0.62688	-7.793.953	27/12/2018 17:30:3.0

Figura 41. Información procesada
Fuente: Autoría

La Figura 41, muestra cómo se va a visualizar los datos dentro de Excel en la cual se tiene el nombre de la muestra y submuestra con su respectivo valor de humedad, la aplicación de riego, la ubicación GPS y la hora en la que se muestreo. Estos datos son relevantes para que el Agricultor actúe dentro del campo y en zonas únicamente requeridas.

4.5.2 Visualización del mapeo.

El Mapeo de los terrenos se lo va a visualizar en Google Maps ya que es una herramienta que está al alcance de todas las personas y el manejo de sí misma es sencillo. Para la visualización de los datos es necesario hacer uso de la Pagina Web “BatchGeo” la cual permitirá ingresar los datos GPS en variables de latitud y longitud y nos permitirá descargar un archivo con extensión KLM que permitirá importarlo en la aplicación de Google My Maps.

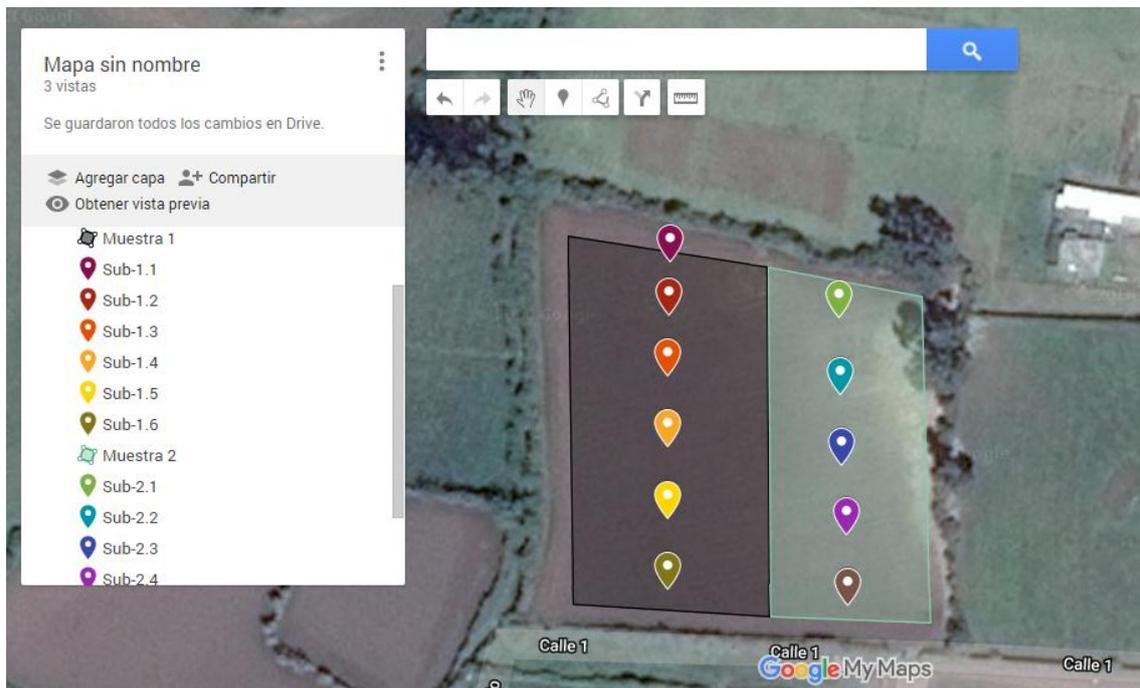


Figura 42. Zona mapeada
Fuente: Autoría

La Figura 42, representa el archivo cargado en Google My Maps con los puntos de muestreo dentro de los terrenos aplicando el esquema de toma de muestras en forma de cuadrícula. También se tiene los datos guardados del sensado y la ubicación que pueden ser visualizados dentro de esta aplicación como se muestra en la Figura 43.

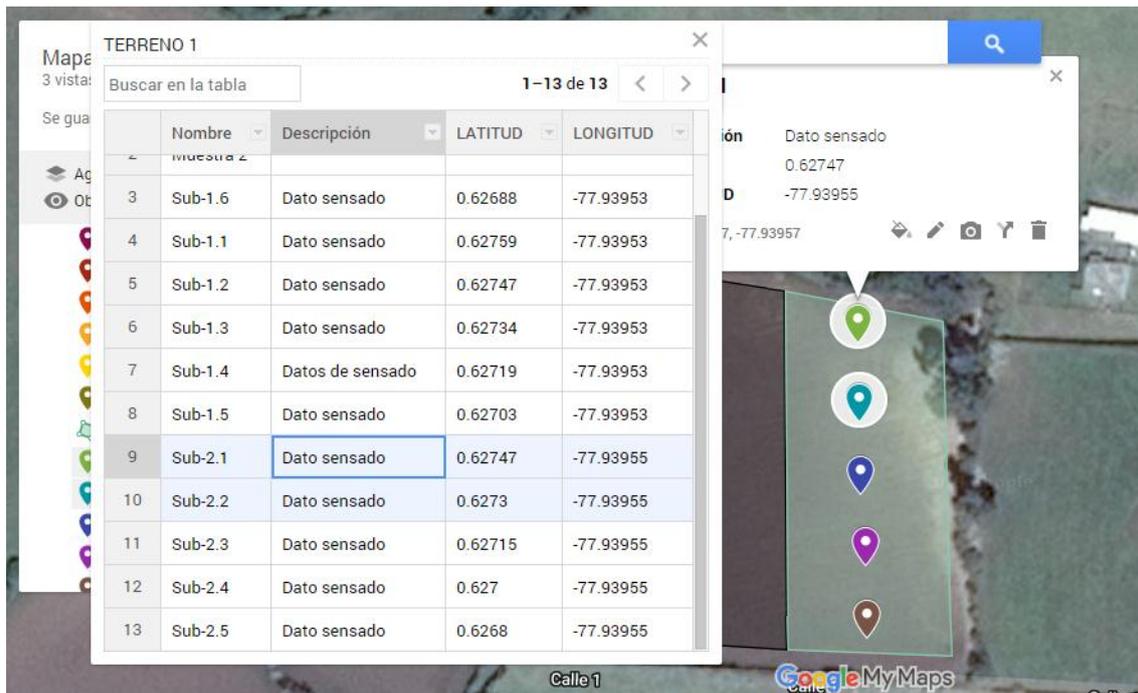


Figura 43. Información de ubicación y sensado dentro de la aplicación My Maps
Fuente: Autoría

4.5.3 Elección de rutas.

A partir del procesamiento de los datos y la determinación de sitios con necesidad de riego, el robot podrá realizar sus funciones ya definidas a partir del submuestreo dirigiéndose según las indicaciones. Si se configura para que el robot indique los lugares que necesitan humedad se dirigirá al punto donde las características determinan aquello y genera la alarma con su respectiva ubicación. En la Figura 44, se muestra como el robot trabaja después del análisis de datos del otro proyecto y la selección de rutas para sistemas de riegos o cualquier otra necesidad presentada.

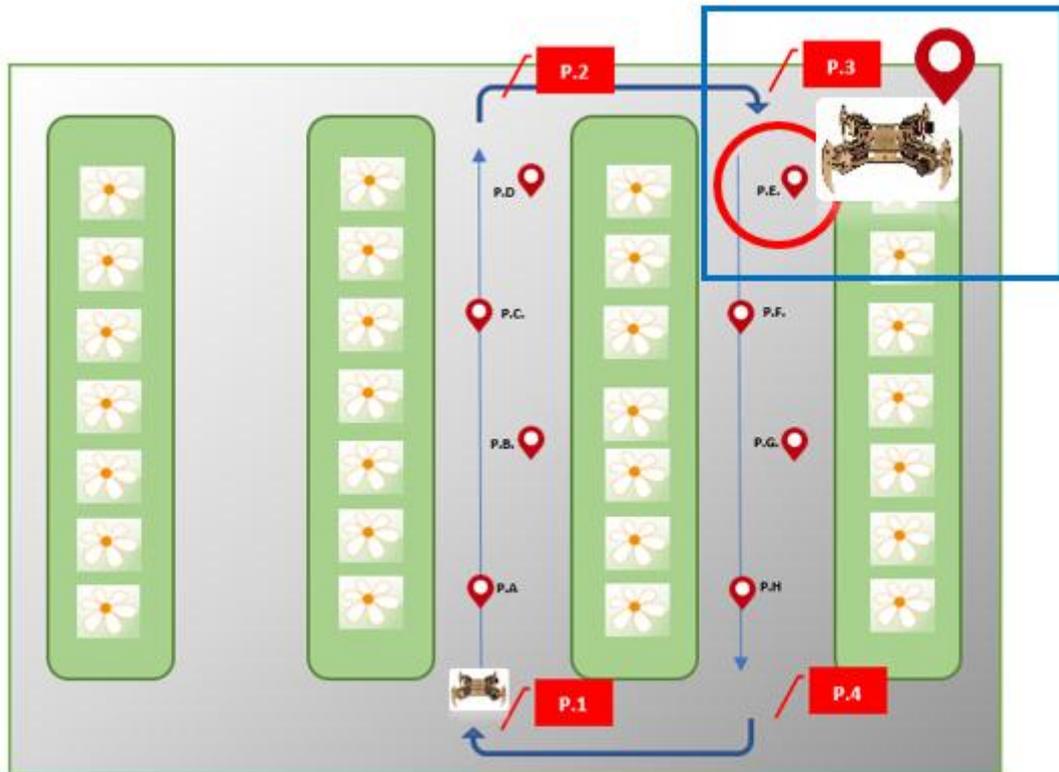


Figura 44. Definición de rutas
Fuente: Autoría

Como se detalló anteriormente, después del análisis de datos se determina como ejemplo que el punto E está muy seco y necesita de agua. Aquí es donde entra la función del algoritmo de rutas más cortas el cual realiza su trabajo eligiendo las rutas basándose en el espacio y tiempo relacionado con los datos GPS.

El algoritmo permitió que el robot decida el siguiente recorrido: partiendo de su punto inicial P.1. eligiendo la ruta más corta que es por el P.4. y pasando por los puntos P.H., P.G., Y P.F. hasta llegar al punto P.E. en donde genera la alarma y define la ubicación nuevamente para que el agricultor atienda efectivamente esa área de submuestra.

4.6 Resumen general de resultados finales de las pruebas

La Tabla 24, detalla un resumen general de los resultados obtenidos y algunas observaciones en base a las pruebas de funcionamiento del sistema desarrollado en el actual proyecto de investigación.

Tabla 24. Resumen general de resultados obtenidos en base a las pruebas de funcionamiento

RESULTADOS OBTENIDOS			
TIPO DE PRUEBA	RESULTADOS ESPERADOS	RESULTADOS OBTENIDOS	LIMITANTES
Prueba 1: Verificar comportamiento del Robot dentro del campo, movimientos del Robot dentro del campo, eficientes.	Se espera que el robot no tenga problemas en trasladarse de un lugar a otro dentro del campo.	La velocidad con la que se moviliza el vehículo le permite mapear completamente la zona de acuerdo al tiempo de duración de baterías y sin problemas en el funcionamiento.	El terreno o ambiente controlado a escala de laboratorio no debe presentar obstáculos en el recorrido del vehículo.
Prueba 2: Adquisición y Evaluación de datos GPS dentro del campo	Se desea que los datos obtenidos por el módulo GPS están dentro del área de estudio y tengan diferencia notable de distancias para la aplicabilidad de algoritmo de ruta más corta.	La verificación de la ubicación adquirida por el módulo GPS en Google Maps es exacta con el ambiente controlado. Las distancias entre una muestra y otra tienen diferencia de distancia ideal para la aplicación de algoritmos.	El módulo GPS genera un mínimo margen de error en el valor de latitud y no representa falencias para el sistema.
Prueba 3. Acoplar adquisición de datos y movimiento del robot dentro del campo	Se espera que el acoplamiento de la placa base de sensores permita adquirir los datos y procesarlos para tener información relacionada con la humedad y así mismo el robot realice el mapeo del terreno sin dificultades.	Mapeo de ambiente controlado exitoso. La placa base permite la adquisición de datos correctamente para la validación de necesidades de riego.	El sensor de humedad no se introduce por completo en el suelo, por lo tanto el umbral se lo determina de acuerdo a la medida en que se introduce el sensor y los valores que son adquiridos.

Prueba 4. Adquisición de datos GPS para la visualización y elección de rutas	Los resultados que se quiere obtener es que el robot se traslade en base a una ruta determinada calculada por el algoritmo y los datos obtenidos de GPS sean válidos juntamente con los datos procesados después del censado.	La ruta se determina en base a distancia-tiempo a partir de los datos obtenidos de ubicación y el sector con necesidad de riego. Después de mapear la zona el vehículo trabaja autónomamente en base a los datos censados y de ubicación.	Al aplicarse en terrenos con menores distancias existe la probabilidad de variación de rutas al tener el margen de error de datos GPS.
---	---	---	--

Fuente: Autoría

4.7 Análisis final del sistema

Una vez realizadas las pruebas se puede verificar que es posible la utilización de robots dentro del campo para adquisición de datos y ubicación de sectores vulnerables para permitir al encargado de la producción mejorar su actividad agrícola.

El sistema se lo aplicó dentro de un ambiente controlado el cual no tiene presencia de obstáculos y generalmente el suelo por donde se desplaza es plano. Así el robot cumple con éxito las funciones establecidas y los datos adquiridos son válidos para el estudio y aplicación a un sector con mayores recursos.

Los márgenes de error correspondientes a los datos de ubicación son mínimos (menores de 0.50 metros) si el terreno o ambiente controlado a escala de laboratorio está en exteriores y comprende una extensión mayor a 300m² y los puntos de muestreo están diferenciados entre 0.50m y 1 m de distancia. Con esto el algoritmo de selección de rutas va a efectuar sus decisiones de manera exacta y permitirá al vehículo o robot trabajar autónomamente sin errores en su movilización. Si el terreno es de menores distancias o el ambiente controlado está en un sitio interior el margen de error se va a elevar en relación de 3 metros haciendo que el sistema no cumpla con el objetivo.

Al realizar el proceso de activación del módulo GPS, adquisición de datos y apagado del mismo en un tiempo corto, existe posibilidades de que el módulo GPS genere datos inválidos. Por lo tanto, al momento de la adquisición de los datos se debe considerar un tiempo prolongado hasta que el módulo GPS realice la triangulación y genere el dato exacto de ubicación.

Con relación a la adquisición de datos por parte del sensor de humedad inicialmente presenta variaciones en los datos dependiendo de la distancia que se lo introduce en la tierra, no es el mismo valor si se introduce todo el sensor o solo una parte de él. Por ello, se requiere primero evaluar los datos obtenidos a partir de la distancia que se introduce el sensor en la tierra para luego definir umbrales y aplicar el algoritmo de decisiones con respecto a sectores con necesidad de riego.

Las rutas se establecen de acuerdo con los datos GPS y el sector con necesidad de riego por lo que es necesario de tomar las consideraciones anteriores para que el algoritmo funcione efectivamente. Al definir la ruta el comportamiento del vehículo dentro del espacio aplicado es autónomo y permite una interacción usuario-robot sencilla y eficiente.

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un vehículo de detección de rutas inteligente conformado por un robot cuádruple denominado FarMi4 que costa de un Sistema de Posicionamiento Global, los datos obtenidos por el módulo GPS y la comparación de datos censados en tiempo real con la base de datos ya desarrollada permite generar información relevante para aplicarlo en regadíos por ambiente.
- La metodología de investigación se basó en el estándar IEEE 29148 para la selección de hardware y software tomando en cuenta un análisis previo de restricciones del sistema, la situación actual y las investigaciones relacionadas al tema de investigación. Los elementos electrónicos y el software seleccionados fueron los de mayor puntaje basados en criterios de requerimientos de Stakeholders, Sistema y de Arquitectura los cuales fueron definidos en base a (Rovira, 2016).
- Al aplicar el sistema final dentro del ambiente a escala de laboratorio, tomará acciones autónomamente para movilizarse dentro del terreno. Esto lo realiza calculando las rutas con menores distancias en base a los datos GPS y al número de muestras adquiridas dentro del terreno de aplicación.
- La adquisición de datos en tiempo real se compara con la base de datos ya desarrollada en la cual se tiene definido los umbrales respectivos al terreno tratado. Los datos censados principales que entran en el análisis respectivo son basados en otro proyecto enfocado al mismo sector agrícola y con luz, humedad del suelo, humedad relativa, temperatura y CO₂. A partir de la comparación de datos dentro del algoritmo nos permite definir necesidades propias de cada submuestra adquirida, con lo que nos permitirá definir si existe la necesidad de riego. Cada punto de censado o muestreo tiene su respectiva ubicación obtenida por el módulo GPS.

- En relación con los datos sensado se realizó un estudio previo para la definición de umbrales y definir sectores con necesidades de riego. La variación de datos de un sensor al ubicarse de una u otra manera genera diferencia de valores y provocaría falsas decisiones.
- La aplicación del sistema dentro de terrenos o ambientes controlados a escala de laboratorio que corresponda a un área mayor a 300m² y en exteriores permite que el margen de error dentro de los datos GPS sea totalmente nulo y se vean reflejado en la eficiencia del sistema al seleccionar rutas y movilizarse dentro del terreno.
- El consumo de energía del sistema al mapear una zona comprendida por 300m² es de 7.4V a 2A por hora. Este consumo es realizado tanto de la parte electrónica del robot, así como también de la adquisición de datos y la ejecución de algoritmos ya programados.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para el uso del vehículo se debe verificar que las baterías de alimentación estén en perfecto estado y que las partes del robot que ejercen movimiento estén sujetas y en la posición correcta.
- Se debe verificar que el área de aplicación no tenga obstáculos y cantidades de agua que sobrepasen la altura de las extremidades del robot para que no enfrente dificultades en sus funciones y el sistema electrónico se vea afectado.
- Cuando el sistema se encuentre en funcionamiento se debe evitar tener contacto alguno ya que puede variar la movilidad del mismo y afectar a la correcta adquisición de datos.
- Se recomienda realizar el muestreo dentro del terreno con el esquema de cuadrícula ya que proporciona mejor movilidad del vehículo dentro del terreno y la precisión de los datos GPS sea elevada.
- Al definir el sitio específico con necesidad de riego se recomienda establecer un rango de acuerdo con las medidas adquiridas por el GPS para aplicar el riego y no abordar zonas que no lo requieren.
- Se recomienda seguir al pie de la letra el manual de cómo realizar la visualización de los datos de Posicionamiento Global y como definir las variables para que el archivo que se descarga no genere problemas al subirlo en Google My Maps y se visualice los datos correctamente.
- Para investigaciones posteriores se recomienda indispensable utilizar robots con materiales que no se vean afectados por la humedad. Al mismo tiempo reducir el hardware para que se vuelva liviano y el robot ejerza sus funciones con el 100 por ciento de efectividad. Utilizar sistemas de Posicionamiento GPS con alta precisión, los cuales conllevan a un costo elevado, pero con resultados totalmente confiables.

- Con respecto a los obstáculos posiblemente existentes se recomienda colocar un sistema que permita detectar y tomar decisiones para que el robot evada y siga con sus funciones sin inconvenientes.
- El sistema no se debe aplicar en climas lluviosos ya que la electrónica puede verse afectada y no permitiría realizar las funciones establecidas. En el caso de aplicar en climas de ese tipo se debe considerar que el robot debe soportar humedad y los elementos electrónicos deben estar ubicados dentro de una caja totalmente hermética.
- Los ambientes controlados a escala de laboratorio deben estar en exteriores para tener una mejor precisión en los datos de ubicación y que comprendan áreas superiores a 300m². Además, al tener extensiones con características mencionadas anteriormente y con relación a la conectividad y acceso al internet, se debe tener en cuenta la cobertura del nodo central con relación al ambiente de aplicación. De no existir la cobertura necesaria puede considerarse hacer uso de otra tecnología de comunicación para envío de los datos desde el sistema, la adquisición en el nodo central y visualización en el software propuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arroyo, M. M. (2015). La importancia del riego de precisión en la agricultura de regadío. Retrieved from <https://www.iagua.es/blogs/manuel-martin-arroyo/importancia-riego-precision-agricultura-regadio>
- Best, S., Inés, Z., & Quiroz, I. (2008). Tecnologías aplicables en agricultura de precisión. *Fundación Para La Innovación Agraria*, (Primera Edición), 33–36. Retrieved from http://wapp.corfo.cl/ticrural/descargas/I+D+I_3_TECNOLOGIAS_AGRICULTURA_PRECISION.pdf
- Bolsa de Comercio de Rosario. (2014). *Etapas de la Toma de Muestra para análisis de Suelo*. Retrieved from www.bcr.com.ar
- Bragachini, M. (2016). *Agricultura y Ganadería de Precisión*.
- Chartuni, E., & Magdalena, C. (2014). Manual de agricultura de precisión. *PROCISUR*, 12–20. Retrieved from http://www.procisur.org.uy/adjuntos/fb97915de88a_ura_de_precision.pdf
- Chartuni, E., Marcal, D., & Ruz, E. (2007). Perspectivas Agricultura de precisión Nuevas herramientas para mejorar la gestión tecnológica en la empresa agropecuaria. *COMUNICA*, (Edición N° 1), 24–30. Retrieved from <http://repiica.iica.int/docs/B0483e/B0483e.pdf>
- Contreras, A. (2016). Introducción a Machine Learning. *Sunqu*, 197–224. <https://doi.org/10.1157/13068212>
- Duch, A. (2007). *Análisis de Algoritmos*. Retrieved from <https://www.cs.upc.edu/~ Duch/home/duch/analisis.pdf>
- García, E., & Flego, F. (2015). Agricultura de Precisión. *Agricultura de Precisión*. Retrieved

from <http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>

Gómez, C., & Egas, A. (2014). *Análisis histórico del sector florícola en el Ecuador y estudio del mercado para determinar su situación actual*. Universidad San Francisco de Quito.

Retrieved from <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3323/1/110952.pdf>

Gómez, M. del C., & Cervantes, J. (2014). *Introducción al análisis y al diseño de algoritmos*.

Retrieved from http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/Notas_Analisis_AlgoritmosVF.pdf

González, L., & Urrego, G. (2008). *Modelo de requisitos para sistemas embebidos* (Vol. 13).

Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/750/75071308.pdf>

Hilera, J., & Martínez, V. (1995). Redes neuronales artificiales: fundamentos, modelos y

aplicaciones. *Madrid: Ra-Ma*, 155–6(January), 390. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2826.2005.01268.x>

Honores, J. (2016). *Desarrollo e implementación de un módulo de agricultura de precisión*

para monitoreo y control de riego, integrado al sistema IOTMACH. Retrieved from http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7783/1/TTUAIC_2016_ISIST_CDO022.pdf

Jia, J., Pan, J.-S., & Xu, H.-R. (2016). The middle of the specified node set of shortest path

algorithm. In *2016 IEEE 13th International Conference on Signal Processing (ICSP)* (pp. 1823–1826). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSP.2016.7878143>

Kaur, A., Kaur, J., & Singh, G. (2014). An efficient hybrid topology construction in Zigbee

sensor network. In *International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014)* (pp. 1–6). IEEE.

<https://doi.org/10.1109/ICRAIE.2014.6909171>

- Longares, J. (2011). Sistemas embebidos y baterías: Diseño orientado al muy bajo consumo. Retrieved from <http://www.javierlongares.com/arte-en-8-bits/sistemas-embebidos-y-baterias-diseno-orientado-al-muy-bajo-consumo/>
- López, F. B., & Ortega, A. G. (2017). *Análisis e implementación del diferencial de GPS con configuración simple y doble, para mejorar la precisión de un receptor GPS en la ciudad de Riobamba.* Retrieved from <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/7518/1/98T00159.pdf>
- López, J. (2011). *Contribución a las redes de sensores inalámbricas. Estudio e implementación de soluciones hardware para agricultura de precisión. Universidad Politécnica De Cartagena.*
- Mohammed, M., Khan, M. B., & Bashie, E. B. M. (2016). *Machine learning: Algorithms and applications. Machine Learning: Algorithms and Applications.* <https://doi.org/10.1201/9781315371658>
- Núñez, B. (2014). *Sistema electrónico con aplicación IOT para estimar el posicionamiento adecuado del estudiante universitario en una silla del aula a escala de laboratorio.*
- Procedimiento de Laboratorio para el Análisis de c.e., PH y nitratos en los suelos florícolas. (n.d.). Retrieved from <http://florescienciayalgomas.blogspot.com/2009/05/procedimiento-de-laboratorio-para-el.html>
- Rovira, F. (2016). Agricultural Robotics Lab. Retrieved from <https://robotagriculab.webs.upv.es/index.php/research>
- Salazar, B. (2016). Algoritmo de la Ruta más corta - Ingeniería Industrial. Retrieved from <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero->

industrial/investigacion-de-operaciones/algorithmo-de-la-ruta-mas-corta/

Santillán, O., & Rentería, E. (2018). Agricultura de Precisión, 2. Retrieved from www.foroconsultivo.org.mx

Schaeffer, E. (2017). *Complejidad computacional de problemas y el análisis y diseño de algoritmos*. Retrieved from <https://elisa.dyndns-web.com/teaching/aa/pdf/aa.pdf>

Serrano, A., Soria, E., & Martín, J. (2010). Redes Neuronales Artificiales. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(1), 23–42.

Thatte, G., & Mitra, U. (2006). Power Allocation in Linear and Tree WSN Topologies. *Fortieth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 1342–1346. <https://doi.org/10.1109/ACSSC.2006.354975>

UNED. (2016). *Ingeniería de los sistemas embebidos*. Retrieved from http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE5_3_1.pdf

Villarroel, D., Scaramuzza, F., Méndez, A. A., & Vélez, J. P. (2014). El posicionamiento satelital y sus sistemas de corrección, (13), 175–182. <https://doi.org/10.1007/s00709-009-0071-6>

GLOSARIO

CIERCOM: Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global.

GIS: Sistemas de Información Geográfica.

NAVSTAR: Serie de 32 satélites activos de navegación que completan el Sistema de posicionamiento global.

MEO: Orbitas circulares medias.

WSN: Red de Sensores Inalámbricos.

FarMi4: Robot cuadrúpedo como vehículo dentro del proyecto de investigación.

GY-GPS6MV2: Modulo GPS

Machine Learning: disciplina científica del ámbito de la Inteligencia Artificial que crea sistemas que aprenden automáticamente.

Interfaz C/C++: conjunto de funciones que se establecen para llamar al driver con la operación requerida.

IEEE 20148: Esta norma Internacional proporciona un tratamiento unificado de los procesos y productos que intervienen en requisitos de ingeniería en todo el ciclo de vida de sistemas y software.

Lenguaje C: es un lenguaje de programación de propósito general que ofrece economía sintáctica, control de flujo y estructuras sencillas y un buen conjunto de operadores.

Stakeholders: es aquella persona o entidad interesada en la realización de un proyecto, auspiciando ella misma mediante poder de decisión, financiamiento o su propio esfuerzo, entre

ellos: los desarrolladores del sistema, los usuarios finales, los encargados del mantenimiento, etc.

MPU6050: unidad de medición inercial o IMU (Inertial Measurement Units), combina un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes. Este sensor es muy utilizado en navegación, goniometría, estabilización, etc.

ANEXOS

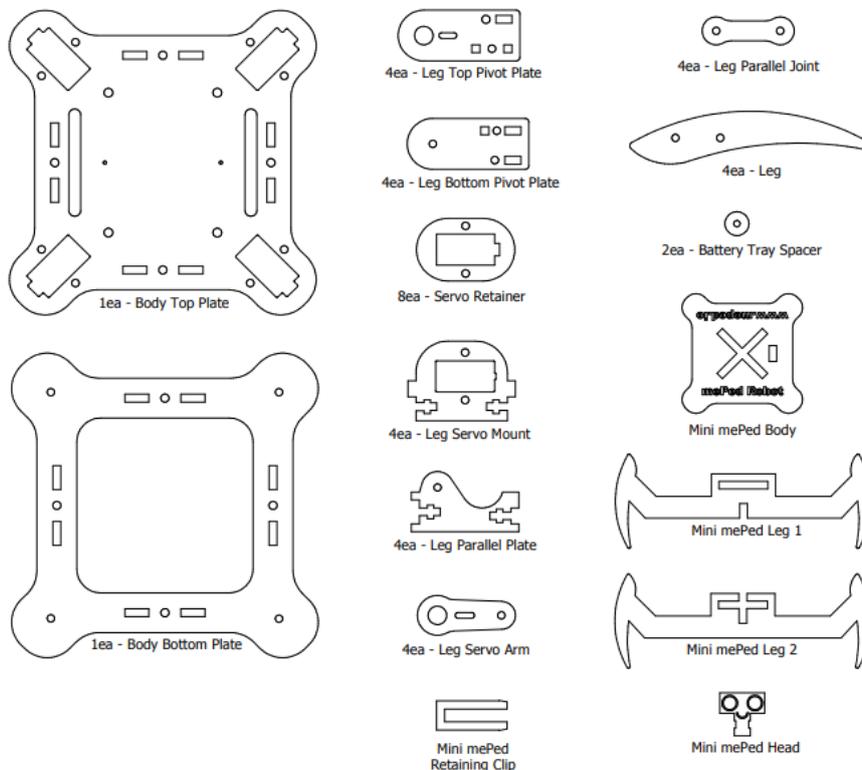
5.1 Anexo 1 (Manual de ensamblaje del robot FarMi4)

El robot FarMi4 se ensambla haciendo uso del kit base del robot cuadrúpedo mePed v2 (<http://www.meped.io/mepedv2>). Este kit, contiene las piezas de madera que conforman la estructura del robot para caminar, sujetadores, servos. Los siguientes artículos son los necesariamente básicos para ensamblar el robot.

- 8ea - Servos digitales de 9 gramos
- 40ea - Tornillos M3 x 10mm
- 16ea - Tornillos M3 x 12mm
- 24ea - tuercas hexagonales M3
- 32ea - M3 Nyloc tuercas hexagonales

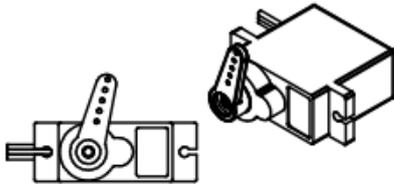


Las pizas de madera del robot son las siguientes:

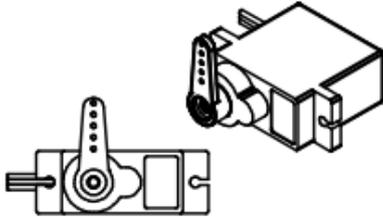


- **Ajuste de la posición central del servo**

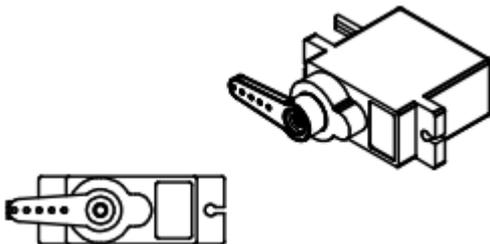
Antes de comenzar a ensamblar su nuevo robot para caminar mePed, es importante centrar los 8 servos que vienen con el kit. Los siguientes pasos ayudarán a garantizar que todos los servos giren a su posición central o de 90 °.



Conecte un Leg Servo Arm al Servo y luego gire suavemente en sentido de las agujas del reloj hasta que se detenga. Está bien si el Leg Servo Arm no se detiene en el mismo ángulo que se muestra en la ilustración de la izquierda . Lo importante es que encontremos la parada final del Servo.



Retire el Leg Servo Arm del Servo y vuelva a colocarlo para que quede perpendicular al cuerpo del servo como se muestra en esta ilustración.



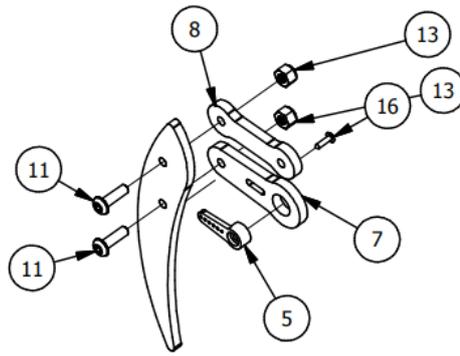
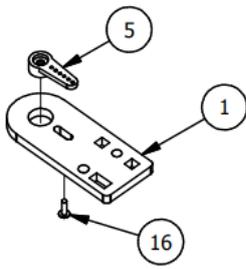
Gire suavemente el Leg Servo Arm del servo en sentido contrario a las agujas del reloj hasta que el Leg Servo Arm quede paralelo con el cuerpo del servo como se muestra.

Una vez que el Leg Servo Arm esté paralelo con el cuerpo del servo, retire el brazo de servo y déjelo a un lado para su posterior montaje.

Esta es la posición central del Servo y es importante que los 8 Servos incluidos en el kit sean centrado antes de comenzar el montaje mePed.

- **Ensamblaje de la pata o pierna**

La siguiente tabla describe las partes que son parte del ensamblaje de la pata o pierna. Después de realizar todos los pasos se debe repetir los pasos 1 y 9 cuatro veces



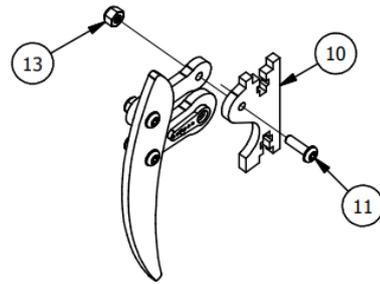
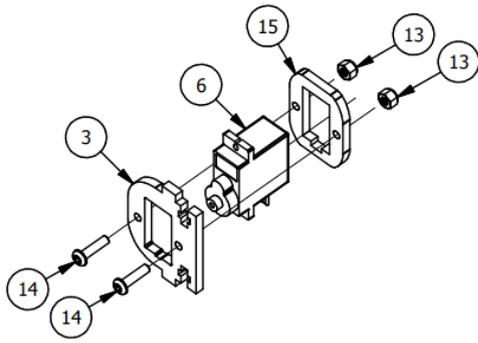
PARTS LIST	
ITEM	PART NUMBER
1	Leg Top Pivot Plate
2	Leg Bottom Pivot Plate
3	Leg Servo Mount
4	Servo Screw
5	Servo Single Arm
6	Servo
7	Leg Servo Arm
8	Leg Parallel Linkage
10	Leg Parallel Plate
11	M3 x 10mm Screw
12	M3 Plain Nut
13	M3 Nyloc Nut
14	M3 x 12mm Screw
15	Servo Retainer
16	Servo Mount Screw
17	Leg, Rev A

Paso 1: Inserte un solo brazo servo (5) en una placa de pivote superior de la pierna y enrosque un tornillo de montaje servo (16) en el Brazo servo (5) desde la parte posterior de la placa de pivote superior de la pierna (1).

Paso 2: Inserte un brazo de servo (5) en un brazo de servo de pierna (7) y enrosque un tornillo de montaje de servo (16) en el servo brazo (5) desde la parte posterior del brazo servo de pierna (7).

Paso 3: Acople una articulación paralela de pierna (8) a una pieza de pierna con un tornillo M3 x 10 mm (11) y una tuerca Nyloc M3 (13).

Paso 4: Sujete la pieza de la pierna a un brazo servo de pierna (7) utilizando un tornillo M3 x 10 mm (14) y una tuerca Nyloc M3 (13). ¡IMPORTANTE! No apriete los tornillos en exceso en los pasos 2 y 3. Las articulaciones de las patas deben moverse libremente para evitar el exceso de fricción que podría causar la falla de los servos.

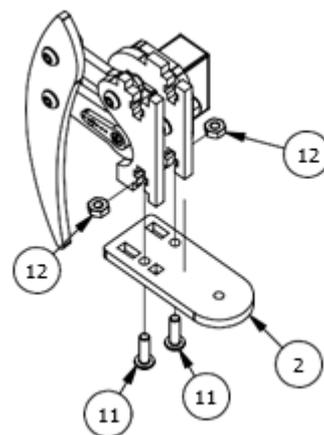
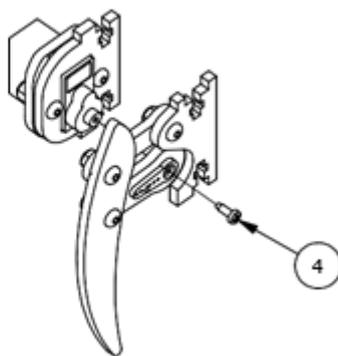
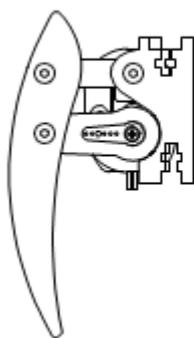


Paso 5: Inserte un Servo (6) en un Servo Retainer (15).

Paso 6: Inserte el extremo superior del servo (6) en el soporte del servo de pierna (3).

Paso 7: Sujete el Servo Retainer (15) a el soporte del servo peirna (3) utilizando dos Tornillos de M3 x 12 mm (14) y dos tuercas de Nyloc M3 (13).

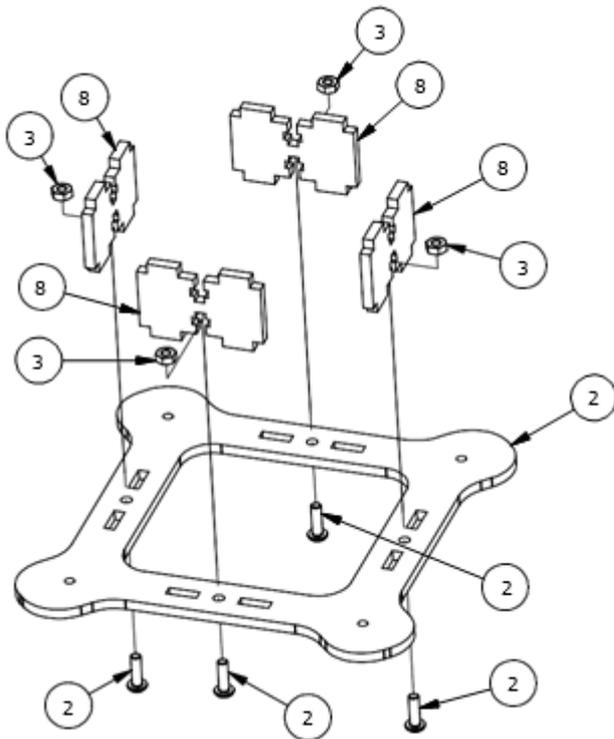
Paso 8: Coloque una placa paralela de pierna (10) en el otro extremo de la pierna enlace paralelo (8) usando un tornillo M3 x 10 mm (11) y un M3 Tuerca Nyloc (13). ¡IMPORTANTE! No apriete demasiado este tornillo. La pierna Las juntas deben moverse libremente para evitar el exceso de fricción que Podría hacer que los servos falle.



Paso 9: Con el servo girado a la posición central y la pata colocada de manera que la conexión paralela esté horizontal, coloque el brazo del servo de pierna al servo utilizando el tornillo de brazo servo suministrado con el servo.

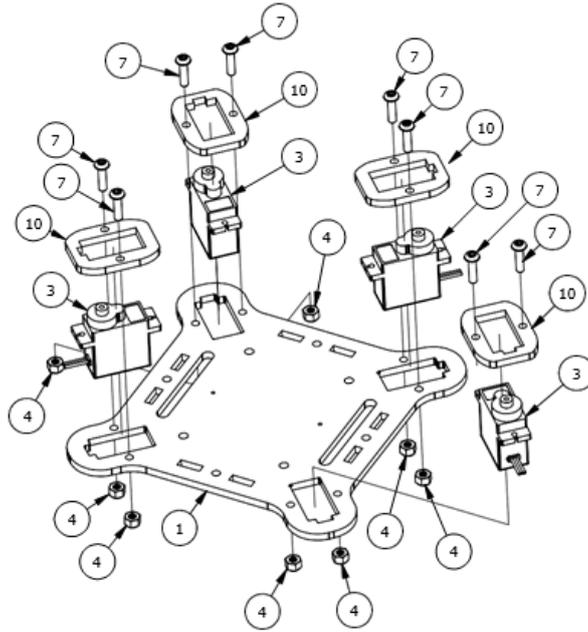
Paso 10: Sujete el ensamblaje de la pata de los pasos anteriores a una placa de pivote inferior de la pata con dos tornillos M3 x 10 mm y dos tuercas planas M3.

- **Ensamblaje del cuerpo del robot**



PARTS LIST	
ITEM	PART NUMBER
1	Body Top Plate
1	Servo Screw
3	9 Gram Servo
2	M3 x 10mm Screw
3	M3 Plain Nut
4	M3 Nyloc Nut
7	M3 x 12mm Screw
8	Body Spacer
9	Leg Servo Mount
10	Servo Retainer
20	Leg, Rev A

Paso 11: Acople cuatro espaciadores del cuerpo a la placa inferior del cuerpo con cuatro tornillos M3 x 10 mm y cuatro tuercas planas M3.

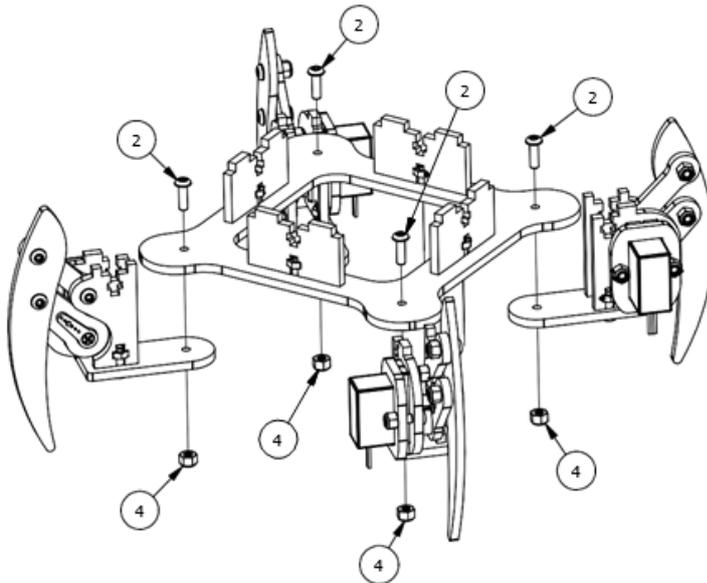


Paso 12: Inserte cuatro servos en la parte superior de la placa superior del cuerpo.

Paso 13: Deslice un Servo Retainer sobre la parte superior de cada Servo.

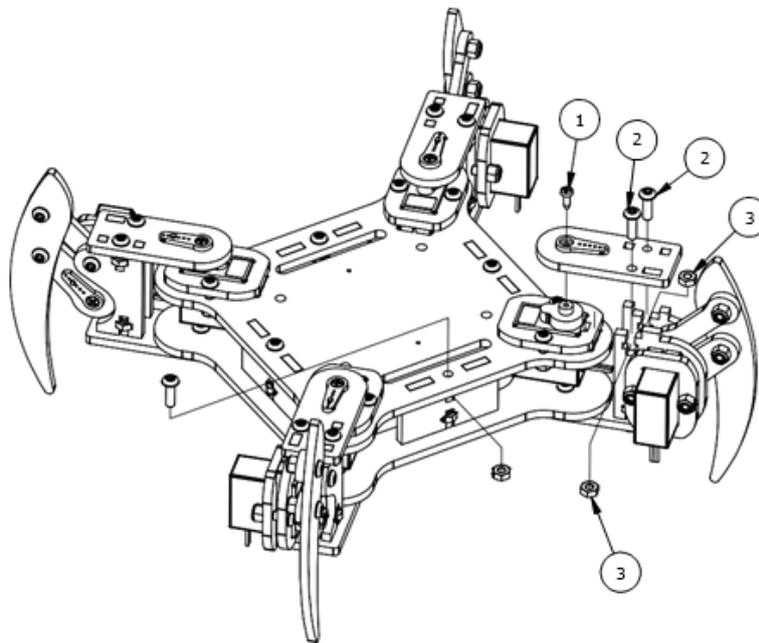
Paso 14: Conecte cada Servo Retainer a la placa superior del cuerpo utilizando tornillos M3 x 12 mm y tuercas Nyloc M3.

- **Ensamblaje final**



PARTS LIST	
ITEM	PART NUMBER
1	Servo Screw
2	M3 x 10mm Screw
3	M3 Plain Nut
4	M3 Nyloc Nut
20	Leg, Rev A

Paso 15: Acople cada ensamblaje de patas al ensamblaje de la placa inferior del cuerpo con un tornillo M3 x 10 mm y una tuerca Nyloc M3. No apriete demasiado estos tornillos. Las articulaciones de las patas deben moverse libremente para evitar un exceso de fricción que podría causar que los servos fallen.



Paso 16: Sujete el conjunto de la placa inferior del cuerpo al conjunto de la placa superior del cuerpo utilizando cuatro tornillos M3 x 10 mm y cuatro tuercas planas M3.

Paso 17: Gire cada pierna para que estén orientadas en un ángulo de 45 ° como se muestra. Conecte un conjunto de placa de pivote superior de pierna a cada conjunto de servo y pierna de pivote utilizando dos tornillos M3 x 10 mm y dos M3 nueces llanas.

Paso 18: Asegure el brazo único del servo al servo usando un tornillo servo.

5.2 Anexo 2 (Código del programa del movimiento del robot FarMi4)

```
#include <Servo.h> // Libreria Servos
// Declaramos la variable para controlar el servo
Servo h1; // Hombro extremidad 1
Servo p1; // Pata extremidad 1
Servo h2; // Hombro extremidad 2
Servo p2; // Pata extremidad 2
Servo h3; // Hombro extremidad 3
Servo p3; // Pata extremidad 3
Servo h4; // Hombro extremidad 4
Servo p4; // Pata extremidad 4

void setup() {

    // Declaramos los pines de arduino para el control de cada servo
    h1.attach(2); // Pin 2 para hombro extremidad 1
    p1.attach(3); // Pin 3 para Pata extremidad 1
    h2.attach(4); // Pin 4 para hombro extremidad 2
    p2.attach(5); // Pin 5 para Pata extremidad 1
    h3.attach(9); // Pin 9 para hombro extremidad 3
    p3.attach(10); // Pin 10 para Pata extremidad 1
    h4.attach(11); // Pin 11 para hombro extremidad 4
    p4.attach(12); // Pin 12 para Pata extremidad 1
}

void loop() {

    inicio();
    delay(5000);
    sentarse();
    delay(5000);
    caminar();
    delay(1000);
    sentarse();
    delay(5000);
    caminar();
    delay(1000);
    sentarse();
    delay(5000);
    caminar();
    delay(1000);
    sentarse();
    delay(5000);
    caminar();
    delay(1000);
}
```

```
// Funcion para parar el cuadrupedo
void inicio() {

    h1.write(90);
    h2.write(80);
    h3.write(90);
    h4.write(90);

    p1.write(125);
    p2.write(125);
    p3.write(125);
    p4.write(125);

}

// Funcion para bajar el cuadrupedo
void sentarse() {

    h1.write(90);
    h2.write(90);
    h3.write(90);
    h4.write(90);

    p1.write(45);
    p2.write(45);
    p3.write(45);
    p4.write(45);

}
```

```

// Funcion para caminar el cuadrupedo
void caminar() {

    p1.write(100);
    p3.write(100);
    delay(100);

    h1.write(50);
    h3.write(110);
    delay(100);
    p1.write(130);
    p3.write(130);
    delay(100);
    h1.write(110);
    h3.write(50);
    delay(100);

    p2.write(100);
    p4.write(100);
    delay(100);
}

```

5.3 Anexo 3 (Código de Datos Censados y Algoritmo de Aprendizaje Supervisado)

```

#define sensor A0

void setup(){
    pinMode(sensor, INPUT);
    Serial.begin(9600);

    Serial.println("humedad");
}

void loop(){

    //Se hace la lectura analoga del pin A0 (sensor) y se pasa por la funcion
    //map() para ajustar los valores leidos a los porcentajes que queremos utilizar
    int valorHumedad = map(analogRead(sensor), 0, 1023, 100, 0);

    Serial.print("Humedad: ");
    Serial.print(valorHumedad);
    Serial.println("%");

    delay(100);
}

```

5.4 Anexo 4 (Código del programa de adquisición de datos GPS y elección de rutas)

```
#include <SoftwareSerial.h>//incluimos SoftwareSerial
#include <TinyGPS.h>//incluimos TinyGPS

TinyGPS gps;//Declaramos el objeto gps
SoftwareSerial serialgps(4,3);//Declaramos el pin 4 Tx y 3 Rx
//Declaramos la variables para la obtención de datos
int year;
byte month, day, hour, minute, second, hundredths;
unsigned long chars;
unsigned short sentences, failed_checksum;

void setup()
{

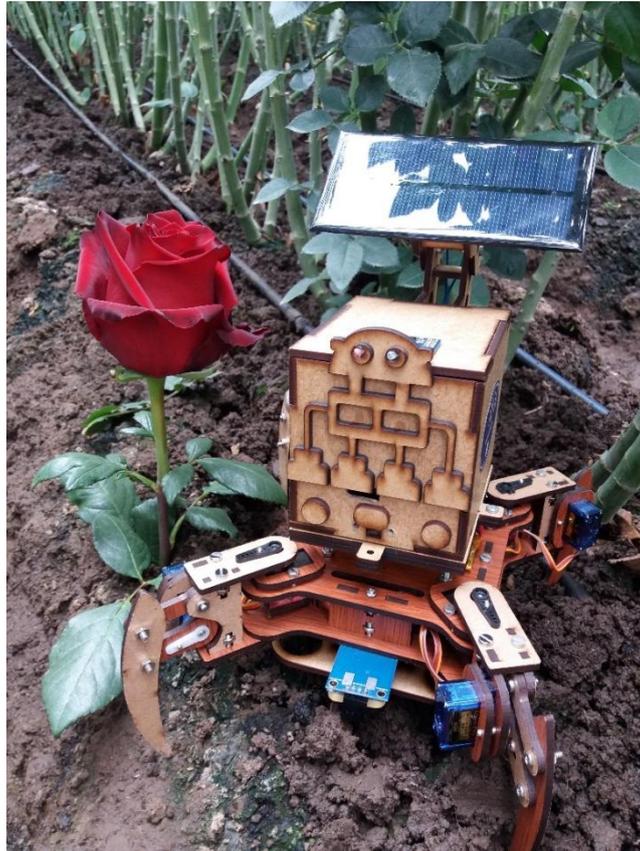
Serial.begin(115200);//Iniciamos el puerto serie
serialgps.begin(9600);//Iniciamos el puerto serie del gps
//Imprimimos:
Serial.println("");
Serial.println("mePed GPS");
Serial.println(" ---Buscando senal--- ");
Serial.println("");
}
```

```

void loop()
{
while(serialgps.available())
{
int c = serialgps.read();
if(gps.encode(c))
{
float latitude, longitude;
gps.f_get_position(&latitude, &longitude);
Serial.print("Latitud/Longitud: ");
Serial.print(latitude,5);
Serial.print(", ");
Serial.println(longitude,5);
gps.crack_datetime(&year, &month, &day, &hour, &minute, &second, &hundredths);
Serial.print("Fecha: "); Serial.print(day, DEC); Serial.print("/");
Serial.print(month, DEC); Serial.print("/"); Serial.print(year);
Serial.print(" Hora: "); Serial.print(hour, DEC); Serial.print(":");
Serial.print(minute, DEC); Serial.print(":"); Serial.print(second, DEC);
Serial.print("."); Serial.println(hundredths, DEC);
Serial.print("Altitud (metros): "); Serial.println(gps.f_altitude());
Serial.print("Rumbo (grados): "); Serial.println(gps.f_course());
Serial.print("Velocidad(kmph): "); Serial.println(gps.f_speed_kmph());
Serial.print("Satelites: "); Serial.println(gps.satellites());
Serial.println();
gps.stats(&chars, &sentences, &failed_checksum);
}
}
}

```

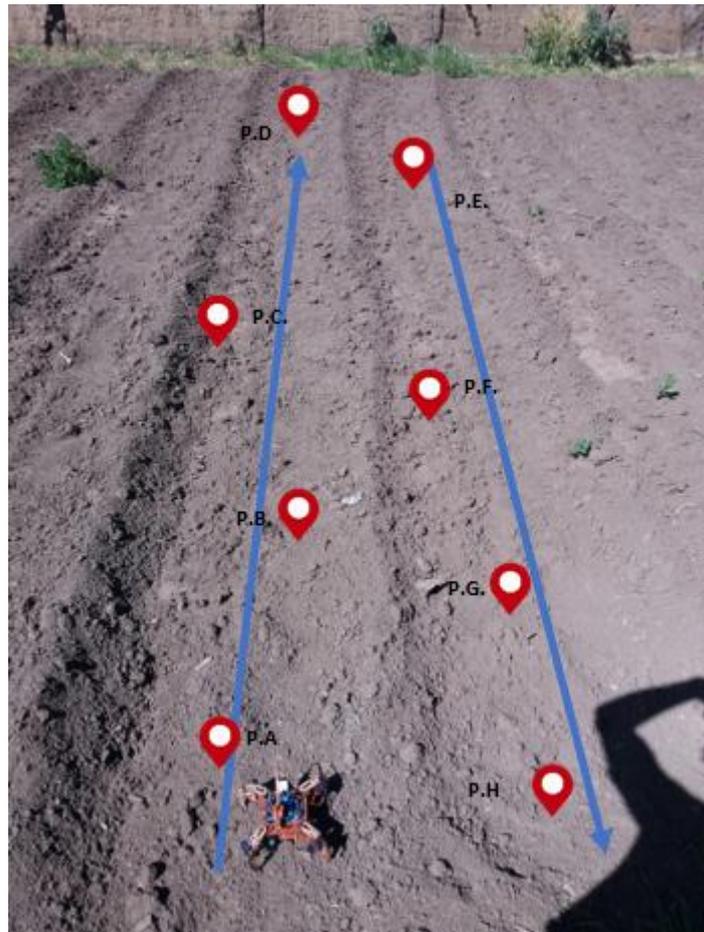
5.5 Anexo 5 (Prototipo Final)



5.6 Anexo 6 (Área de muestreo de laboratorio de 12 x 30 metros – cultivo general)



5.7 Anexo 7 (Distribución de puntos de muestreo dentro del campo de aplicación)



5.8 Anexo 8 (Lugar de muestreo dentro de las camas de las florícolas)



5.9 Anexo 9 (Lugar y Área de muestreo en las florícolas)



5.10 Anexo 10 (Recorrido del robot dentro de la florícola)





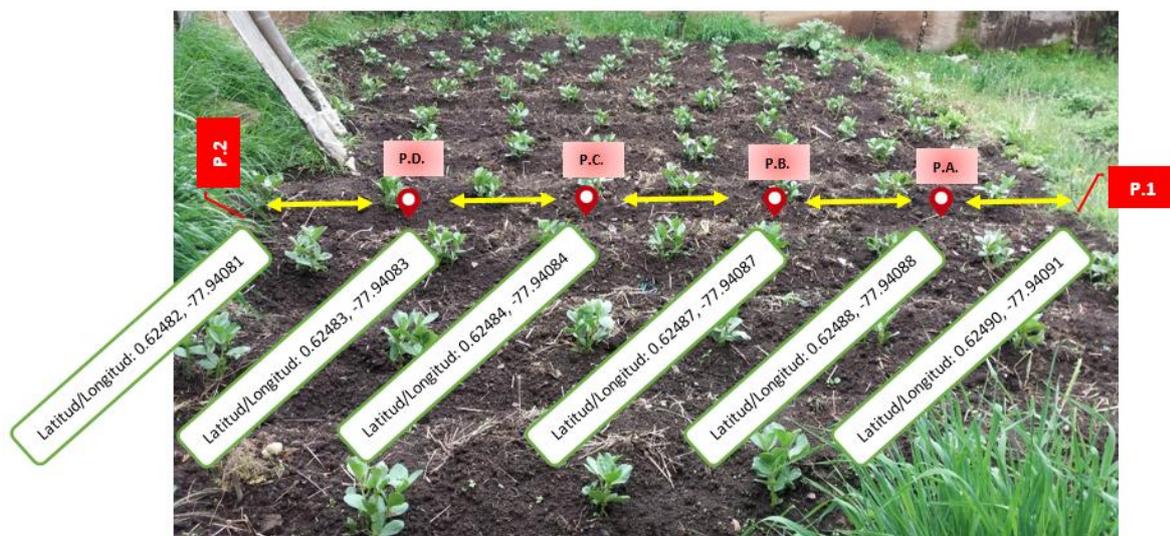
5.11 Anexo 11 (Adquisición de datos dentro del cultivo general)



5.12 Anexo 12 (Adquisición de datos dentro de la florícola)



5.13 Anexo 13 (Adquisición de datos GPS)



5.14 Anexo 14 (Manual de Mapeo y Visualización de datos)

PROCEDIMIENTO

1. Una vez teniendo los datos GPS en el Excel se copia únicamente los datos de sentido y latitud y Longitud.
2. Se abre la página BatchGeo en el navegador y se pega los datos copiados



batchgeo [hacer mapas](#) [características](#) [precio pro](#) [móvil](#) [soporte](#) [blog](#) pro sign-in

Pegue sus datos de localización abajo para verlos en un mapa:

Dirección	Ciudad	Estado	Código Postal	Nombre	Teléfono	Grupo	URL
Calle de Eolo 4	Valencia		46021	MELIA KITEBOARDING VA...	96 369 97 75	1	http://melliesport.com
Plaza de España	Cartagena		30205	Prokitespain	686 308 259	3	http://prokitespain.com
Avenida Antonio Machado 36	Roquetas de Mar		4740	AIVA Kiteboarding	634 534 530	4	http://aiva-kiteboarding.com
Calle de Mar Menor	Tarifa		11380	Kite School Tarifa	956 68 09 40	5	http://kitebeession.com

(No olvide incluir algunas columnas de encabezado - También puede probar nuestra [Plantilla de Hoja de Cálculo](#), o pulse "Mapa Ahora" y haga la prueba con nuestros datos de ejemplo.)

3. Una vez pegado los datos se da Clic en Mapa Ahora



batchgeo [hacer mapas](#) [características](#) [precio pro](#) [móvil](#) [soporte](#) [blog](#) pro sign-in

Pegue sus datos de localización abajo para verlos en un mapa:

MUESTRA 1	LATITUD	LONGITUD
Sub-1.1	0.62759	-77.93953
Sub-1.2	0.62747	-77.93953
Sub-1.3	0.62734	-77.93953
Sub-1.4	0.62719	-77.93953

(No olvide incluir algunas columnas de encabezado - También puede probar nuestra [Plantilla de Hoja de Cálculo](#), o pulse "Mapa Ahora" y haga la prueba con nuestros datos de ejemplo.)

4. En la ventana desplegada se coloca las variables y se da Clic en Hacer Mapa



Validar & Establecer Opciones
Hemos hecho nuestra mejor conjetura con sus datos, pero verifique abajo que todo esté bien.

Opciones básicas

Región:

Ubicación / Dirección:

Ciudad / Condado:

Estado / Provincia / Código Postal:

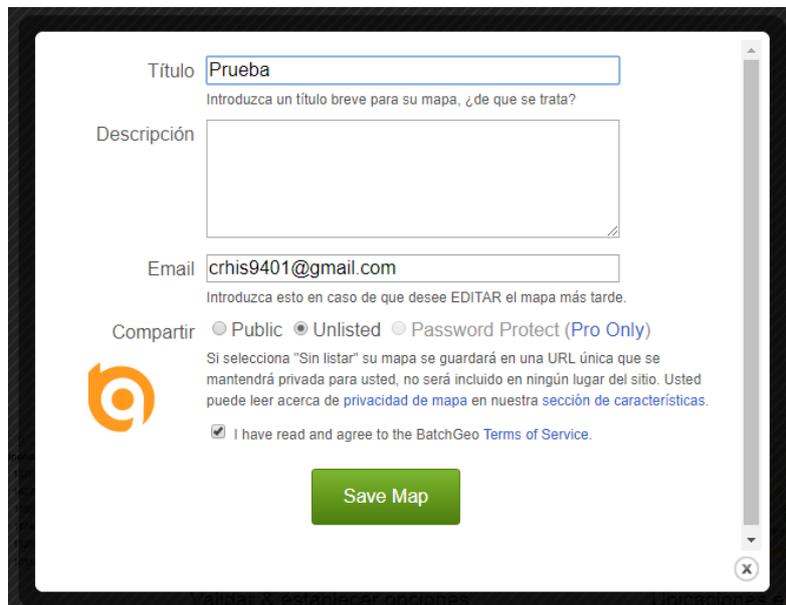
Zip / Código Postal / País:

Agrupar por / Valor Temático:

Vista previa de caja de marcador

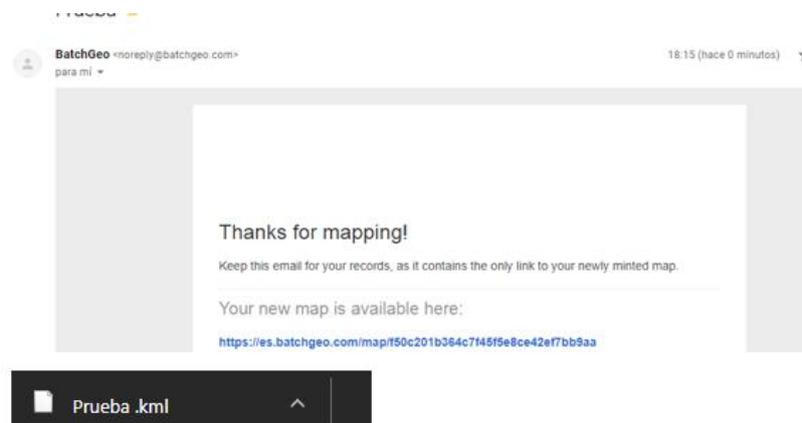
Sub-1.1
0.62759, -77.93953

5. Aparecerá una ventana en la que se introducirá el correo personal para realizar el envío del archivo.



The screenshot shows a web form for creating a map. It includes a title field with the text "Prueba", a description field, an email field with "crhis9401@gmail.com", and sharing options: "Public", "Unlisted" (selected), and "Password Protect (Pro Only)". A green "Save Map" button is at the bottom.

6. Al abrir el correo se descarga un archivo con extensión KLM.



7. Se importa en Google My Maps y se visualiza el mapeo realizado por el robot

