

Universitat Politècnica de València



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TESIS DOCTORAL

Programa de doctorado: Industrias de la comunicación y culturales

PLAtaforma TEcnológica Multimedia para la
Agricultura de Precisión (PLATEM Precision
Agriculture)

Autor: Carlos Cambra Baseca

Directores: Jaime Lloret Mauri

Sandra Sendra Compte

Noviembre, 2019

Abstract

There are many works related to the automation of processes in agriculture. With the revolution of the Internet of Things (IoT), many devices capable of interconnecting sensors are appearing on the market. The focus is on intensive agriculture in a market where designers and marketers of IoT products present designs for the automation of crop production, claiming systematic achievements that are not always compatible with agricultural reality. Many technological products, such as remote or WiFi management of irrigation programmers, focused on precision agriculture, are independent systems with no connection to other agricultural technologies. At this time and with the current technological advance, it must be integrated irrigation schedules in response to the real time needs of crop nutrition determining cultivation needs are transmitted via satellite or drone, in a platform will automatically integrate intelligent irrigation systems on the plot of land in relation to thermal analysis and crop vigor. If the production patterns of a farm are promising, PLAtaforma TEcnologica Multimedia (PLATEM) will allow disseminate a strategy followed to cooperative partners or people who are registered in the social network can see it and see the contents published in it on agricultural control systems.

This thesis will attempt to solve the above-mentioned issues: the integration from start to finish of data capture and open data decisions for a community of professional farmers.

Firtsly, we will review the literature on data harvesting of irrigation decisions for cultivation through computer-processed videos recorded by drones with autonomous flight mapping.

Next, the devices present in a Wireless Sensor Network (WSN) are presented aimed at capturing terrestrial sensory data connected to tele-managed irrigation systems with ultra-low energy consumption. Hence, the focus of this work is firmly set on narrowband communication networks that are very suitable for use in rural areas. Our system maintains a communicated device capable of maneuvering valves within an area of 16 hectares with a commercial 9-volt battery throughout an irrigation campaign, with no need for solar panels.

Finally, all the information and interoperability described in the previous sections will need integral management. At this point, we present a server with a business rules engine and machine learning with (self-learning) decision trees capable of generating decisions for irrigation controllers. The basic layer consists of the data processing of data mining models. The second layer consists of model training with historical data and the third layer applies to machine

learning that generates the best results for guidance on recommendations. This information can be published and shared on social media between groups of users for the exchange of working methods and opinions regarding crops, cultivation strategies and demonstration plots.

All of the proposed developments and proposals have been grounded in systematic energy consumption studies of all devices in the intelligent irrigation systems. In addition, a field study is conducted of the WSN deployed in rural areas under highly problematic conditions to determine the correct functioning of the entire system.

Resumen

Hay muchos trabajos relacionados con la automatización de procesos en agricultura. Con la revolución del Internet de las Cosas (del Inglés, Internet of things o IoT) están apareciendo en el mercado multitud de dispositivos capaces de interconectar sensores. Más enfocado a la agricultura intensiva, aparecen muchas comercializadoras de productos IoT que, aunque sus desarrolladores aseguran que son capaces de automatizar las tareas en los cultivos, vemos que no es así. Muchos productos tecnológicos desarrollados para ser usados en la agricultura de precisión, como son los programadores de riego tele-gestionados funcionan de forma independiente con otras tecnologías de la agricultura. En estos momentos y con el avance tecnológico actual, se debe integrar una programación de riego acorde a las necesidades reales del cultivo en tierra y con unas mediciones de necesidades de cultivo tomadas vía satélite o mediante dron desde el aire adaptando las variables de forma automática en una única plataforma de gestión. Si el patrón de producción de mi explotación funciona bien, la PLAtaforma TEcnológica Multimedia (PLATEM) permitirá compartir la estrategia seguida para que socios cooperativistas o personas que estén registrados en la red social, puedan verla y ver los contenidos publicados en ella sobre sistemas de control agrícolas.

Esta tesis se centra en la investigación, diseño y desarrollo de nuevas tecnologías para integrar todos los sistemas presentes en un sistema automáticos, considerando, desde la monitorización de parámetros, hasta el procesado y toma de decisiones para una administración eficiente, siendo plata una herramienta óptima para la comunidad profesional de agricultores y con una usabilidad cercana al agricultor.

Primeramente, se presentan trabajos previos relacionados con la captura de datos procedentes de cultivo y funcionamiento de riego a través del procesado de vídeo realizado con drones de vuelo autónomo.

Seguidamente, se presentan los dispositivos presentes en la red inalámbrica de sensores orientada a captura de datos de los sensores terrestres y actuadores en sistemas de riego tele-gestionados de ultra bajo consumo energético. Por esto, nuestro trabajo se centra en redes de comunicaciones de banda estrecha, muy adecuadas para el uso en el medio rural. Nuestro sistema permite mantener un dispositivo comunicado y capaz de maniobrar las válvulas de hasta una extensión de 16 hectáreas con una pila comercial de 9 voltios toda una campaña de riego, sin necesidad de placas solares.

Por último, toda la información e interoperabilidad de los apartados anteriores necesitan una gestión integral en un único sistema amigable con el usuario. En este punto presentamos un servidor con un motor de reglas de negocio y machine learning con autoaprendizaje capaz de generar decisiones para los controladores de riego, datos sensoriales de parcela o ambientales. Esta información es capaz de publicarse entre grupos sociales de usuarios e intercambiar métodos de trabajo y consignas.

Todos los desarrollos y propuestas han sido precedidos de estudios de consumos energéticos en todos los dispositivos incluidos en el sistema. Además, se ha realizado un estudio en campo de las redes inalámbricas de sensores desplegadas en el medio rural bajo condiciones altamente problemáticas para comprobar el correcto funcionamiento del sistema entero.

Resum

Existeixen gran quantitat de treballs relacionats amb l'automatització de processos en agricultura. Amb la revolució la Internet de les coses (de l'anglès Internet of Things o IoT) estan apareixent al mercat multitud de dispositius capaços d'interconnectar sensors. Més enfocat a l'agricultura intensiva, s'estan comercialitzant productes IoT que, tot i que els seus desenvolupadors asseguruen que són capaços d'automatitzar les tasques en els cultius, veiem que no és així. Molts productes tecnològics desenvolupats per a utilitzar-los a l'agricultura de precisió, com són els programadors de reg tele-gestionats, funcionen de forma independent amb altres tecnologies usades en l'agricultura. En aquests moments i amb l'avanç tecnològic actual, existeix la possibilitat d'aplicar unes rutines de reg adequades amb les necessitats reals del cultiu en terra, combinat amb la mesura de les necessitats de cultiu preses via satèl·lit o mitjançant vehicles aeris no tripulats o dron des de l'aire, adaptant les variables de forma automàtica en una única plataforma de gestió. Si el patró de producció de la meua explotació funciona bé, la PLAtaforma TEcnològica Multimedia (PLATEM) permetrà compartir l'estratègia seguida per tal que socis cooperativistes o persones que estiguin registrats en la xarxa social, puguin vore-la i veure els continguts publicats en ella sobre sistemes de control agrícoles.

Aquesta tesi es centra en la investigació, disseny i desenvolupament de noves tecnologies per a integrar tots els sistemes presents en un sistema automàtics, considerant, des de la monitorització de paràmetres, fins al processat i presa de decisions per a una administració eficient, sent PLATEM una ferramenta òptima per a la comunitat professional d'agricultors i amb una usabilitat propera a l'agricultor.

Primerament, es presenten treballs previs relacionats amb la captura de dades procedents de cultiu i funcionament de reg a través del processat de vídeo realitzat amb drons de vol autònom.

Seguidament, es presenten els dispositius presents en la xarxa sense fils de sensors orientada a captura de dades terrestres i els actuadors utilitzats per al reg tele-gestionats d'ultra baix consum energètic. Per això, el nostre treball se centra en xarxes de comunicacions de banda estreta, molt adequades per a l'ús en el medi rural. El nostre sistema permet mantenir un dispositiu comunicat i capaç de controlar les vàlvules en terrenys extensió de 16 hectàrees amb

una pila comercial de 9 volts durant tota una campanya de reg, sense necessitat de plaques solars.

Finalment, tota la informació i interoperabilitat dels dispositius que integren la xarxa necessiten una gestió integral en un únic sistema amigable amb l'usuari. En aquest punt presentem un servidor amb un motor de regles de negoci que aplica machine learning amb autoaprenentatge capaç de generar decisions per als controladors de reg, tenint en compte les dades dels sensors de parcel·la i ambientals. Aquesta informació és capaç de publicar-se entre grups socials d'usuaris i intercanviar mètodes de treball i consignes.

Tots els desenvolupaments i propostes han estat combinats amb estudis de consums energètics. A més, s'ha realitzat un estudi en camp de les xarxes sense fils de sensors desplegades en el medi rural sota condicions altament problemàtiques per a comprovar el correcte funcionament del sistema sencer.

Agradecimientos

A todos aquellos que durante estos 5 años de investigación, han creído y apoyado el esfuerzo extra para sacar una investigación en un campo tan apasionante para mí, como es la agricultura.

A mis directores, Dr. Jaime Lloret y Dra. Sandra Sendra, en especial a Jaime por darme la oportunidad en iniciar una carrera investigadora desde la formación del Máster. También mencionar y dar las gracias al profesor PhD Spiros Fountas por brindarme la oportunidad de participar en ese gran proyecto en Agricultura de precisión como es SmartAkis y poder trabajar con su equipo de la Agricultural University of Athens durante la estancia de investigación. Finalmente, me gustaría hacer una mención especial a mi hijo, a mi pareja, a mis padres y hermano, por el máximo apoyo y ayuda en todo momento, por la paciencia para poder exprimir al máximo el tiempo libre y dedicarlo a realzar la tesis doctoral, la ayuda a nivel económica y trabajo para la puesta en marcha del campo de ensayo, gracias.

Lista de figuras

Figura 1.1. El ciclo de gestión de datos en agricultura de precisión.	25
Figura 2.1. Simulación realizada con Winspace, obtención de CU de riego por aspersión, Fuente Csic –AulaDei.	39
Figura 2.2. Sonda de humedad, medición de humedad manual.	40
Figura 2.3. Sonda de humedad conectada al módulo de radio 868MHz.	41
Figura 2.4. Sonda de humedad Enviroscan.	42
Figura 2.5. Dron con cámara NGB para análisis de índices de Vegetación en el campo de ensayo.	46
Figura 3.1. Estructura de solenoide Latch.	59
Figura 3.2. Prototipo de controlador de riego Latch para 8 salidas a sectores y una maestra...	60
Figura 3.3. Ruteado de pistas y conversores de 8bit serie/paralelo con bus de reloj.	61
Figura 3.4. Conector GPIO.	61
Figura 3.5. Comunicación Serie/Paralelo con reloj.	62
Figura 3.6. Fuente elevadora de tensión de 9v dc a 12v dc.	63
Figura 3.7. Campo de ensayo PLATEM PA en Lalueza (Huesca), 2016.	64
Figura 3.8. Socket de comunicaciones.	66
Figura 3.9. Guardar datos en BD según variables.	67
Figura 3.10. Envío de tramas.	68
Figura 3.11. Esquema funciones de programación de riego.	69
Figura 3.12. Consumo energético en diferentes modos de funcionamiento.	72
Figura 4.1. Nodo 868 con sonda de humedad watermark de irrometer en cultivo de maíz.	76
Figura 4.2. Controlador de riego, panel estación meteorológica y solenoides tipo latch.	77
Figura 4.3. Placa prototipo de controlador de riego y procesador RPi, en pruebas con comunicación Ethernet + P2P WiFi y GPRS.	77
Figura 4.4. Arquitectura de comunicaciones multisalto.	79

Figura 4.5. Condiciones atmosféricas graves para afección en uniformidad de riego, Datos de viento recogidos en fecha 10/07/2017.....	82
Figura 4.6. Tasa de transmisión de tramas.....	86
Figura 4.7. Tasa de transmisión de tramas.....	87
Figura 4.8. Esquema de instalación de nodo sensorial.....	90
Figura 4.9. Sistema indoor de hidrponia.....	91
Figura 4.10. Gráfica de análisis de uso del sensor.....	94
Figura 4.11. Gráfica comparativa de uso del sensor.....	95
Figura 4.12. Esquema de instalación del ensayo.....	96
Figura 4.13. Intercambio de mensajes.....	96
Figura 4.14. Gráfica de tasa de intercambio de mensajes.....	97
Figura 4.15. Despliegue WiFi en red Ad Hoc.....	99
Figura 4.16. Análisis de red en despegue y aterrizaje de AR Drone.....	100
Figura 4.17. Transferencia de video en larga distancia.....	101
Figura 4.18. Coordenadas de puntos destacados en imágenes.....	102
Figura 4.19. Diagrama de tratamiento de imágenes en Visión Computacional.....	104
Figura 4.20. Esquema de conexión entre AR Drones.....	104
Figura 4.21. Tráfico RTSP durante la sesión de prueba.....	105
Figura 4.22. Tráfico OLSR durante la sesión de prueba.....	105
Figura 4.23. Tráfico de la red Ad hoc.....	106
Figura 4.24. Monitorización del funcionamiento del sistema de riego en un campo de maíz.....	107
Figura 4.25. Tráfico de datos durante la prueba (protocolo de control RTP y AR Drone.....)	109
Figura 4.26. Transceptor radio de comunicaciones NRF24I01.....	110
Figura 4.27. Parte del código implementado en el nodo con funciones de ultra-bajo consumo energético.....	111
Figura 4.28. Envoltorio del Nodo y lente del sensor PIR.....	111
Figura 4.29. Esquema de detección de movimiento.....	112

Figura 4.30. Arquitectura del sistema.....	113
Figura 4.31. Paquete de transmisión.	113
Figura 4.32. Localización de las pruebas de funcionamiento, almacén.....	114
Figura 4.33. Tráfico generado desde un nodo durante la transmisión en una red tipo estrella.	115
Figura 4.34. Tráfico generado durante la transmisión de un evento usando una topología multisalto en una red mallada.	116
Figura 4.35. Tráfico generado durante la transmisión de un estado de vida de un nodo en una red de tipología estrella.	117
Figura 5.1. Capas del sistema de procesamiento de datos dentro del sistema PLATEM PA. ...	122
Figura 5.2. Trasmisiones de paquetes de datos.....	123
Figura 5.3. Estación Meteorológica instalada en campo.	124
Figura 5.4. Imagen NIR captada mediante dron en campo de maíz.....	127
Figura 5.5. Diferentes capas de datos sectorizados. Fuente Micasense.....	128
Figura 5.6. Diagrama de flujo sistema de decisiones inteligente.....	129
Figura 5.7. Diagrama de flujo del sistema.....	130
Figura 5.8. Árbol de decisión para los objetos de riego.....	133
Figura 5.9. Esquema de origen-destino de la adquisición de datos.....	134
Figura 5.10. Reglas de negocio en entorno de programación Eclipse Drools.....	135
Figura 5.11. Código de un entrenador del árbol de decisiones.	136
Figura 5.12. Archivo DRL Riego Básico.	137
Figura 5.13. Regla de Fertirrigación.	138
Figura 5.14. Promedio de temperatura calculada en 10 meses.	138
Figura 5.15. Promedio de viento calculado en 10 meses.....	139
Figura 5.16. Recomendaciones para cultivo de maíz.....	141
Figura 5.17. Representación de MATLAB para modelo NAR con 5 neuronas en capa oculta y una entrada exógena con 5 valores y un retardo de 8. Fuente: The Mathworks Inc.	142
Figura 5.18. Representación de MATLAB para modelo NIO con 5 neuronas en capa oculta y una entrada exógena con 5 valores y un retardo de 8. Fuente: The Mathworks Inc.	142

Figura 5.19. Representación de MATLAB para modelo NARX con 30 neuronas en la capa oculta y una neurona con la capa de salida, una entrada exógena con 5 valores y un retardo de 4 y una única salida con un retardo de 10. Fuente: The Mathworks Inc.....	143
Figura 6.1. Diagrama de llamadas del MVC	160
Figura 6.2. Esquema de plataforma bajo MVC.....	160
Figura 6.3. Vista inicial de acceso de la plataforma	161
Figura 6.4. Alerta de notificaciones.....	162
Figura 6.5. El usuario publica las imágenes de los vuelos en su muro.....	163
Figura 6.6. Mensaje publicado en el muro del usuario por el middleware.	164
Figura 6.7. Vista de gestión de programadores de riego	164
Figura 6.8. Edición de ajuste de programación de riego.....	167
Figura 6.9. Vista de histórico de gestión de riego	168
Figura 6.10. Necesidades de riego en maíz.....	168
Figura 6.11. Red social, vista de amistades.....	170
Figura 6.12. Accesos a base de datos a través consultas.....	171
Figura 6.13. Conexiones a base de datos y procesos.....	171
Figura 6.14. Tráfico de la red en la simulación de pruebas.....	172
Figura 6.15. Análisis dl tráfico de la red del servidor	173

Lista de tablas

Tabla 2.1. Comparativa de tecnologías de comunicaciones en IoT	38
Tabla 2.2. Comparativa de SFT	54
Tabla 4.1. Valores de densidad y pureza.....	93
Tabla 4.2. Datos captados en la prueba de vuelo en videostreaming.	108
Tabla 5.1. Tecnologías software usadas en PLATEM PA.	121
Tabla 5.2. Estructura de decisiones.....	133
Tabla 5.3. Valores de parámetros en la experimentación del modelo NAR sobre recomendaciones de riego.....	145
Tabla 5.4. Resultados agrupados del modelo NAR sobre el Índice de entrada.	146
Tabla 5.5. Tabla de implementación agrupada en número de neuronas.....	147
Tabla 5.6. Tabla de resultados agrupados según algoritmo.	147
Tabla 5.7. Valores de parámetros en la experimentación del modelo NIO sobre recomendaciones de riego.....	148
Tabla 5.8. Resultados del modelo NIO sobre el Índice de entrada.....	149
Tabla 5.9. Resultados agrupados según número de neuronas.....	149
Tabla 5.10. Resultados del modelo NIO sobre el algoritmo.....	151
Tabla 5.11. Valores de parámetros en la experimentación del modelo NARX sobre recomendaciones de riego.....	152
Tabla 5.12. Resultados por número de retardos en la entrada al aplicar modelo NARX sobre recomendaciones de riego.....	153
Tabla 5.13. Resultado por número de retardos en la salida al aplicar modelo NARX sobre recomendaciones de riego.....	154
Tabla 5.14. Resultados por número de neuronas en la capa oculta al aplicar modelo NARX sobre recomendaciones de riego.....	154
Tabla 5.15. Resultados por tipo de algoritmo ejecutado al aplicar modelo NARX.	155

Tabla 6.1 Comparativa de SFT con PLATEM 174

Lista de abreviaturas

5G Fifth Generation Wireless Systems

AD Arbol de Decisión

AP Access Point

AUA Agricultural University of Athens

BD Base de Datos

BoD Bandwich on Demand

CU Coeficiente de Uniformidad

DHCP Dynamic Host Configuration Protocol

DRL Drool Rule Learner

ETo Evapotranspiración

FI B2B Future Internet Business to Business

Fps frames per second

HTML HyperText Markup Language

IA Inteligencia Artificial

IEC International Electrotechnical Commission

INTIA Instituto Navarro de Tecnologías Agrarias

IP Internet Protocol

IPv4 Internet Protocol version 4

IPv6 Internet Protocol version 6

IoT Internet of Things

ISDN Integrated Services Digital Network

ISO International Organization for Standardization

ISP Internet Service Provider

LAN Local Area Network

Kc coeficiente único del cultivo

KEP Knowledge Exchange Protocol

MAV Micro Air Vehicle

MLN Modelo Neuronal

MPEG Moving Picture Experts Group

MSE Mean Square Error

NAR Nonlinear Autoregressive

NARX Nonlinear autoregressive models with exogenous inputs

NDVI Normalized Density Vegetation Index

NIO Nonlinear Input-Output

PLATEM PA Plataforma Tecnológica Multimedia Precision Agriculture

P2P Peer-to-Peer

QoE Quality of Experience

QoS Quality of Service

RMSE Root Mean Square Error

RPI Raspberry Pi

RSE R-squared error.

RSSI Radio Signal Strength Indicator

RTP Real-Time Transport Protocol

RTSP Real-Time Streaming Protocol

SFT Smart Farming Technologies

SOA Service Oriented Architecture

SOF Social Organization Framework

TCP Transmission Control Protocol

TIC Tecnologías de la Información y Comunicación

UAV Unmanned Aerial Vehicle

UGC Unidad de Gestión de Cultivo

URL Uniform Resource Locator

VLC Video LAN Client

VRF Variable Rate Fertilization

VRI Variable Rate Irrigation

WiMAX Wireless Interoperability for Microwave Access

Wi-Fi Wireless Fidelity

WLAN Wireless Local Area Network

WSN Wireless Sensor Network

ÍNDICE

Lista de figuras	ix
Lista de tablas.....	xiii
Lista de abreviaturas	xv
1. Introducción.....	22
1.1 Introducción	23
1.2 Objetivos de la Tesis.....	26
1.3 Precedentes y motivación	28
1.4 Contribuciones Principales.....	29
1.5 Estructura de la tesis doctoral.....	30
2. Estado de la técnica en tecnologías WSN y Multimedia en agricultura	32
2.1 Introducción	33
2.2 Comparativa de programadores de riego con sistema de comunicaciones y variables de automatización.....	33
2.2.1 Análisis y comparativa de dispositivos telegestionados	35
2.2.2 Comparativa de controladores de riego comunes vs telegestionados.....	36
2.3 Redes WSN en agricultura.....	37
2.4 Análisis de tecnologías relevantes de monitorización aérea	44
2.5 Trabajos relevantes en minería de datos y redes neuronales	47
2.6 Trabajos relevantes en plataformas de gestión agrícola	49
2.6.1 Análisis de plataformas en agricultura de precisión existentes.....	49
2.6.2 Estudio de otras Plataformas tecnologías en agricultura	54
2.7 Conclusiones.....	54
3. Desarrollo de nodos de control de Riego	56
3.1 Introducción	57
3.2 Protocolo de comunicaciones del nodo controlador de riego.....	68

3.3	Análisis de consumos energéticos.....	72
3.4	Conclusiones.....	73
4.	WSN en monitorización y gestión de riego.....	74
4.1	Introducción	75
4.2	Implementación de WSN en cultivos extensivos al aire libre	75
4.2.1	Descripción del sistema.....	75
4.2.2	Nodos	75
4.2.3	Despliegue de la WSN	78
4.2.4	Arquitectura	78
4.2.5	Arquitectura de datos agronómicos en Gestión de riego	79
4.2.6	Resultados y discusión	85
4.3	Implementación de WSN en cultivos intensivos en interior	87
4.3.1	Descripción del sistema.....	87
4.3.2	Nodos	89
4.3.3	Despliegue de la WSN	90
4.3.4	Arquitectura	91
4.3.5	Resultados y discusión	92
4.4	Implementación de redes Ad Hoc con drones análisis de cultivos	98
4.4.1	Descripción del sistema.....	98
4.4.2	Despliegue de la WSN en dispositivos aéreos no tripulados	98
4.4.3	Arquitectura	101
4.4.4	Estudio de rendimiento y resultados en control de sistemas de riego.....	104
4.4.5	Estudio de rendimiento y resultados en control de malas hiervas.....	108
4.5	WSN en control de plagas en cultivos y almacenes	109
4.5.1	Descripción del sistema.....	109
4.5.2	Nodos	110
4.5.3	Despliegue de la WSN	112

4.5.4	Arquitectura	112
4.5.5	Resultados y discusión	113
4.6	Conclusiones.....	117
5.	Gestión y procesamiento de datos	119
5.1	Introducción	120
5.2	Descripción del sistema.....	120
5.3	Implementación de un sistema de gestión de centralizado	121
5.4	Implementación de datos ambientales.....	124
5.4.1	Adquisición de datos de estaciones meteorológicas	124
5.4.2	Estructura de comunicaciones con el middleware y base de datos	125
5.5	Inserción de captura de datos aéreos.....	126
5.5.1	Fuentes de análisis aéreos (drones y satélite)	126
5.5.2	Digitalización de imágenes y estructura de datos.....	127
5.6	Sistema de toma de decisiones.....	128
5.6.1	Estructura del motor de decisiones	128
5.6.2	Comparativa de Algoritmos de optimización	130
5.6.3	Algoritmos de optimización ID3 y C4.5	131
5.6.4	Árboles de decisiones.....	133
5.6.5	Reglas de negocio.....	133
5.6.6	Entrenamiento de Algoritmo	135
5.6.7	Operaciones con reglas DRL	136
5.7	Redes Neuronales	139
5.7.1	Modelos NAR, NIO y NARX y algoritmos de entrenamiento.....	139
5.8	Pruebas Rendimiento y Resultados.....	143
5.8.1	Resultados de modelos NAR NIO y NARX en entrenamiento de algoritmos ...	143
5.9	Conclusión	156
6.	Plataforma Tecnológica Multimedia.....	158

6.1	Introducción	159
6.2	Descripción del sistema.....	159
6.3	Arquitectura	160
6.4	Área de Gestión de riego.....	164
6.5	Red Social y divulgación de datos entre usuarios	169
6.5.1	Estructura Red social.....	169
6.5.2	Nivel de intercambio de datos entre usuarios	169
6.6	Pruebas y resultados de rendimiento	170
6.7	Comparativa de PLATEM con otras plataformas	174
6.7.1	Comparativa de PLATEM con APOLLO	175
6.7.2	Comparativa de PLATEM con SmartAkis.....	175
6.7.3	Comparativa de PLATEM con SIGAgro Asesor	176
6.7.4	Comparativa de PLATEM con Agrivi	177
6.8	Conclusión.....	177
7.	Conclusions	178
7.1	Introduction	179
7.2	Conclusions	179
7.3	Fulfillment of the objectives	179
7.4	Difficulties found during the process	180
7.5	Personal Contributions.....	180
7.6	Future work.....	182
7.7	Publications derived from the PhD	182
	Bibliografía	185

1.Introducción

1.1 Introducción

Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) son importantes en la agricultura no solamente para el desarrollo de nuevos sistemas de cultivo sino también para que los métodos tradicionales puedan afrontar en un futuro una competitividad y seguridad alimentaria que años atrás carecía de amenazas en estos puntos. La agricultura nos presenta un reto en producción debido al incremento de población mundial y nuevos países emergentes con mayor demanda de productos alimentarios; porque ya no se trata de ser hábil sino también de tener una seguridad alimentaria adecuada y minimizar los costes medioambientales que generamos, por tanto, si las tecnologías pueden formar parte de los sistemas de cultivo (Sundmaeker et al., 2016) y convertirse en una herramienta de ayuda de la nueva agricultura de precisión.

La progresiva modernización de los regadíos mediante coberturas de aspersión, pívots y goteo, permite la aplicación de dosis de riego variable espacialmente en la parcela.

El abonado, siembra, riego y tratamientos no se realizarán de manera uniforme en toda la parcela, sino que se ajustara la dosis aplicada al potencial productivo de cada zona utilizando para ello la información obtenida con el mapa de suelo u otros medios de zonificación.

En la agricultura de precisión el seguimiento a pie de campo del cultivo por parte del profesional agrícola, se ve complementado con la monitorización del cultivo a distancia. Para ello se utilizan sensores de medida de parámetros ambientales instalados en la parcela e imágenes multi-espectrales tomadas con satélite.

Por último, se trabaja con mapas de producción, obtenidos con cosechadoras equipadas con monitor de rendimiento. Estos mapas permiten comprobar si se ha hecho un adecuado manejo del cultivo, comparando los mapas de varias campañas.

El internet de las cosas (IoT) también se aplica a componentes de máquinas, por ejemplo, un tractor, una cosechadora o el motor de un pívot de riego. El IoT es una gigantesca red de “cosas” conectadas (que también incluye a las personas) generando una gran cantidad de datos (Chen et al., 2014). La relación será entre personas-personas, personas-cosas y cosas-cosas. Desarrollos recientes en los campos de las redes de sensores inalámbricos, han llevado

a muchas explotaciones a adoptar la agricultura de precisión (PA) y se convierten en granjas inteligentes (Castle et al. 2015).

La información obtenida de las redes IoT deberá ser gestionada y para ello el Big Data es la gestión (De Mauro et al., 2016) y análisis de enormes volúmenes de datos que no pueden ser tratados de manera convencional, ya que superan los límites y capacidades de las herramientas de software (ZhongFu et al., 2013) habitualmente utilizadas para la captura, gestión y procesamiento de datos.

Dicho concepto engloba infraestructuras, tecnologías y servicios que han sido creados para dar solución al procesamiento de enormes conjuntos de datos estructurados, no estructurados o semi-estructurados (mensajes en redes sociales, señales de móvil, archivos de audio, sensores, imágenes digitales, datos de formularios, emails, datos de encuestas, logs etc.) que pueden provenir de sensores, micrófonos, cámaras, escáneres médicos e imágenes. El objetivo de Big Data, al igual que los sistemas analíticos convencionales, es convertir el Dato en información que facilita la toma de decisiones, incluso en tiempo real. Sin embargo, más que una cuestión de tamaño, es una oportunidad de negocio. Las empresas ya están utilizando Big Data para entender el perfil, las necesidades y el sentir de sus clientes respecto a los productos y/o servicios vendidos. Esto adquiere especial relevancia ya que permite adecuar la forma en la que interactúa la empresa con sus clientes y en cómo les prestan servicio.

Estas características típicamente incluyen asistencia inteligente con la implementación de la tecnología y su mantenimiento y uso. El concepto de agricultura inteligente se resume en la Figura 1.1, junto con un sistema ciber-físico, lo que conduce eventualmente a dispositivos inteligentes en línea, capaces de controlando una serie de sistemas agrícolas.

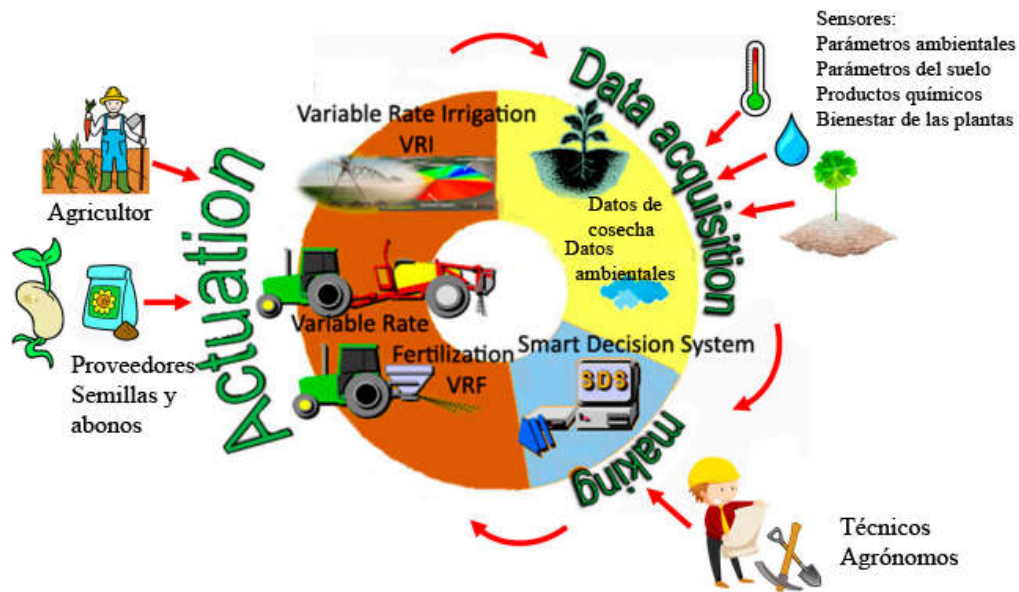


Figura 1.1. El ciclo de gestión de datos en agricultura de precisión.

No obstante, el asociar el concepto Big Data (Morota et al. 2018) a grandes volúmenes de datos no es nuevo. La gran mayoría de las empresas ya llevan mucho tiempo manejando grandes volúmenes de datos y han desarrollado almacenes de datos y potentes herramientas analíticas que les permiten tratar de forma adecuada esos grandes volúmenes. La evolución de la tecnología y los menores costes del almacenamiento han hecho que los volúmenes manejados por estas aplicaciones hayan aumentado de manera muy importante.

Hablamos de Big Data cuando los volúmenes superan la capacidad del software habitual para ser manejados y gestionados. Este concepto se encuentra en continuo movimiento porque los avances tecnológicos permiten tratamientos de volúmenes mayores. Cuando hablamos de grandes volúmenes nos referimos a tratamientos de Terabytes o Petabytes. Esto permite incluir en este tipo de proyectos informaciones (por ejemplo logs) que hasta la fecha no se utilizaban porque la tecnología no permitía procesarlos en un tiempo razonable. El concepto de volumen es muy variable y cada día que pasa eleva lo que podemos considerar grandes volúmenes de datos.

En el concepto de variedad nos referimos a la inclusión de otros tipos de fuentes de datos diferentes a las que se utilizan de forma tradicional. Nos referimos a información obtenida en diferentes redes sociales, en el número cada vez mayor de dispositivos electrónicos

conectados, la explotación de sensores que permiten conocer los movimientos y hábitos de vida, de información externa de diversas fuentes, etc.

La información que procesan los almacenes de datos es información estructurada que ha pasado por numerosos filtros de calidad para poder garantizar que la información de salida tiene una precisión y una exactitud determinada. Sin embargo, cuando hablamos de Big Data nos referimos a información que puede estar semi-estructurada o no tener ninguna estructuración. La gestión de esta información desestructurada precisa de una tecnología diferente y permite tomar decisiones basadas en información que tiene importantes grados de inexactitud. Para ello se precisa un entrenamiento de los datos históricos y modelos predictivos para poder antepoernos a los hechos. Muchos de estos algoritmos se relacionan con los tratamientos de sistemas avanzados de lógica difusa. Por ejemplo, en el siguiente trabajo (Murase et al., 1995) utilizaron una red neuronal en capas para identificar el estado hídrico de la planta en función de las características texturales de la información pictórica de la hoja de la planta.

1.2 Objetivos de la Tesis

Los objetivos de esta tesis doctoral buscan abordar plenamente la digitalización de procesos en la producción de cultivos, contribuir con desarrollos tecnológicos a la mejora del sector agrícola y a la difusión de resultados entre los profesionales del campo, todo ello bajo la línea que marca la comisión europea dentro de la PAC (Common Agricultural Policy CAP 2014/2020 ,2016).

Así pues la tesis doctoral pretende dar solución técnica a ciertas partes de los cultivos que se quedan sin digitalizar y ofrecer una solución de digitalización y publicación social entre los usuarios. Con la presentación de este trabajo esperamos que se abra una línea de trabajo o ideas para tecnificar algunos procesos esenciales en el seguimiento de cultivos y lo más importante, la formación y adaptabilidad de los agricultores al uso de nuevas herramientas digitales.

Este trabajo apuesta claramente en abordar uno de los retos de la universidad del siglo XXI que es transmitir el conocimiento generado por sus investigadores para aplicarlo con fines socioeconómicos o, lo que es lo mismo, la transferencia. Creemos muy importante generar resultados aplicables al “mundo real” y por ello este trabajo estudia varias líneas de

aspectos tecnológicos diferentes, pero que en su conjunto generar un sistema útil para el usuario. Los principales son descritos a continuación:

- Selección de necesidades en los métodos de riego existentes
 - Estudiar y revisar la literatura principal sobre los sistemas de riego y uso de variables en patrones inteligentes dedicados a la programación de riego.
 - Diseñar estructura del sistema, captación de datos, protocolo de comunicaciones, administración de datos y reglas de toma de decisiones.
- Diseñar y desarrollar dispositivos controladores de riego y protocolos de comunicación acorde a las necesidades reales del sistema.
 - Selección de tecnología de sensado, transceptores de radio y otros componentes.
 - Diseño de protocolo de comunicaciones en banda estrecha para sensores terrestres y controladores de riego y en banda 2,4 GHz WiFi para retransmisión de imágenes aéreas.
- Creación del protocolo de comunicaciones estándar para las diferentes redes inalámbricas de sensores.
- Seleccionar la mejor ubicación para cada sensor calibrado para recopilar los datos óptimamente
- Comparación de modelos y técnicas de aprendizaje en redes neuronales para predicción de necesidades de riego del cultivo
- Divulgación de datos e intercambio de opiniones entre la red social de la plataforma.

1.3 Precedentes y motivación

En ocasiones me han preguntado cómo alguien con formación en Tecnologías de la información elige un tema tan alejado como es la agricultura. Mi contestación es siempre la misma: una agricultura sin tecnología actualmente es inviable a nivel de costes de inputs y precios de venta de producciones, ya que están muy ajustados o bien está basada en aplicaciones químicas continuamente poniendo en riesgo la salud humana, para que sea un cultivo viable sin pérdidas económicas.

Existirán otros departamentos que se acercan más a conceptos agronómicos, pero en este trabajo el nexo de unión radica en la experiencia propia en la agricultura y manejo de sistemas de producción. Esto hace unir la experiencia en tecnología con la búsqueda de soluciones ante las dificultades en algunos métodos de trabajo agrícolas y de esta manera facilitar, controlar, economizar, digitalizar, divulgar y publicar aspectos fundamentales en la producción de alimentos.

El contacto diario con el sector agrícola hace que muchos profesionales te pregunten en la búsqueda de una solución a los problemas que tienen diariamente con algunas fases de trabajo, lo que ocasiona mucha dedicación en la vigilancia y comprobación del buen funcionamiento y buen desarrollo agronómico.

A partir de esta motivación hemos intentado adaptar las últimas tecnologías al ecosistema agrícola en ambientes rurales, mucho más complejo que cualquier entorno industrial por las adversidades atmosféricas, ambientales, amplias distancias y sin puntos de energía. En este trabajo se destaca la unión de tecnologías para crear una plataforma funcional que integra las necesidades principales del agricultor en una misma aplicación y se intenta dar un enfoque para la creación de un protocolo estándar de comunicación y divulgación para líneas futuras de trabajo.

El punto de partida de esta tesis doctoral fue mi trabajo final de Máster, en la que proponemos el uso de Redes de Comunicaciones Ad Hoc para el monitoreo de cultivos publicados con uno de mis directores (Cambra et al., 2013), (Lloret et al., 2013). Estas publicaciones, fueron valoradas positivamente por la actividad científica y profesional del sector agrario. Al detectarse la necesidad de plataformas de gestión que integren todo el ciclo de control de producción y publicación de datos decidimos expandir el desarrollo y despliegue del trabajo presentado.

Hasta la fecha, todo lo recopilado y puesto en práctica se ha desarrollado en una finca particular familiar para poder llevar a cabo los ensayos de las propuestas tecnológicas expuestas en este trabajo.

1.4 Contribuciones Principales

En esta sección vamos a mostrar un resumen de las principales contribuciones en nombre de esta tesis doctoral.

- 1. Identificación de los problemas principales en la programación de riego en base a información de necesidades del cultivo y estado ambiental, a la vez la escasa divulgación e intercambio de información entre agricultores y técnicos.**
- 2. Contribución en el desarrollo de una red de comunicaciones de bajo consumo integrada en sistemas de riego, sensores con un grado de alta usabilidad. A futuro se intenta generar un protocolo estándar en este campo.**
- 3. Contribución en el despliegue de sensores dentro de una red de comunicaciones de bajo coste económico para redes de sensores que requieren un gran número de nodos sensoriales, a la vez de implementar un sistema de tratamiento de la información centralizado, por ejemplo el control de plagas.**
- 4. Contribución en el desarrollo de una plataforma tecnológica inteligente para la gestión e integración de información y operatividad necesaria de los sistemas conectados y usados frecuentemente por el agricultor. Es necesario integrar la mayoría de las operaciones cotidianas del trabajo del agricultor en una sola aplicación, a la vez que compartir datos entre una comunidad social del sector primario.**

1.5 Estructura de la tesis doctoral

Esta tesis se estructura en tres grandes bloques. El primero de los capítulos introductorios es necesario para justificar el principal uso de redes sensoriales y actuadores, pues son los que se conectan directamente con el cultivo o parcela. Éstos aportan una interesante recopilación de causas y necesidades en la captación de datos ambientales y de cultivo y en actuadores de riego y fertirrigación, que se resuelven con el uso de nuestro sistema.

En el primer bloque se incluyen los capítulos 1 y 2 de esta memoria.

En el capítulo 1 se ha mostrado como introducción el estudio de necesidades en los sistemas de control de riego y la importancia del buen uso de esos sistemas. Además nos sirve para planificar metodologías de trabajo de forma autónoma.

En el capítulo 2, titulado estado de la técnica, se presentarán diferentes trabajos relacionados y que son necesarios para comprender la evolución de la tecnología dentro del sector agrícola y el camino a seguir con nuestras mejoras y contribuciones en la línea de las tecnologías, estudios y avances en los que se ha trabajado en esta tesis.

El segundo bloque está compuesto por el capítulo 3, titulado desarrollo de nodos en sistemas de riego y capítulo 4 centrado en las redes inalámbricas de sensores. En el capítulo 3 se explican los diferentes dispositivos electrónicos capaces de pilotar válvulas hidráulicas a través de pulsos o corriente eléctrica. La electrónica desarrollada es capaz de transmitir las órdenes recibidas por comunicaciones en remoto o guardadas en memoria al módulo de pulsos eléctricos de apertura y cierre de válvulas de agua. En el capítulo 4, se detallan las comunicaciones de sensores y programadores de riego, implementadas en los diferentes estudios y ensayos de este trabajo.

El tercer bloque lo forman los capítulos 5,6 y 7. Estos aportan una contribución neta, cuyo objetivo es la implementación de nuevas herramientas inteligentes de manejo de datos, toma de decisiones con aprendizaje, visualización y difusión a nivel de red social para divulgar metodologías de datos de cultivos y sistemas de producción para el resto de la comunidad profesionales agrícolas.

El capítulo 5 muestra el desarrollo del sistema principal servidor, con una base de datos y un motor de reglas de negocio basado en arboles de decisiones e introducción al

entrenamiento de modelos de aprendizaje o entrenamiento para la comparación de variables prefijadas, datos adquiridos y reglas de coincidencia. Son, por tanto, los capítulos de mayor aportación científica, desde los que se desarrolla un sistema inteligente de procesos de agricultura autónomo.

En el capítulo 6 aportamos soluciones multimedia visuales y de divulgación, con la creación de una red social entre profesionales, y una plataforma de gestión de riego y fertilización donde el sistema inteligente es capaz de publicar avisos o notificaciones y los usuarios, de forma manual pueden publicar contenidos profesionales a ciertos usuarios con reglas y privilegios para mayor seguridad.

En el capítulo 7 se muestran las conclusiones obtenidas del estudio realizado en esta tesis doctoral, se plantean futuras líneas de investigación derivadas del trabajo realizado. También se listan trabajos publicados y en fase de revisión que han sido fruto de la investigación llevada a cabo durante la realización de la presente tesis doctoral.

Para abordar la lectura del presente documentos, se recomienda considerar que la estructura del trabajo está basada en diferentes capas, comenzando con la capa más básica de extracción de datos, a través de los dispositivos (riego, sensores) y sus comunicaciones. Le sigue, una capa superior que aborda el modo de cómo se gestionan esas comunicaciones y los datos capturados. La siguiente capa, se encarga de procesan los datos para obtener resultados precisos y por último se visualizan y difunden los datos dentro de la plataforma. Este orden se sigue en el documento de la tesis, desde el capítulo 3 hasta el capítulo 6 como parte final de visualización de todo el trabajo expuesto.

2.Estado de la técnica en tecnologías WSN y Multimedia en agricultura

2.1 Introducción

A lo largo de este capítulo presentaremos diferentes trabajos relacionados con el uso de redes de sensores, de programadores de riego inteligentes y plataforma de agricultura de precisión. Describir diferentes formas que se han utilizado para realizar pruebas de usabilidad e integración con sistemas reales en uso. También describiremos cómo mejorar la interoperabilidad entre diferentes capas de sistemas inteligentes.

2.2 Comparativa de programadores de riego con sistema de comunicaciones y variables de automatización

En esta sección mostramos los trabajos más relevantes en cuanto a la automatización de sistemas de riego.

Hace algún tiempo, los controladores de riego autónomos eran diseñado utilizando tecnología analógica basada en temporizadores. En el caso trivial, se detectó un evento de alarma con botellas de plástico: Si la botella estaba llena de agua, el sistema de riego estaba funcionando bien, si la botella estaba vacía, el sistema estaba incorrectamente trabajando debido a falsos positivos. Actualmente, la mayor parte del riego los controladores pueden ser programados manualmente por mensajes móviles o aplicaciones de teléfonos inteligentes (Nikolidakis et al., 2014). Con computadoras de alto rendimiento, se pueden incluir características adicionales, por ejemplo, visión de riego en tiempo real, envío de alarma y programa de riego inteligente de acuerdo con el índice de la vegetación (Raymond et al. 2010) o los datos del entorno. Esta sección muestra algunos de los trabajos existentes relacionados con nuestra propuesta. Este autor de relevancia (Playán et al., 2017) describió la evolución de los controladores de riego basados en modelos de simulación, donde destacan dos modelos. El modelo de riego por aspersión, que se basa en modelo balístico. El aspersor esparce el agua con un tipo de gota que se somete a un vector de velocidad, vector de viento y la fuerza resistencia. Otro tipo de método de programación es el modelo de cultivo, que combina el balance hídrico del suelo, crecimiento del cultivo y rendimiento del cultivo mediante el uso ecuaciones matemáticas implementadas en una aplicación de software.

Centramos estas propuestas con en el análisis de imagen en tiempo real de cultivos de maíz usando teléfonos inteligentes o tabletas para controlar el riego sistema. A veces los cambios de parámetros en el agua pueden incluir elementos arcillosos que no es capturada

por el filtro del sistema de riego. Esto puede ocasionar problemas importantes debido a la obturación en los difusores del aspersor. Es necesario resolver este problema porque la producción durante el período de verano puede sufrir un estrés hídrico en días cálidos.

Otras contribuciones (Zapata et al. 2013) donde nos muestras los ensayos en parcela de programadores de riego autónomos. Los usuarios pueden manejarlo desde una interface web lo que supone una eficiencia de tiempo para los usuarios. Otra contribución dentro de esta línea es (Pandurang et al. 2015) un sistema que proporciona una interfaz web para el usuario para que el usuario pueda controlar y monitorizar el sistema remotamente. En este documento, Raspberry Pi se utiliza como una placa de Linux que está diseñada con una arquitectura del microcontrolador ARM. La placa de Linux incorpora un módulo de comunicación, siendo un nodo coordinador con el resto de nodos de sensores distribuidos y colocados en la parcela a través del protocolo ZigBee. El objetivo del coordinador es recoger los parámetros como la humedad y temperatura del suelo de forma inalámbrica. Cada nodo sensor consta de un sensor de humedad y temperatura del suelo y un dispositivo ZigBee RF para la comunicación con el nodo coordinador, generado con una Raspberry Pi, donde almacena los datos recogidos en la base de datos y los analiza. Con los datos almacenados el sistema funcionará acorde a los resultados del algoritmo de decisiones para regar el cultivo. La placa tiene una conexión Ethernet para dar comunicación al servidor web, por lo tanto el coordinador recopila los datos a través del protocolo de comunicación inalámbrica ZigBee y permitir al usuario monitorizar los datos desde un navegador web. El usuario puede encender o apagar el sistema de riego de forma remota. El sistema puede reducir el consumo de agua y mejorar los resultados del cultivo con un aumento del rendimiento. Otro autor (Wang et al., 2014) exploró la arquitectura usando IoT, basada en datos de sensores heterogéneos. Propusieron un diseño para implementar la IoT en la agricultura basado en la computación en la nube. El diseño se basó en dos niveles estructurales de almacenamiento de Base de datos, que es una base de datos distribuida con alta escalabilidad. El acceso a la base de datos usando el modelo *Map Reduce* se realizó utilizando una programación distribuida marco de referencia. Por lo tanto, este diseño proporciona almacenamiento escalable, acceso eficiente a los datos y facilita otras tareas de procesamiento de datos.

Tras los datos mostrados podemos perfilar las necesidades que tienen que cubrir los controladores de riego del futuro para adaptarse a las necesidades reales del cultivo como:

- Tener una referencia de cómo se debe de regar una plantación.

- Esta referencia debe de ser fácil de interpretar: horas por semana en cada sector.
- El agricultor luego ajustará estas horas en función del estado de cada sector de la finca.
- Será preciso siempre comprobar que el sistema de riego aplica las horas que se le piden, dando una dosis correcta a cada árbol.

2.2.1 Análisis y comparativa de dispositivos telegestionados

Las redes de sensores (Lloret et al., 2008) se caracterizan por su fácil adaptación a diferentes ámbitos de trabajo, sector industrial, agricultura, forestal, marino,... Pero existen sectores que demandan este tipo de sistemas de sensores inalámbricos donde no existe corriente eléctrica para alimentarlos, donde surge una problemática que conlleva el estudio de nuevas posibilidades en el diseño de transmisiones de datos más polivalentes en este medio y dispositivos electrónicos con menor consumo energético (Liu et al., 2014). Como nos muestra otro autor (Lloret et al. 2009) se ha realizado un estudio de red de sensores dedicada a la detección y verificación de incendios en los bosques. Esta red se caracteriza por el uso de cámaras IP creando una red de monitorización conectada entre sí.

Un anterior trabajo realizado con redes de comunicaciones en zonas rurales y alta montaña es (Cambra et al., 2015) la creación de un sistema de aeronave no tripulado capaz de crear una red de comunicaciones en zonas de alta montaña dedicada a la búsqueda y control de senderistas y montañeros.

En el sensado de suelo existen trabajos que exponen (Ruiyu et al., 2008) un diseño e implementación de un sistema de gestión de suelos en tiempo real, sistema de predicción de humedad basado en GPRS y red inalámbrica de sensores. El front-end del sistema muestra los datos de un sensor inalámbrico (WSN) con una arquitectura mallada (García et al., 2010) para recoger el contenido de humedad del suelo, y de nuevo la red GPRS para transmitir todos los datos; el back-end utiliza BP genético red neuronal para analizar y procesar los datos, algoritmo de recocido simulado para optimizar el resultado, y proporciona un pronóstico tiempo real.

Este tipo de predicciones requiere algoritmos eficientes que permitan predecir futuras necesidades de riego en un terreno agrícola. En este trabajo, un análisis comparativo de dos tipos diferentes de algoritmos de optimización para la técnica de clasificación de patrones de redes neuronales. Los algoritmos se prueban para la predicción del contenido de humedad del suelo con un día de antelación, considerando once parámetros diferentes del suelo y del medio ambiente. El rendimiento de estas dos técnicas de optimización, como el gradiente conjugado escalado y el BFGS Quasi-Newton, se comparan utilizando MSE (Mean Square Error), RMSE (Root Mean Square Error) y R Squared Error.

Existen algunos trabajos más centrados en la implementación de las redes de sensores y desarrollo de sistemas de tele-gestión del riego para agricultura. Por ejemplo, (Cambra et al., 2016) se propone el uso de radio 868MHz de banda estrecha para crear un sistema inteligente de riego a través de comunicaciones, programadores y sensores de bajo consumo energético en agricultura extensiva al aire libre.

Otra variante de implementación de redes de sensores es en una agricultura intensiva en invernaderos (Ferentinos et al. 2017), donde existen trabajos basados en el estado de creación de un micro clima dentro del invernadero para adaptar las condiciones de crecimiento de las plantas (Janos et al., 2010) dentro del sector agrícola, principalmente al cultivo de hortaliza.

2.2.2 Comparativa de controladores de riego comunes vs telegestionados

Actualmente, los controladores de riego comunes se basan en un horario fijo. Los agricultores, suelen establecer un riego programado que involucra tiempos de ejecución específicos en días, y el controlador ejecuta esa rutina, el mismo horario independientemente de la temporada o las condiciones meteorológicas. La programación se ajusta manualmente en el programa de riego, y por lo general, los ajustes se realizan solo algunas veces durante el año y se basan en la experiencia aproximada de necesidades hídricas del cultivo. Por el contrario un controlador de riego telegestionado, tiene una conectividad con un servidor que le proporciona datos climatológicos y algunas respuestas procesadas de los datos obtenidos por algunos sensores. La tecnología de control de riego se basa en el criterio de clima diario y necesidad real de agua de la planta. En esta tecnología el riego se produce cuando el agua es requerida por la planta. Sólo suministra esa cantidad de

agua a la planta. En la tecnología de control de riego convencional, el riego se realiza en la forma en que gran cantidad de agua subterránea o superficial se desperdicia. La tecnología de control de riego inteligente es fácilmente desplegable y puede ser controlada manual o automáticamente sin presencia física en el sistema o en el campo.

2.3 Redes WSN en agricultura

En esta sección mostramos los trabajos más relevantes en el uso de redes de sensores en agricultura.

En la última década ha habido un despliegue importante en el campo de las WSN dedicadas a la agricultura, donde muchos científicos han contribuido dentro del campo de agricultura de precisión. En el caso de este sistema, (Ibayashi et al., 2016) el cual diseña un sistema de riego que se automatiza mediante el uso de parámetros controlables, tales como temperatura, humedad del suelo y humedad del aire porque son los Factores importantes a controlar en Agricultura de precisión. Otros trabajos de WSN usando ya sistemas en la nube es el (Crisnapati et al., 2017) la propuesta y evaluación en una implementación real basada en la nube con una comunicación IoT a través de tecnología web. Esta solución controla un conjunto de sensores y actuadores, respectivamente, para evaluar las necesidades de agua de las plantas.

A la hora de desplegar redes de sensores, tenemos que tener en cuenta el coste de cada nodo, ya que las redes suelen desplegar decenas de nodos de sensores (Alvino et al., 2017) para obtener datos de diferentes localizaciones. Hemos realizado un estudio de una comparativa de tecnologías en las comunicaciones usadas habitualmente y las características de cada una, ver tabla 2.1, de esta manera podemos seleccionar varias tecnologías que se adaptan de forma eficiente para desplegar las redes WSN en el ámbito de la agricultura.

Protocolo	RF24 (Rf24, 2019)	WiFi 802.11 (WiFi, 2019)	LoRa WAN (Lora Alliance, 2016)
<i>Frecuencia</i>	2.4 GHz	2.4GHz	868/433MHz
<i>Tamaño Paq.</i>	32 Bytes	1480Bytes	256Bytes
<i>Cobertura</i>	50m-1 km	200m-10km	1km-20km
<i>Consumo Idle/ Rx/Tx</i>	20uA/8mA/ 8,4mA	10uA/60mA/ 215mA	2,8mA/38,9mA/ 50mA
<i>Ancho de Banda</i>	256Kbps/ 2Mbps	150/300Mbps	250bps/5Kbps
<i>Precio</i>	0,75€	7€	15€

Tabla 2.1. Comparativa de tecnologías de comunicaciones en IoT

Como muestran las diferentes tecnologías inalámbricas (Ver Tabla 2.1), dependiendo del número de nodos a introducir y la localización de estos en una WSN deberemos de elegir una tecnología u otra, RF24 es la única que nos ofrece una solución compacta con muy poco consumo energético y con un coste claramente inferior a los demás. Se observa una diferencia entre los consumos energéticos del uso de un transceptor de tipo WiFi al uso de un RF24, con el que podemos asegurar las comunicaciones durante un tiempo de vida de batería bastante extenso, esta tecnología será adecuada para una WSN con más de 50 nodos, como el ejemplo de la red de sensores en control de roedores o agricultura de invernaderos, descritas en siguientes capítulos de este documento. No es tanta la diferencia entre RF24 y un transceptor LoRa, pero si podemos observar que el coste económico de un dispositivo LoRa es superior al coste de RF24, donde en muchos proyectos con un gran número de nodos, puede suponer un incremento inasumible, sin embargo ofrece un potencial muy destacado en el ámbito de redes de sensores en agricultura, por su larga distancia de comunicaciones y bajo consumo energético, siendo la mejor tecnología para sensorizado y controladores de riego en agricultura exterior extensiva.

Dentro de las redes de sensores es importante destacar como algunas variables agroclimáticas afectan de manera negativa al funcionamiento de sistemas de riego en cultivos extensivos. (Sanchez et al., 2011) Nos presenta un desarrollo de un software de cálculo de afección del viento en el sistema de riego por aspersión, de esta manera podemos observar las pérdidas de CU en diferentes áreas regadas. Algunas simulaciones, como nos muestra la Figura 2.1 donde se dibuja la simulación realizada con el software de cálculo de

uniformidades de riego WinSpace para el cálculo del Coeficiente de Uniformidad recogido con pluviómetros en diferentes velocidades de viento. El estudio se basa en un riego por aspersión con una distribución en tresbolillo.

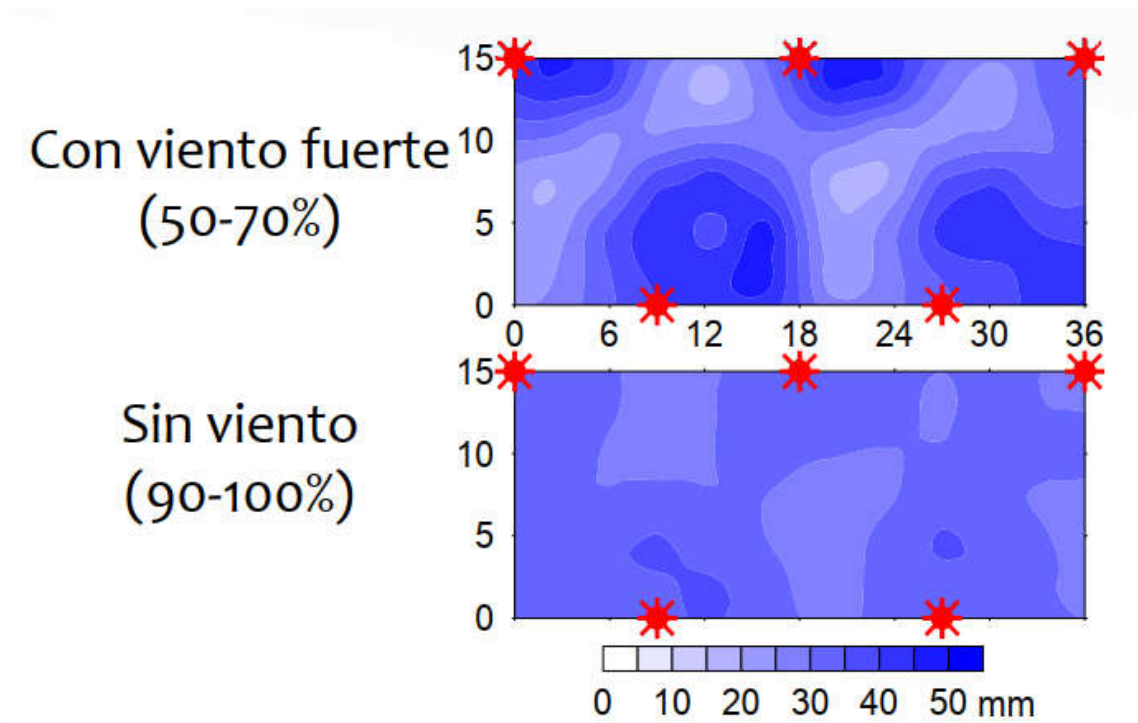


Figura 2.1. Simulación realizada con Winspace, obtención de CU de riego por aspersión, Fuente Csic –AulaDei.

Existen otras variables agroclimáticas importantes como temperatura, radiación solar y humedad ambiental o de suelo.

La aplicación de este método permite indicarle al programador de riego el momento de inicio de riego y la cantidad de agua que hay que aportar, o bien indicándole el tiempo que debe regar o el volumen de agua necesario para cada sector.

Se trata del método más utilizado, ya que permite trabajar con datos muy variados y dependiendo de la disponibilidad y calidad de los datos, utilizar un número mayor o menor de datos. A partir de la información disponible se pueden hacer balances diarios con datos climatológicos del día anterior y por otro lado, programación mensual, basada en datos medios de series climatológicas. Las primeras se aplican a parcelas individuales de agricultores, mientras que las segundas son aplicables a comunidades de regantes o agrupaciones de agricultores.

La información principal necesaria para la programación es sobre clima, suelo, cultivos y sistemas de riego. A partir de un balance hídrico se plantean las necesidades de riego, siendo:

- Nn: Necesidades netas de riego.
- Pe: precipitación efectiva.
- Ge: ascensión capilar.
- ET: evapotranspiración del cultivo.
- Pp: percolación profunda.
- Es: escorrentía superficial.
- Dw: stock de agua en el suelo.

Sensores de humedad

El potencial matricial se mide mediante tensiómetros. Este es el instrumento más utilizado para programar el riego. Cuando el tensiómetro marca - 0,8 a -1 bar indica que el agua es fácilmente asimilable por la planta y está próxima al 50%. Para suelos arenosos llega hasta al 70%. Cuando se alcanzan estos valores se puede tener una idea aproximada de la cantidad de agua fácilmente disponible. Requiere un mantenimiento y manejo riguroso y tiene un bajo coste. Como podemos ver en la Figura 2.2, la toma de datos es manual.



Figura 2.2.Sonda de humedad, medición de humedad manual.

Los más conocidos son las sondas watermark, que miden de forma indirecta el potencial matricial, por lo que requieren calibración. Se basa en medir la resistencia eléctrica entre dos electros que se encuentran en el interior de un bloque de yeso, nylon o fibra de vidrio, enterrado en el suelo. Son baratos y fáciles de instalar. No están indicados para suelos con alta porosidad y la temperatura del suelo interfiere en la medida en un 2% por cada grado.

En la siguiente Figura 2.3 tenemos la sonda watermark conectada con el módulo de radio, por lo que la información se captura de forma autónoma cada 15 minutos.



Figura 2.3. Sonda de humedad conectada al módulo de radio 868MHz.

Reflectometría en el Dominio de Frecuencias (FDR).

Usando una técnica de reflectometría de dominio de frecuencias conocida como capacitancia, las sondas FDR miden la humedad del suelo mediante la respuesta a cambios en la constante dieléctrica del medio.

Uno de los equipos más utilizados que emplea esta técnica es el Enviroscan, ver en Figura 2.4. Está compuesto por varias sondas conectadas por cable a un datalogger donde se almacenen las lecturas. Cada sonda está compuesta de varios sensores colocados a distintas profundidades dentro de un tubo de PVC. El Enviroscan, proporciona un gráfico que registra la evolución del contenido de agua en el suelo entre dos límites, permitiendo tomar la

decisión de cuándo regar y cuánta agua aplicar. Permite realizar medidas continuas del contenido de agua en el suelo a distintas profundidades. Su uso se está extendiendo en fincas de frutales y hortalizas al aire libre, sin embargo presenta un alto coste. Su empleo es independiente al programador de riego utilizado.



Figura 2.4. Sonda de humedad Enviroscan.

Una estación meteorológica se utiliza para medir y registrar regularmente diversos valores meteorológicos. Para el campo se puede utilizar estos valores para planificar los riegos futuros ya que se puede medir la humedad del suelo para saber si se debe o no regar en esos momentos el cultivo. (Chebbi et al. 2009) nos muestra un trabajo orientado diseño de un nodo personalizado de hardware y software de estación meteorológica de bajo costo (nodo WS) para la programación de riego en el contexto de los países en desarrollo. Estos datos de sensores se transmiten al DSS (Sistema de soporte a la decisión) en una infraestructura de redes de sensores inalámbricos, teniendo en cuenta todas las particularidades de tales restricciones de entornos. Los factores de coste, las condiciones de

campo, el conocimiento de los agricultores o la disponibilidad de dispositivos son los más importantes.

La mayoría de las estaciones meteorológicas tienen los siguientes elementos:

- Barómetro. Mide la presión atmosférica.
- Pluviómetro. Mide la cantidad de agua por metro cuadrado.
- Psicómetro o higrómetro. Mide la humedad relativa del aire (vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera) y la temperatura del punto de rocío.
- Heliógrafo. Mide las horas de luz solar.
- Piranómetro. Mide la radiación solar.
- Indica la dirección del viento.
- Anemómetro. Mide la velocidad del viento.
- Termómetro. Mide la temperatura a distintas horas del día.

La mayoría de las estaciones meteorológicas se pueden automatizar para recibir los datos sin tener que ir físicamente al lugar donde está ubicada, obteniendo así los datos en tiempo real y evitando desplazamientos innecesarios. Sólo en momentos puntuales habría que acercarse hasta el punto donde está instalada para realizar los mantenimientos o en el caso de sensores.

El objetivo fundamental de una estación meteorológica es el registro de valores de los elementos que constituyen la materia prima de los estudios sobre el clima. En secciones siguientes explicaremos como conectamos una estación comercial usada en este trabajo a nuestro servidor, de esta forma obtenemos directamente los datos, sin pasar por servidores externos, habitualmente, previo pago.

En un contexto similar con el uso de estas herramientas, (Stefanos et al. 2015) han propuesto una técnica de control automatizado del riego que utiliza WSN medio ambiente. El método propuesto utiliza el valor umbral del contenido de humedad del suelo y controla el riego de la parcela, sin tener en cuenta las condiciones climáticas del lugar para evaluar las necesidades de riego de los cultivos. En nuestro sistema híbrido de apoyo a la toma de

decisiones propuesto, se utiliza la mejor técnica de optimización para predecir las necesidades de riego.

La variación horaria de la humedad del suelo y los valores pronosticados se suministran a un modelo meteorológico basado en lógica difusa, para generar notificaciones de riego dependiendo del estado del tiempo.

2.4 Análisis de tecnologías relevantes de monitorización aérea

Desde el lanzamiento de las nuevas tecnologías aéreas no tripuladas, por el año 2012, algunos investigadores vieron el potencial de nuevos desarrollos dedicados a la agricultura, es el caso (Zhang et al., 2010) del trabajo en obtener las imágenes a través de plataformas de detección en remoto a baja altitud, o pequeños sistemas aéreos no tripulados (UAS). Estos sistemas se muestran como un potencial y una alternativa dado su bajo costo de operación en monitorizado ambiental, alta resolución espacial y temporal, y su alta flexibilidad en la adquisición de imágenes. Anteriormente y debido al alto coste de imágenes satelitales, se trabajaba en la línea de robots terrestres con cámaras incorporadas (Slaughter et al., 2008), esta línea actualmente no está descartada ya que se añade el reconocimiento y posicionamiento a través de imágenes y con brazos manipuladores para realizar operaciones.

Recientemente, José María Peña (Peña et al., 2011) presentó un análisis de Imágenes de vehículos aéreos no tripulados (UAV) enfocadas en el análisis de imágenes de objetos (OBIA). El procedimiento OBIA combina varias características contextuales y basadas en objetos que discriminan las filas de maíz a las de las malas hierbas (Kang et al., 1994). El sistema crea un mapa de infestación de malezas en una estructura de cuadrícula que permite fertilizar de forma segura y disminuir la contaminación ambiental. Los drones ahora se están incluyendo en áreas rurales para video-vigilancia.

Bart compuso un trabajo de (Remes et al. 2010) usando el AR Drone con GPS para permitir volar de forma autónoma en un espacio al aire libre a través de un plan de vuelo. En la línea de agricultura existen otros trabajos de georreferenciación (Christensen et al., 2009) en detección y posicionamiento de malas hierbas por un lado y también en el procesamiento de imágenes para analizar el estado de las plantas (Lloret et al., 2011). Dentro de la línea de investigación en video-transmisión, cabe destacar los trabajos relevantes de QoS, (Chalouf et al., 2011) en la red de comunicaciones (Canales et al., 2009). Nuestra experiencia en la transferencia de vídeo comprimido proviene del proyecto HDViper (HDViper, 2016), que nos

ha ayudado a generar comunicaciones más rápidas con un aumento de transferencia de datos en canales de comunicaciones de videostreaming.

(Remi, 2013) Los autores presentan un marco para la exploración visual de las áreas de desastre en misiones de rescate. Su objetivo es ayudar a los equipos de rescate a localizar humanos y apoyo para recuperar personas.

Las imágenes capturadas se usan para estimar los parámetros usualmente medidos por sensores. Dependiendo de la calidad de la video-secuencia y los algoritmos utilizados, el sistema puede clasificar vehículos, cambios de trazado de carril o incluso reconocimiento de placas de matrícula. El sistema generalmente requiere solo una cámara por dispositivo.

En la imagen aérea, los datos procedentes del sensor de datos de tierra y del entorno deben ser segmentados y transformados en objetos. La tecnología multiespectral en las cámaras se usa para monitorizar el índice de vegetación por bandas de reflexión procesadas según la fórmula de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Otra contribución (Koger et al. 2003) en el uso de imágenes en el control de malas hierbas donde la función discriminante puede probar datos de percepción de una serie de pertinentes bandas espectrales a través de una cámara hiperespectral, esta puede contener más de 2000 bandas espectrales disponibles para discriminar los cultivos infestados de malezas cultivo.

La discriminación de áreas de soja infestada con maleza y áreas libres de maleza fueron generadas a través del uso de las bandas espectrales verde, roja y NIR y NDVI que se utilizaron en el desarrollo de modelos lineales discriminantes.

Para cada experimento y fecha de recolección de imágenes, la capacidad promedio en general para discriminar la soja infestada con maleza de soja libre de malezas fue de 90% o más, independientemente del experimento, la etapa de crecimiento de la soja y del dosel de la hierba.

La consistencia en la clasificación correcta en las diferentes fechas de recolección de imágenes fue importante porque la etapa de crecimiento de la soja al final de la temporada no influyó para el resultado.

Otros trabajos intensivos en agricultura también suceden en interior, como es el cultivo en invernaderos. Destacamos la investigación publicada (Europapress news, 2018) que

describe las mejoras en los cultivos que ha generado un alto crecimiento en el sistema de cultivo con invernaderos en torno a un 10,5% en los últimos cuatro años. Este aumento progresivo de la superficie de los invernaderos en los últimos años se ha reflejado en el volumen de producción hortofrutícola que ha crecido en un 20% en las últimas temporadas. En la temporada 2010/2011, la provincia de Almería (España) cosechó 2,87 toneladas en 2011-2012, produjo algo más de tres millones de toneladas; en 2012/2013, Almería recogió 3,13 millones de toneladas y en 2013/2014, según los datos facilitados por la delegación del gobierno, esta es la provincia española que generó poco más de 3,4 millones de toneladas. Estos datos nos muestran cómo son los métodos agrícolas para aumentar la cantidad y la calidad de los productos. Por lo tanto, necesitamos encontrar nuevos mecanismos para optimizar la producción a fin de hacer frente a este aumento.

Este tipo de producción agrícola necesita tecnología de última generación y es inevitable el uso de redes de sensores para controlar todos los puntos sectorizados del invernadero (Yeng et al., 2016).

La monitorización aérea de cultivos se ha convertido en una fuente de datos muy importante. Imágenes tomadas por satélite o mediante drones, ver Figura 2.5, nos permiten tener una imagen amplia del estado del cultivo. Estos datos han de ser capaces de ser digeridos por los sistemas actuadores, sean controladores de riego o maquinaria de trabajo a través de protocolos de comunicaciones entre estos dispositivos. (Karim et al., 2018).



Figura 2.5. Dron con cámara NGB para análisis de índices de Vegetación en el campo de ensayo.

2.5 Trabajos relevantes en minería de datos y redes neuronales

Motivados por nuestra solución tecnológica para las altas soluciones demandadas por los agricultores que compran maquinaria o sistemas de alta tecnología, pero no son expertos técnicos para usarla, cada maquinaria o sistema tiene un controlador privado y no permite la comunicación entre tecnologías, por esta razón es necesario automatizar varios procesos de integración de datos en una única plataforma amigable para el usuario.

Una de las nuevas herramientas con que cuenta el desarrollo de productos electrónicos, es la Inteligencia Artificial (IA), a través de ella, se implementan una serie de algoritmos que permiten realizar prototipos, llamados “inteligentes”, pues usan procesos de aprendizaje autónomos y adaptables, generando avances tecnológicos cada vez más versátiles.

Por ejemplo, (Labbe´ et al., 2000) modelaron un proceso de decisiones de riego para la asignación limitada de agua, un patrón y desafío muy común por el cambio climático (Fry et al. 2005) y la programación de riego para el maíz. El modelo consistía en reglas de gestión del riego para diferentes tareas relacionadas con el riego que se derivaron de encuestas a agricultores y se basaron en la monitorización de sus prácticas de riego durante un período de 2 años. Este modelo fue incorporado en un motor de simulador que, dado el contexto de la decisión, fue capaz de predecir los programas de riego y los volúmenes de riego con un error medio que oscila entre 6 y 13 mm para diferentes agricultores, lo que refleja un error por debajo del 6,7%. En lugar de desarrollar manualmente un modelo que capture la decisión del agricultor utilizando encuestas y observaciones, en este estudio se utilizó el LD para capturar el proceso de decisión del agrónomo en el riego (Andriyas et al., 2013).

El sistema presentado en este apartado permite analizar tecnologías por las cuales se puede realizar la tarea a través de una cadena de herramientas gráficas basadas en web, que se basan en el software BRMS estándar superior y formatos abiertos. La investigación de la generación de "reglas comerciales" a partir de los resultados de la minería de datos es un tema de investigación actual, aunque no muy expuesto. Según nuestro conocimiento, la única solución de software disponible públicamente para el aprendizaje de reglas de negocios son las reglas de aprendizaje. En un proceso empresarial, por ejemplo, un conjunto

de tareas relacionadas lógicamente puede ser para lograr un resultado de negocio definido (Davenport et al., 1990). De acuerdo con el paradigma SOA, el software debe ser como servicios cooperativos y fáciles de descubrir, sin embargo, hay varios sistemas experimentales desarrollados en la comunidad de aprendizaje automático con funcionalidades relacionadas. MIME Framework (Goethals et al. 2011) es una aplicación que proporciona extracción de reglas interactivas y filtradas de reglas descubiertas. El sistema Drools, utilizado en nuestra solución, combina restricciones definidas por el usuario en el espacio de búsqueda con minería interactiva. La naturaleza interactiva de los sistemas MIME y Drools puede ayudar a abordar la cantidad excesiva de reglas que normalmente se encuentran en el resultado del aprendizaje de reglas. Además, se demuestra que el algoritmo C4.5 y sus metodologías de poda de las ramas pueden reducir el número de reglas emitidas por Drools de forma significativa, sin afectar negativamente a la calidad de la clase. Dentro de una aplicación web, el usuario puede iniciar múltiples funcionalidades de la gestión de la parcela, exportar los resultados seleccionados y aplicar las reglas en los datos de captura en modo automático. El algoritmo de aprendizaje de reglas usado en Drools para construir clasificadores a partir de reglas de asociación se evalúa y describe en detalle en las siguientes secciones. La arquitectura de la Unidad IoT está construida a partir de un modelo de red neuronal (MLN) similar a un hombre y su modelo modificado. La IoT ubicua se refiere a la IoT global o la integración de múltiples unidades IoT con, y su arquitectura emplea el modelo SOF (Social Organization Framework). Los modelos para Future IoT no solo son útiles para interpretar la relación entre IoT y el mundo de la realidad, sino que también son beneficiosos para la implementación de IoT en su forma actual.

Los diferentes criterios (Vazquez et al., 2010) para diseñar arquitecturas para soluciones de Internet de las cosas junto con ejemplos ilustrativos de prototipos que implementan estos enfoques (Misra et al., 2018) propuso un esquema de detección comunitaria en un Internet de las cosas y una arquitectura de red social. El documento toma un enfoque de minería de gráficos para resolver el problema en redes complejas de IoT y redes sociales. Existe una cantidad de publicaciones de investigación sobre detección comunitaria en SN; sin embargo, ningún trabajo específicamente sobre arquitectura IoT y redes sociales integrada aborda este problema.

El objetivo del trabajo (Atzori et al., 2014) fue analizar las principales oportunidades que surgen de la integración de conceptos de redes sociales en el Internet de las cosas, presentar

las principales actividades de investigación en curso y señalar los desafíos técnicos más críticos.

2.6 Trabajos relevantes en plataformas de gestión agrícola

2.6.1 Análisis de plataformas en agricultura de precisión existentes

1. Tipo de tecnologías similares a la temática de la tesis.

El abanico de tecnologías orientadas al sector agrícola es muy amplio, de momento nos centramos desde la captación de datos a la toma de decisiones en el manejo del campo, quedando fuera el tema de control de maquinaria y guiado de maquinaria con autocorrección de posicionamiento.

Para nuestra investigación existen tres pilares básicos para tener un correcto tratamiento de los datos. En primer lugar necesitamos dispositivos capaces de tomar datos del cultivo, climatología y funcionamiento del sistema de riego. Todos estos grupos de dispositivos tienen que tener implementada una comunicación para enviar o interactuar entre usuario-dispositivo. Siendo la investigación centrada en ambientes rurales, la cadencia de tomas de energía eléctrica y cobertura de comunicaciones estándar es relativamente mínima. La investigación se centra en el valor de trabajar con dispositivos de consumos energéticos mínimos y comunicaciones con rangos muy amplios, de esta forma, y no de manera fácil, se corrige el mayor problema al que nos encontramos en este ambiente de trabajo.

Millones de datos son almacenados. En el punto 5 nos centramos en la optimización de reglas de negocio que filtran y procesan los datos obtenidos para predecir posibles errores u obtener mensajes de alarma sobre diferentes tipología ambientales o de funcionamiento de sistema que ocurren en ese momento o se pronosticas para fechas cercanas.

Todos los datos procesados necesitan de una plataforma que difundan de manera legible para el agricultor. La conexión entre agricultores de manera social crea una red de conocimiento e intercambio de opiniones y datos que ayudaran a mejorar sus procesos de producción.

PLATEM PA se caracteriza por ser una de las plataformas multimedia de agricultura de precisión más completas existentes actualmente y para demostrar el valor añadido que

aporta esta investigación, a continuación se muestra una comparativa de tecnologías similares existentes en la Red de agricultores Europeos.

La estancia internacional se realiza en la Universidad de Agrónomos de Grecia en un proyecto, de referencia europea, que sigue estas características del trabajo de la tesis, llamado SmartAkis (SmartAkis, 2017), por lo que el conocimiento de las últimas tecnologías y nuevas aportaciones científicas se estudian y difunden datos en todo momento a través de todos los científicos de países colaboradores.

El estudio y la comparativa se realizan con las siguientes aportaciones científicas y proyectos desarrollados en Europa.

APOLLO (Apollo Project, 2016) pretende llevar los beneficios de la agricultura de precisión a los agricultores a través de servicios de información asequibles, haciendo un amplio uso de datos de observación de la Tierra, libres y abiertos, como las previstas por el programa de monitorización (Copernicus, 2017) de la UE. Estos servicios ayudarán a los agricultores a tomar mejores decisiones mediante el control del crecimiento y estado de los cultivos, proporcionando asesoramiento sobre cuándo regar y labrar sus parcelas y estimando la producción de su cosecha. En última instancia, estas intervenciones deben conducir a un menor uso de insumos agrícolas y por lo tanto a un incremento de la rentabilidad y la competitividad.

APOLLO es un proyecto de investigación y desarrollo co-financiado en el marco del programa Horizonte 2020, de la Unión Europea, bajo una clase especial de actividades conocidas como Acciones de Innovación. El Proyecto APOLLO reúne a nueve socios de cinco países europeos (Grecia, España, Austria, Bélgica y Serbia), y combina la experiencia en la modelización agronómica, servicios agrícolas, la ciencia del suelo, la teledetección, la Observación de la Tierra y soluciones/desarrollo de plataformas basadas en Tecnologías de la Información. El consorcio tiene el orgullo de incluir dos asociaciones de agricultores – la Cooperativa Agrícola de Pella en Grecia, y la Asociación de Agricultores del Municipio de Ruma en Serbia, que serán quienes pilotarán y testearán las primeras versiones de los servicios. Una tercera prueba piloto se llevará a cabo en España.

Smart AKIS (Garriz et al., 2017) es una red europea que difunde tecnologías y soluciones de Smart Farming (Agricultura Inteligente) entre los agricultores europeos y que acerca a profesionales de la agricultura, la industria y la investigación para la identificación y

desarrollo conjunto de soluciones de Smart Farming en respuesta a las necesidades de los agricultores.

La red Smart AKIS (Smart-akis, 2017) desarrolla y disemina un inventario de soluciones de Smart Farming seleccionadas de entre el conjunto de soluciones comerciales disponibles en el mercado y de resultados de investigación en este campo, adecuadas a las necesidades de los agricultores. Promoverá espacios de colaboración entre agricultores, servicios de extensión y consultoría agrícola, investigadores y empresas proveedoras de soluciones de Smart Farming, para la preparación de proyectos e iniciativas de innovación para el desarrollo o transferencia de soluciones de Smart Farming en respuesta a las necesidades e intereses de los usuarios finales. Este enfoque tiene lugar a nivel regional, en 7 Focos de Innovación localizados en Alemania, España, Francia, Grecia, Holanda, Reino Unido y Serbia, así como a nivel europeo a través de la Plataforma Comunitaria de Smart Farming, que difundirá los resultados de la red y facilitará la interacción de los diferentes grupos objetivo. La compatibilidad de esta plataforma online con el Punto de Contacto de la EIP-AGRI asegurará el acceso de los resultados de la Red a largo plazo.

SIGAgrosesor (Armesto et al., 2017) El principal objetivo del proyecto sigAGROsesor es el desarrollo y puesta a punto de herramientas de apoyo a la decisión para el sector agrícola, que permitan crear una plataforma web de servicios on-line para los agricultores, que de este modo podrán llevar a cabo sus actividades de un modo más eficiente, eficaz y competitivo, pero desde la base de la sostenibilidad ambiental y social.

La plataforma de servicios on-line, SigAgrosesor (Agrosesor, 2017) integrará tres pilares en los que se basa este sistema experto de ayuda a la decisión:

- Aplicación de nuevas tecnologías SIG en la gestión de la información georreferenciada: poniendo en uso la variabilidad de suelo, clima, estado de los cultivos, alertas fitosanitarias y riesgos bióticos y abióticos, incorporándolos en la toma de decisiones.
- Utilización de Herramientas de Ayuda a la Decisión vía web, para sistematizar los procesos de toma de decisiones.
- Utilización Trazabilidad Georreferenciada, como herramienta para administrar el historial de las Unidades de Gestión de Cultivo.

Los mapas desarrollados y utilizados en el proyecto permitirán demostrar la capacidad de aprovechar todos los conocimientos técnicos disponibles existentes en las organizaciones participantes. La incorporación de mapas climáticos, meteorológicos y de predicciones meteorológicas permitirá tener en consideración variables para la producción agrícola y el efecto medioambiental de la misma. Asimismo, se incorporarán indicadores de balance de N, P, K y C, desarrollándose el cálculo de la Huella de Carbono a nivel de parcela agrícola.

El carácter innovador viene dado por el desarrollo avanzado de un sistema de Herramientas de Ayuda a la Decisión en cultivos extensivos dirigido a agricultores. Con acceso a través de la Web y con gestión SIG de la información. Este sistema permite facilitar a nivel de Unidad de Gestión del Cultivo (UGC), toda la información técnica e incorporarla a las reglas de decisión de las herramientas, obteniéndose consejos precisos de manejo (variedades, fertilización, riego, tratamiento de plagas) en cultivos extensivos. Al mismo tiempo proporcionará indicadores de sostenibilidad asociados a las parcelas de forma que el agricultor pueda evaluar el impacto ambiental, económico y social de las prácticas de manejo propuestas por la herramienta. El cálculo de Huella de Carbono (Ntinas et al., 2017) en parcelas agrícolas a través de un Sistema de Información Geográfica y su geodatabase es un aspecto completamente innovador en el proyecto.

Agrivi (Agrivi, 2017) es un software para manejo de cultivos que permite planificar, monitorizar y analizar todas las actividades de los cultivos, de manera fácil. Además, se puede hacer seguimiento a las cantidades de entrada, costos y horas de trabajo para cada actividad. Con procesos basados en las mejores prácticas para más de 100 cultivos.

Se puede obtener un resumen instantáneo del pronóstico del clima para 7 días o el historial de 3 años para cada campo. Los algoritmos avanzados para detección de plagas o enfermedades, alertan a los agricultores si existe un riesgo de plaga o enfermedades en los campos. La protección tardía afecta el 37% de las cosechas cada año. Es posible aplicar protección oportuna con la ayuda de la detección avanzada de riesgo de plagas y también mantener los registros financieros y documentos del cultivo en un solo lugar. Realizar un seguimiento a las ventas, gastos e inversiones de capital y asignarlas a la producción de cada cultivo. Evitar retraso en los pagos, con las alarmas de pago que recuerdan cuándo se esperan los pagos entrantes y salientes.

Smart water-saving irrigation system in precision agriculture based on wireless sensor network. Sistema de riego inteligente que ahorra agua en la agricultura de precisión basado en una red de sensores inalámbricos.

Xiao Kehui, (Kehui et al., 2010) ha publicado un trabajo científico basado en un programador de riego inteligente con conectividad sensorial a través de una comunicación ISM 433MHz (Hellan et al., 2016). La investigación se centra en las aplicaciones en agricultura de precisión, usando un sensor de humedad inalámbrico que se configura a una red de sensores inalámbricos para monitorizar el contenido de humedad y la cantidad de agua del suelo del campo. Se diseñó la arquitectura de la red de sensores inalámbricos y el sistema inteligente en base a la red de controladores de riego muestreados. La prueba de riego se llevó a cabo mediante datos de humedad en tiempo real y datos de expertos. Se demostró que el sistema aplicable y factible para aplicar en el proceso de cultivo del arroz y ser una buena exploración en el campo de la agricultura de precisión y recursos hídricos sostenibles.

Management and control applications in Agriculture domain via a Future Internet Business to-Business platform. Aplicaciones de gestión y control en el ámbito de la agricultura a través de una plataforma de Internet del futuro de empresa a empresa.

Los siguientes autores (Barmounakis et al. 2015) presentan un estudio de la administración y control inteligente en la agricultura. Esto puede evolucionar en los próximos años a través de los desarrollos que se están desarrollando dentro del concepto "Internet del futuro". Este artículo presenta una nueva colaboración entre empresas desde la perspectiva del sector agroalimentario, que tiene como objetivo facilitar la colaboración de numerosas partes interesadas pertenecientes a dominios empresariales asociados. Los sistemas de colaboración B2B (Business to Business) contemporáneos ya colocan los requisitos para el despliegue rápido de aplicaciones en la nube, capaz de integrar diversos sistemas, así como desarrollar de manera rápida nuevos servicios y sistemas, que serán capaces de comunicarse instantáneamente y proporcionar soluciones completas e información de trazabilidad, "farm-to-fork" (FarmtoFork, 2017), para agricultores, proveedores agroalimentarios y de servicios logísticos, empresas TIC, productores finales, etc. Este documento conceptual describe cómo se abordan estos requisitos a través del espacio FI B2B centrándose en los escenarios de Gestión y Control en procesos agrícolas.

2.6.2 Estudio de otras Plataformas tecnologías en agricultura

Características principales

Tecnología	Objetivo Clave	Módulo de procesamiento	Módulo de alarma y notificación	Datos de Almacenamiento	Protocolo de comunicaciones Protocolo abierto o privado	Publicaciones en redes sociales y datos abiertos
APOLLO	Control de crecimiento de cosecha y condiciones	SI Módulo de estimación VRI	SI	SI Monitor de control de crecimiento Estimación de cosecha	NO	NO
SMART AKIS	Información de almacenamiento	NO	NO	SI Plataforma flexible y adaptiva de tecnologías Smart farming	NO	SI
SIG AGRO ASESOR	Administrador de cosechas en SIG	SI módulos VRF & VRI	SI	SI	NO	SI
Agrivi	Monitor de tareas y análisis de actividades en cultivos	SI Estadio de cultivos & monitor de alerta de plagas	SI	SI Datos de cosecha y de gastos	NO	NO
Smart Water-Saving	Programación Inteligente de riego con sensores conectados	NO	NO	SI Datos de adquisición de humedad de suelo	SI Protocolo Privado	NO

Tabla 2.2. Comparativa de SFT

2.7 Conclusiones

Tras el estudio de las diferentes tecnologías examinadas podemos llegar a la conclusión de que la integración de todos los puntos que son necesarios para obtener un sistema lo más preciso posible en agricultura de precisión se hace difícil si no hay un protocolo estándar que nos permita hablar entre ellas. Nuestra propuesta PLATEM PA puede ser un referente en la integración y modelización de una conectividad entre muchas tecnologías aplicadas al sector primario, destacando el intercambio de datos entre usuarios y creando una comunidad dentro del sector agrícola con información y comentarios entre ellos, con un control desde el sistema base inteligente hasta la publicación de estadísticas a determinados perfiles de usuario.

3.Desarrollo de nodos de control de Riego

3.1 Introducción

Dentro de la plataforma multimedia es necesario implementar unos dispositivos capaces de operar con los sistemas principales en regadío, que son programadores de riego para el control del agua, fertilizante, etc.; y sensores de adquisición de datos en contacto con el cultivo o área a analizar. Para entender mejor la plataforma, comenzaremos con el estudio y desarrollo de estos dispositivos como base fundamental del sistema, posteriormente subiremos de capa en la gestión de datos, procesamiento de ellos y visualización, así como divulgación entre contactos o usuarios.

Los programadores de riego te permiten establecer la hora, tiempo y frecuencia de riego manteniendo una pauta de riego de arranque y cierre de válvulas para realizar un riego de la parcela de manera automática.

En el mercado existe una gama amplia de programadores y según sus características técnicas se pueden clasificar en los siguientes tipos.

- Programadores, tipo grifo.
- Programadores 24vAC con salida a solenoides AC.
- Programadores de “pila” con salidas a solenoides “latch”.
- Programador DC con salidas a solenoides DC.
- Programador multicable o monocable a 24 vAC.
- Módulos dispersos a Latch (Remotas).

Para una buena elección de tipo de sistema según el diseño del sistema de riego que se pretenda automatizar se selecciona el programador adecuado, siendo necesario prever una posible ampliación de la instalación en relación a los parámetros a controlar. Las características principales del programador a tener presentes son: número de sectores; número de programaciones, duración del ciclo de riego, control del bombeo, detección de averías, control de sondas externas y tensión de alimentación. En el mercado nos encontramos con una amplia gama de modelos de programadores que permiten el control desde un único sector hasta una serie ilimitada de ellos, de igual modo en el número de programaciones (independientes o secuenciales) existen multitud de combinaciones.

Las características de cada instalación y los elementos a controlar, nos dirán el modelo adecuado de programador a elegir.

Los programadores de riego son instrumentos que permiten controlar la apertura o cierre de sectores o válvulas de riego según la programación establecida por el usuario. Las características de cada instalación y los elementos a controlar, nos dirán el modelo adecuado de programador a elegir. Elementos a controlar como electroválvulas de riego, las salidas de los programadores hacia las electroválvulas utilizadas en los sectores o unidades de riego, pueden ser de tres tipos:

- 24Vac: No tienen polaridad. Las electroválvulas se conectan entre la salida correspondiente y el común de salidas. La corriente eléctrica excita la bobina y hace que el pistón sea atraído por la atracción magnética ejercida. Una vez que se deja de emitir esa corriente, el campo magnético desaparece y un muelle interior expulsa el pistón hacia afuera.
- 12Vdc: Hay polaridad y, en este caso, el común de las salidas es el positivo. EL funcionamiento es similar al de 24Vac.
- LATCH: Hay polaridad. Este tipo de solenoide necesita dos cables de conexión: positivo y común. Antiguamente estos solenoides eran de 3 cables, donde se mandaba el pulso por el cable blanco o rojo dependiendo si de abría o cerraba el solenoide, todavía existen fabricantes que los venden ya que existen muchas instalaciones de más de 20 años sin renovar. Actualmente la circuitería del programador es capaz de invertir la polaridad del pulso.

Cabe destacar que en el caso del modelo *latch*, los solenoides deben estar muy próximos al programador, pues este solenoide funciona con impulsos de 200 milisegundos para cada maniobra (abrir/cerrar). Esta distancia no debe ser superior a varias decenas de metros, pues el cable eléctrico suaviza estos impulsos haciendo que no llegue al solenoide el impulso con la calidad necesaria. El funcionamiento es simple a través de un campo magnético, el cual es generado por una bobina interna y un pistón de acero que atraído por el campo magnético. Cuando el campo magnético no existe, el solenoide está apagado, el muelle interior ejerce una fuerza hacia afuera del pistón. En la siguiente Figura 3.1 se muestra el interior de un solenoide tipo Latch o cerrojo.

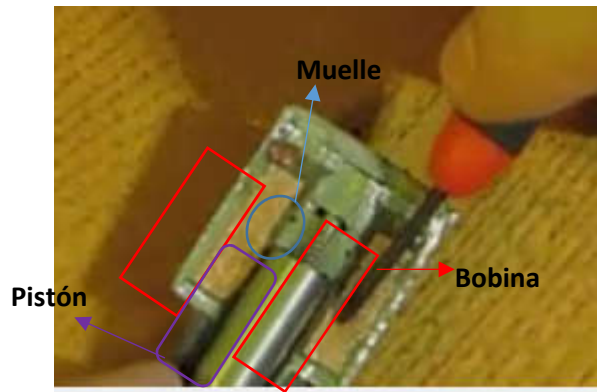


Figura 3.1. Estructura de solenoide Latch.

De las diferentes técnicas de pilotaje de riego, en nuestro caso nos centramos en la tecnología de cerrojo o comúnmente llama “*latch*” ya que el proyecto está orientado a bajo consumo energético y es la tecnología actualmente disponible que menos recursos energéticos necesita por lo que es la más habitual en el sector agrícola y principalmente en instalaciones de riego en fincas que carecen de toma eléctrica.

3.2 Estructura del controlador de riego

El objetivo de PLATEM PA es construir una plataforma para ofrecer servicios a los agricultores a través de multimedia comunicación. La propuesta es adaptable y ofrece información sobre el clima de diferentes lugares, condiciones de la tierra y cultivo y requerimientos de agua necesarios para mejorar la eficiencia de la parcela. Proponemos incluir el potencial de redes malladas (Yiltas et al. 2016) de sensores en un sistema de riego inteligente, lo que llamamos manejo mecánico-hidráulico sensorial, para adaptar el calendario y dosis de riego para tener un mejor sistema de decisión agronómica, con lo que se consigue mejorar la eficiencia y ahorrar recursos. Además, se tienen en cuenta los sistemas inteligentes de asignación de canales para evitar interferencias entre ellos. Los controladores de riego consisten en una red de malla que opera en la banda de frecuencia ISM de 868 MHz como LoRa, o Sigfox (Sigfox, 2016). El coordinador o Middleware es una implementación que es capaz de crear una transmisión dinámica basada en multi-rutas de salto entre el punto de acceso del coordinador y varios controladores de riego. Las entradas del sensor se pueden usar también para recopilar datos ambientales de las estaciones meteorológicas. Sondas de sensores recopilan datos de la humedad del suelo y la funcionalidad del sistema tal como sensores de presión y flujo. La Figura 3.2 muestra un prototipo de controlador de riego para solenoides *latch* con un bus serie/paralelo de 8 estaciones + Válvula maestra. También incluye el sensor de riego eventos (presión, flujo y pH) y datos meteorológicos. Módulos para

la detección de eventos y anomalías puede ser agregado fácilmente ya que cuenta con múltiples entradas GPIO.

Desde los inicios del periodo de investigación, nos hemos centrado en el desarrollo de dispositivos electrónicos capaces de ser interconectados dentro del ámbito de sistemas de riego.

Dentro del periodo de estudios del Máster, se desarrolló una placa electrónica con un bus serie/paralelo para la gestión de 8 válvulas de riego tipo *latch*. El bus era gestionado a través del envío de datos binarios con ciclos de reloj, para establecer la válvula seleccionada, esta placa es un diseño, mostrada en Figuras 3.2, de expansión para Raspberry Pi donde el core y comunicaciones están en la propia Raspberry Pi y la placa auxiliar controla el pilotaje Eléctrico/hidráulico, estas placas se conectan a través de una faja de pines al conector estándar GPIO de la RPi, ver Figura 3.3. La selección del número de salida se realiza a través de un conversor serie/paralelo y una señal de reloj. Esta placa es capaz de generar un pulso de 12 voltios con una curva de descarga de condensadores de 50 milisegundos, de esta manera se adapta a los requisitos de la mayoría de fabricantes de solenoides de riego que comparten esta especificación.

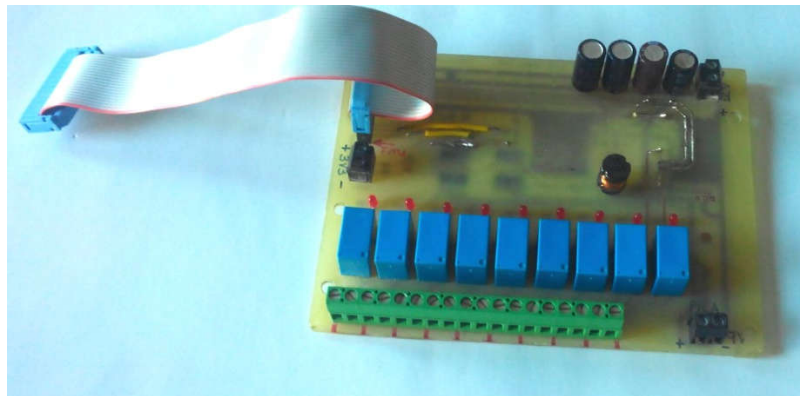


Figura 3.2 .Prototipo de controlador de riego Latch para 8 salidas a sectores y una maestra.

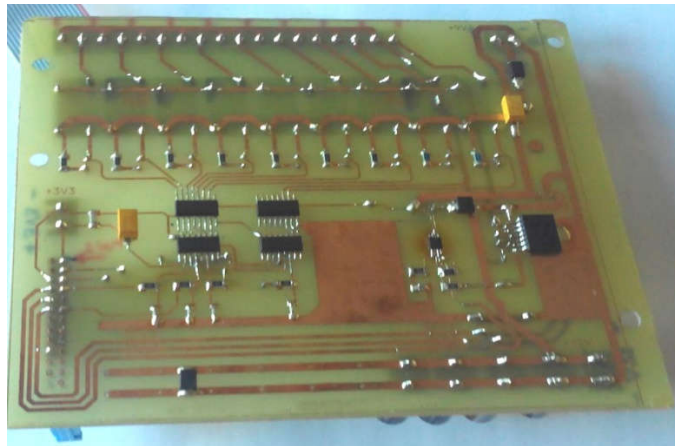


Figura 3.3. Ruteado de pistas y conversores de 8bit serie/paralelo con bus de reloj.

Conector GPIO Raspberry Pi. Es un conector y faja de 26 pines (Conector26, 2019) para conectar la placa de riego con la placa de procesamiento Raspberry, Figura 3.4. Al estar todos los pines en una faja, la conexión se facilita de forma considerable, siempre y cuando se respete la posición única de conexionado.

CONECTOR GPIO

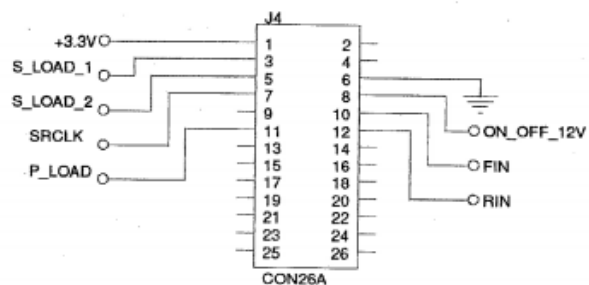
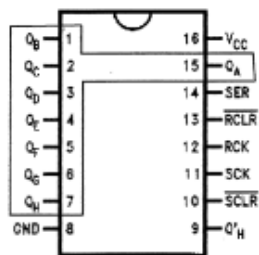


Figura 3.4. Conector GPIO.

Control de Salidas Serie/Paralelo con señal de reloj clk. Debido al uso de 9 salidas, es necesario usar 16 bit de direccionamiento (SN74 et al. 2019), para ello, usamos el direccionamiento a través de la activación de cada bit y la señal de reloj para pasar al siguiente bit, ver Figura 3.5. A través de este sistema de direccionamiento podemos seleccionas el relé que dará paso a la descarga del condensador capaz de abrir o cerrar el solenoide hidráulico, nuestro sistema esta implementado para 9 salidas, pero a nivel de direccionamiento es capaz de gestionar 16 (2 bytes).

REGISTROS SERIE-PARALELO

Connection Diagram



Truth Table

RCK	SCK	SCLR	RCLR	Function
X	X	X	L	Storage Register cleared
X	X	L	X	Shift Register cleared $Q'_H = 0$
X	↑	H	H	Shift Register clocked $Q_N = Q_{n-1}$, $Q_0 = SER$
↑	X	H	H	Contents of Shift Register transferred to output latches

SRCLK P_LOAD

S_LOAD_X → SER

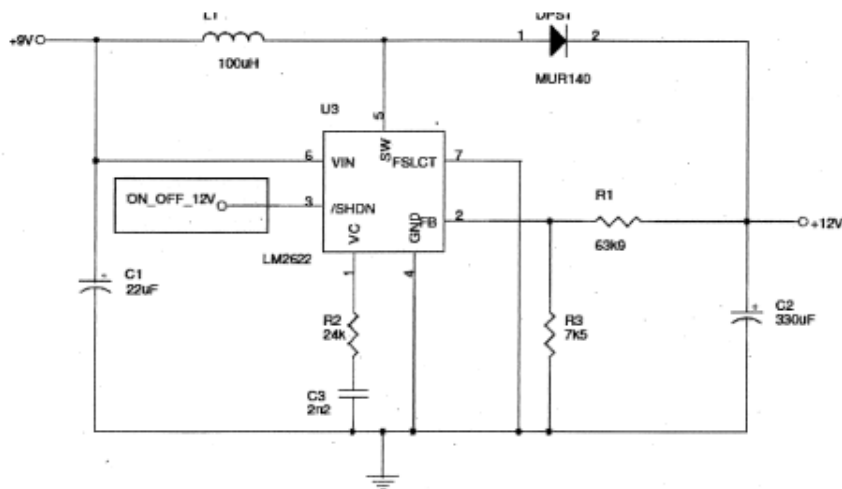
- ⇒ Hay que generar movimientos de 8 bits cada vez que se quiera cambiar el estado de las salidas (QA..QH).
- ⇒ Como tarea de inicialización, enviar 8 bits "0"
- ⇒ Para evitar cambios de estado por ruidos eléctricos y por seguridad, retransmitir el status periódicamente.

Figura 3.5. Comunicación Serie/Paralelo con reloj.

Fuente boost elevadora de tensión a 12v. Para el correcto funcionamiento de los solenoides y que produzcan una curva de descarga sin fallos en la apertura y cierre es necesario elevar la tensión de disparo.

El programador funciona con una pila de 9v estándar, por lo que tenemos que elevar a 12 voltios a través de una fuente boost elevadora, ver Figura 3.6.

FUENTE ELEVADORA DE TENSIÓN 9V A 12V



- ON_OFF_12V = 0 → Fuente en Stand-by (no se generan los 12V y está en modo de bajo consumo)
- ON_OFF_12V = 1 → Fuente operativa (se generan los 12V)

Figura 3.6. Fuente elevadora de tensión de 9v dc a 12v dc.

El controlador de riego y módulo de comunicación de 868 MHz están diseñados con tecnología de bajo consumo de energía. Cada uno puede trabajar durante un periodo de cultivo, operando con baterías de 9 voltios y una transmisión de datos de hasta 15 km de distancia en pruebas aleatorias y 5 km estables durante todo el año. Los dispositivos de sensores móviles modulares recopilan datos desde cualquier lugar. Es fácil conectar, agregar y eliminar dispositivos a nivel de gestión de red, lo que supone una gran ventaja. Las redes de malla aumentan la movilidad de los nodos porque permiten la comunicación sin infraestructura. Eso beneficia áreas rurales y paisajes donde no hay electricidad y, en la mayoría de los casos, sin cobertura GSM o 3G. Implementamos un red de radio privada con rutas dinámicas dentro del área de monitoreo. Por ejemplo, los controladores de riego están trabajando con un sistema de radio digital con el ISM de 868 MHz banda de frecuencia. La primera parte es el receptor de radio, que tiene un bajo ancho de banda y una velocidad de datos de 1200 bps El estrecho la banda está espaciada en el tiempo y tiene un mayor rango de cobertura. Los segunda parte es un filtro con una recepción de banda muy estrecha, que es mejor para la filtración de ruido.

Otros estudios y trabajos de investigación se realizaron en una finca propia, donde se instaló en programador tele gestionado, estación meteorológica y una serie de dispositivos

de monitoreo, ver Figura 3.7 para ofrecer un análisis visual completo y de esta forma controlar los dispositivos sensoriales terrestres. Tanto los datos sensoriales, ambientales e imágenes eran guardadas en una base de datos y servidor FTP.



Figura 3.7. Campo de ensayo PLATEM PA en Lalueza (Huesca), 2016.

El middleware de red tiene el rol de crear la mejor ruta para comunicar dispositivos y agregar nuevos nodos por el método de descubrir vecinos con los mejores Intensidad de señal. Con el estudio de este parámetro, la mejor ruta para transmitir la información está diseñado. El sistema también carga alguna información esencial a la base de datos, como estado de la batería, la intensidad de la señal y el ID del dispositivo.

Cuando el paquete se transmite desde el coordinador al punto final del nodo, 2 bytes de este paquete incluyen la información sobre la señal fuerza. El método de portador en blanco se usa para escuchar las ráfagas durante 1 minuto. Los nodos pueden descubrir nodos y proporcionar encaminamiento dinámico de hasta 3 saltos. Durante la transmisión de datos, el transmisor emite durante 10 ms, son cortos períodos de datos, que mejora el ahorro de energía. La solución propuesta para la informática de datos se basa en SOA principios para abordar la flexibilidad y permitir fácilmente la integración de problemas presentados en los sistemas de producción de cultivos. Eso facilita tomar decisiones rápidas e inteligentes. SOA

es un estilo arquitectónico que admite la orquestación de servicios. En particular, SOA define el paradigma find-bind-execute para diferenciar entre proveedores de servicios y consumidores de servicios y su acoplamiento flojo. Proponemos aplicar esta principal paradigma para el sistema de agricultura inteligente, en lugar de crear una relación directa entre el proveedor del servicio (WSN, antena análisis de cultivos, sistemas de riego y clima) y agricultores (típicamente una persona que produce cereales o un grupo de ellos).

El corazón de la gestión de comunicaciones y adaptación de datos radica en el middleware, donde se estructura de la siguiente forma.

Hilos de comunicación con los diferentes dispositivos de campo. Se crea un socket de conexión cliente-servidor para comenzar la transferencia de datos entre ambos. La vida de la conexión se abre desde el cliente y el servidor es capaz de detectar la pérdida de ella para el cierre de la misma y abrir en un futuro otro hilo de conexión con ese cliente.

A continuación, en la Figura 3.8 se muestra la función de conexión del servidor y la creación de hilos de conexión con los nodos clientes. En este sistema el servidor permanece en escucha mientras que el cliente es el encargado de iniciar las conexiones.

Función socket de comunicaciones.

El socket de comunicaciones se abre desde el nodo cliente, es el que envía la petición de conexión al servidor, que está en escucha esperando las peticiones de clientes. Uno de los inconvenientes generados es dejar hilos de comunicaciones abiertos o generar varios hilos abiertos con un mismo cliente. A través de los *keepalive* se controla el estado de los hilos, siendo cerrados todos aquellos que no reciban un ACK del cliente por ese hilo en cuestión.

```

//Listening loop, accepting connections and dispatching them to handler class
while (listening)
{
    try
    {
        new CCSListeningHandler(serverSocket.accept()).start();
    }
    catch (IOException e)
    {
        logger.error("ERROR aceptando conexión entrante de CCS: " + e.toString(), e);
    }
}

//Close server socket
try
{
    serverSocket.close();
}
catch (IOException e)
{
    logger.error("ERROR cerrando ServerSocket en CCSListeningManager: " + e.toString(), e);
}
catch (Exception e)
{}
}

```

```

public void run()
{
    listening = true;
    int portNumber = 0;
    logger.info("===== Iniciando CCSListeningManager =====");
    //Get port number from configuration
    try
    {
        portNumber = Integer.parseInt(SystemState.getInstance().getConfigParam(
            GlobalNames.CFG_CCS_LISTENING_PORT));
    }
    catch (InstanceNotFoundException e)
    {
        logger.fatal("ERROR: El parámetro de configuración " + GlobalNames.CFG_CCS_LISTENING_PORT + " no existe");
        return;
    }
    catch (Exception e)
    {
        logger.fatal("ERROR: El parámetro de configuración " +
            GlobalNames.CFG_CCS_LISTENING_PORT +
            " no existe o tiene un valor incorrecto: " + e.toString(), e);
        return;
    }
}
//Create the ServerSocket instance
try
{
    serverSocket = new ServerSocket(portNumber);
}
catch (IOException e)
{
    logger.fatal("ERROR: No se puede escuchar en el puerto TCP " + portNumber +
        ": " + e.toString(), e);
    return;
}
logger.info("CCSListeningManager arrancado en puerto " + portNumber);

```

Figura 3.8. Socket de comunicaciones.

En la siguiente Figura 3.9 de muestra la clase que recoge los valores de la estación meteorológica, desde aquí vamos a ir guardando los datos en la BD y también generando atributos para nuestras reglas negocio, concretamente los datos de viento, precipitación, humedad y temperatura.

Función guardar datos

```

1 public class EstacionMeteo
2 {
3     private int    id_instalacion;
4     private Calendar fecha_hora;
5     private float  v_viento;    //Km/h
6     private boolean v_vientoFlag;
7     private int    h_suelo;    //0-100%
8     private boolean h_sueloFlag;
9     private int    precipitacion; //mm
10    private boolean precipitacionFlag;
11    private float  t_aire;    //Celsius
12    private boolean t_aireFlag;
13    private float  t_suelo;    //Celsius
14    private boolean t_sueloFlag;
15
16    public EstacionMeteo(int id_instalacion, Calendar fecha_hora)
17    {
18        super();
19        this.id_instalacion = id_instalacion;
20
21        Calendar dateWithoutMilliseconds =
22            DateOperations.getDateWithoutMilliseconds(fecha_hora);
23        this.fecha_hora = dateWithoutMilliseconds;
24
25        this.v_viento    = 0;
26        this.v_vientoFlag = false;
27        this.h_suelo     = 0;
28        this.h_sueloFlag = false;
29        this.precipitacion = 0;
30        this.precipitacionFlag = false;
31        this.t_aire     = 0;
32        this.t_aireFlag = false;
33        this.t_suelo    = 0;
34        this.t_sueloFlag = false;
35    }
36 }

```

Figura 3.9. Guardar datos en BD según variables.

Una vez creado el hilo de comunicaciones, se requiere de una clase para la preparación y envío de la información hacia un programador específico, en la siguiente Figura 3.10 se muestra la clase para el envío de comandos y la lectura posterior de la recepción, ACK.

Función generada para mantener la comunicación socket abierta entre el cliente y el servidor. Continuamente se pregunta para mantener el hilo abierto y se actualiza la hora de comunicación en base de datos. Se realiza para cada nodo conectado a la red IoT.

```

/**
 * Byte de resultado:
 * 0 = no se pudo comunicar por radio con el programador
 * 1 = se pudo contactar por radio, pero no se pudo comunicar con la electrónica del programador
 * 2 = OK, finalizado correctamente
 */
public CCSResponse processMessage()
throws InternalErrorException
{
    String response = GlobalNames.CCS_COMMAND_NONE + ccsNumSeq + "\r\n";
    ProgramasDelegate program = new PlainProgramasDelegate();
    try
    {
        byte result = ccsBinData[0];

        /*** OK result
        if (result == GlobalNames.CCS_COMMAND_RESULT_OK)
        {
            logger.info("Mensaje Result OK de CSS #" + ccsSerialNumber);
            SatelliteCommand satCommand = SystemState.getInstance().getCurrentCommand(ccsSerialNumber);
            if (satCommandTO != null)
            {
                SystemState.getInstance().removeCurrentCommand(ccsSerialNumber);
                if (satCommandTO.getRtc())
                {
                    logger.info("RTC Update Done OK para CSS #" + ccsSerialNumber +
                        ", satellite=" + satCommandTO.getId_sat());
                    ccsFacade.updateCCSSatRTCUpdated(satCommandTO.getId_sat(),
                        GlobalNames.RTC_UPDATED, dbName);
                    //Reset retries to 0 and save activity register on DB
                    satCommandTO.setReintentos(0);
                    program.satRTCCommandRetriesLog(
                        satCommand, GlobalNames.COMMAND_LOADED, true, true, dbName);
                }
            }
        }
        else
    }
}

```

Figura 3.10. Envío de tramas.

El único requisito para un dispositivo o aplicación para registrarse y convertirse en una fuente de datos es enviar los valores de acuerdo con el formato especificado que depende del tipo de sensor.

3.2 Protocolo de comunicaciones del nodo controlador de riego

El protocolo de comunicaciones está basado en la definición de una asignación de memoria a las variables usadas en la programación de riego. Además se cuenta con comandos principales para llevar a cabo las acciones que permita la carga de programas, recargar parámetros, paradas, o un reset de fábrica.

Debido al formato de mensaje definido, el máster inicia siempre la comunicación con un dispositivo dado enviándole un mensaje que es recibido por todos los dispositivos esclavos pero al que sólo responde aquel cuya dirección coincida con el valor del campo ID del

mensaje. En el siguiente diagrama se detalla el flujo de funciones del programador de riego de tipo *latch*, ver Figura 3.11.

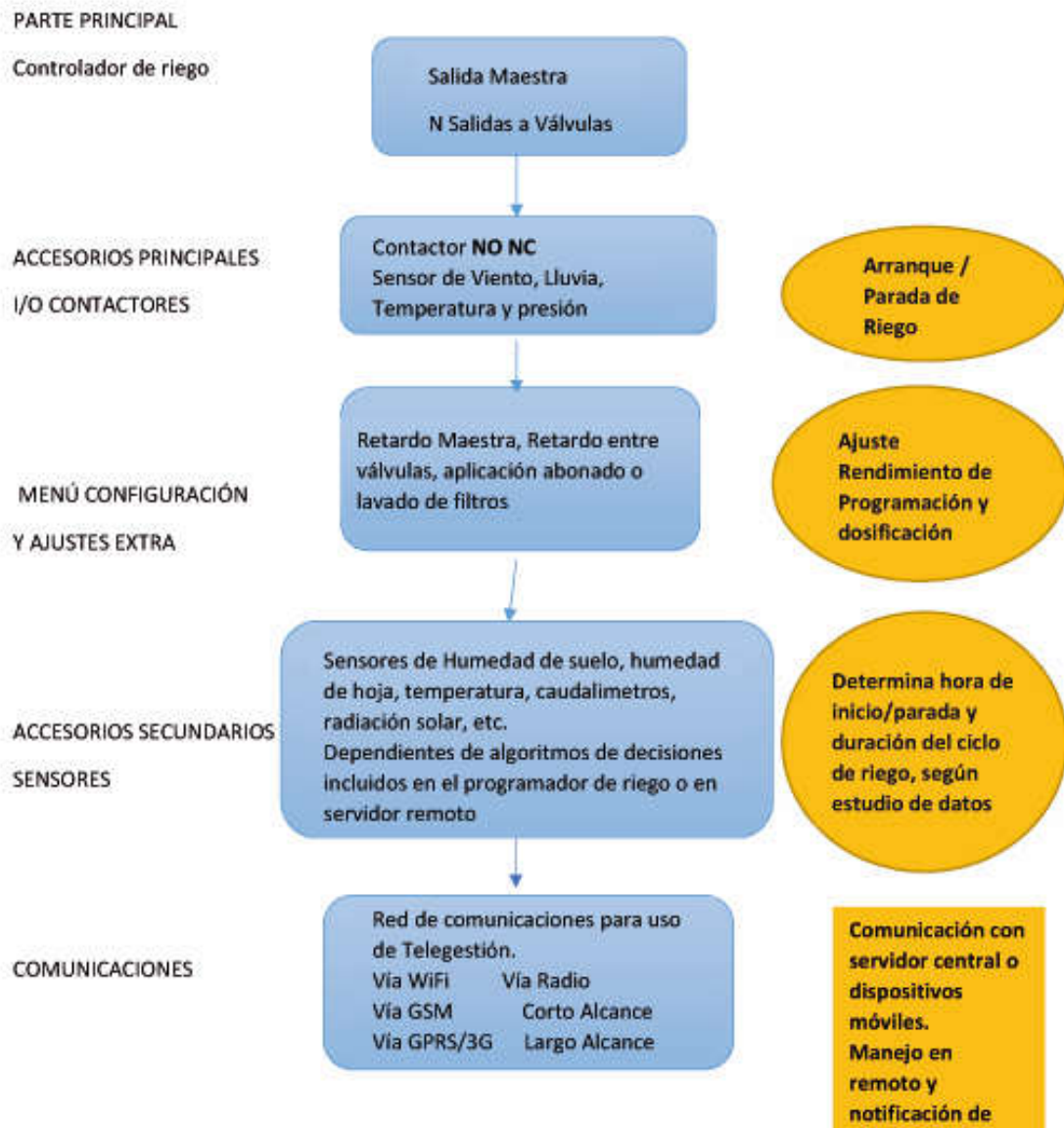


Figura 3.11. Esquema funciones de programación de riego.

A cada mensaje emitido por el master le corresponde siempre un mensaje de respuesta desde el esclavo correspondiente a la ID del mensaje emitido. El mensaje de respuesta del esclavo lleva como ID su propia dirección.

Por el la longitud del campo de ID este tipo de red está limitada a un máximo de 1 master y 254 esclavos y excluye el uso de comandos de tipo “Broadcast”. Es decir, no permite el uso de mensajes dirigidos simultáneamente a todos los dispositivos presentes en la red.

La especificación establece un máximo de 32 dispositivos incluido el master para cada red y establece además que ciertas direcciones quedan reservadas por diferentes motivos. Las direcciones reservadas son las siguientes:

- ADD 0xFF Dirección del MASTER dentro de la Red.
- ADD 0xFE Dirección de fábrica por defecto de un Programador de Riego.

Es la dirección configurada por defecto en los programadores durante su fabricación y debe de cambiarse durante el proceso de instalación y conexión a la red del equipo.

El protocolo está basado en un lenguaje de comandos que permite el acceso a los dispositivos para visualizar y modificar la programación de los equipos, visualizar datos de su estado de operación y también para ordenar a éstos que ejecuten determinadas acciones.

En función del propósito de cada comando estos se clasifican en:

- Comandos de identificación.

Permiten obtener la información de identidad del equipo. Estos comandos se ejecutan siempre que el equipo esté alimentado y conectado a la red, independientemente del estado de funcionamiento.

- Comandos de acceso a los parámetros de programación.

Permiten leer o modificar los parámetros de programación residentes en la memoria del equipo. Estos datos establecen el comportamiento del equipo con respecto a las salidas de válvulas en función de horarios, etc.

Los comandos de lectura se ejecutan siempre que el equipo esté alimentado y conectado a la red, independientemente del estado de funcionamiento. Sin embargo, los comandos de escritura sólo se ejecutan cuando el equipo está en AUTO o en OFF.

- Comandos de visualización de estado.

Permiten obtener información del estado de proceso del equipo mediante la lectura de los valores de las variables relevantes que controlan el funcionamiento. Estas variables residen, por su propia naturaleza en la memoria RAM del equipo. En ningún caso es posible modificar arbitrariamente su valor mediante el uso del protocolo.

Estos comandos se ejecutan siempre que el equipo esté alimentado y conectado a la red, independientemente del estado de funcionamiento.

- Comandos de actuación. Permiten activar o desactivar de forma remota programas y válvulas, o modificar el valor del reloj del equipo.

La actuación de los programas se rige en cualquier caso por el valor de los parámetros que tengan programados, independientemente de que su ejecución se produzca por horario o en virtud de una orden remota de activación.

Ejemplos de comandos implementados

READ LINE nn

Lee el contenido de memoria de los 16 bytes de datos que hay a partir de la dirección indicada en nn, ésta incluida. Ej. *#dd0 dd1 dd2.....dd15#*

Donde ddn es el valor hexadecimal de cada byte expresado en ASCII de 00 a FF. Cada byte se separa del siguiente por un espacio (0x20)

WRITE DATA#xxx#dd# Escribe en la dirección xxx de la EEPROM el dato dd.

READ STATUS Comando que lee el estado de las válvulas

STARTPRG Comando para iniciar un programa de riego

3.3 Análisis de consumos energéticos

Dentro de los programadores de riego destacamos nuestro trabajo en los programadores de bajo consumo usando la tecnología de pilotaje hidráulico con solenoides *latch*, capaces de operar con una pila de 9v. Los programadores funcionan con salidas a solenoides *latch* pero necesitan una fuente de energía bastante potente si están telegestionados a través de un modem GPRS o 3G, normalmente van conectados a una batería de 44ah a 12v dc y a una placa solar de 5w. En nuestro sistema evitamos la implementación de baterías pesadas ya que usamos una comunicación de banda estrecha de muy bajo consumo que permiten desplegar una comunicación, normalmente GPRS y en algunos casos una red de radio 433Mhz.

La siguiente figura 3.12 muestra las pruebas realizadas de consumo por la que nuestro sistema es capaz de enviar y recibir tramas.

Los valores de consumo actuales de estos módulos de radiocomunicaciones cuando están operando a 3.3 V. Cuando el nodo está transmitiendo, el valor actual es de alrededor de 30 mA. El consumo de corriente del nodo al transmitir datos aumenta hasta 49 mA. Finalmente, cuando el nodo está en modo de suspensión, el consumo de corriente se reduce radicalmente a 90 μ A.

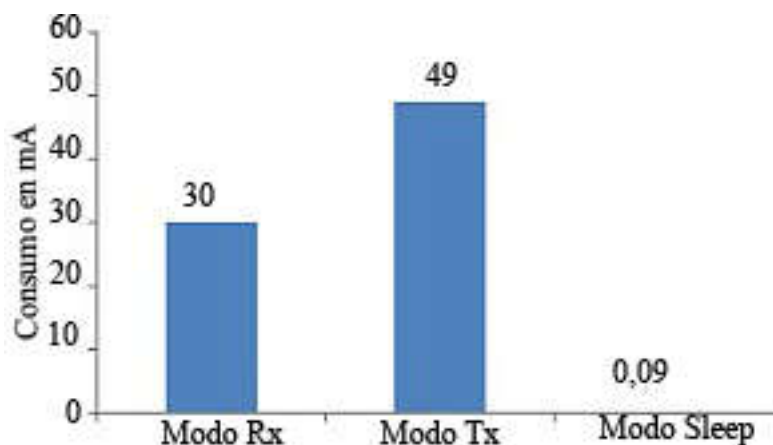


Figura 3.12. Consumo energético en diferentes modos de funcionamiento.

3.4 Conclusiones

Esta sección describe la forma en que la red de comunicación y sistemas actuadores de control de riego proporcionan autonomía sin interacciones humanas presenciales y hace viable una telegestión en remoto. LoRa, SigFox y otras tecnologías de banda estrecha operando en un 868 MHz, este protocolo de red proporciona un rango de larga distancia con muy bajo nivel de consumo de energía que se adapta muy bien a nuestros desarrollos. En este capítulo, demostramos el potencial del IoT en la agricultura de precisión donde los resultados demostraron que el uso de la banda 868 MHz en redes de tipo malla es la mejor solución para la adquisición de datos en sistemas de cultivo. La red 868 MHz proporciona un controlador de riego con comunicaciones “baratas” y con larga duración de la batería.

Hemos implementado además un lenguaje de comunicación con el programador, llamado protocolo de comunicaciones, este protocolo define un mapa de memoria y acciones que de forma remota se pueden modificar y lanzar. Por parte del programador se diseña un mapa de memoria no volátil para a posteriori cargarlo en la memoria volátil y por parte del servidor, el middleware, es el encargado de gestionar este mapa de memoria para poder encaminar los datos hacia su posición de memoria correspondiente y ejecutar comandos según el protocolo.

Finalmente, el trabajo presentado ha sido publicado en la siguiente referencia (Cambra et al., 2017c).

4.WSN en monitorización y gestión de riego

4.1 Introducción

Las características del sector agrícola hacen necesario la implementación de redes de sensores inalámbricos tanto en cultivos de exterior como en cultivos de interior (Zhang et al., 2007) que permitan obtener parámetros y variables agroclimáticas tales como humedad de suelo, evapotranspiración, temperatura, precipitación y velocidad y dirección del viento. La red de sensores esta interconectada con el servidor que registra de forma automática todos los datos capturados. Capas superiores del sistema centralizado son las encargadas de procesar los datos y obtener decisiones acordes a los patrones e históricos existentes en base de datos.

4.2 Implementación de WSN en cultivos extensivos al aire libre

4.2.1 Descripción del sistema

Proponemos incluir el potencial de un diseño de red de tipo malla. Redes en un sistema de riego inteligente para adaptar el riego horario para tener un mejor sistema de decisión de agronomía, para mejorar la eficiencia y ahorrar recursos. Los dispositivos modulares de sensores móviles (Martinelli et al., 2009) recopilan datos de cualquier lugar (Ruiz et al., 2008). Es fácil conectar, agregar y quitar dispositivos, lo que supone una gran ventaja. Tenemos extensas áreas que cubrir con sensores para evaluar de forma objetiva las áreas totales de cultivos. Las redes de malla aumentan la movilidad de los nodos. Porque permiten la comunicación sin infraestructura. Eso beneficia zonas rurales y paisajes donde no hay electricidad y en la mayoría de los casos, sin cobertura GSM o 3G.

4.2.2 Nodos

Los nodos están compuestos principalmente por un chip procesador de bajo consumo y una red 868MHz de banda estrecha. Se componen de una memoria EPROOM donde contiene el identificador uno del nodo y una memoria volátil capaz de auto-calibrar la banda de frecuencia de la propia red. El nodo permanece en modo escucha durante 2 segundos y se duerme. Si se da el caso que tiene una trama para su ID asignado, permanece despierto para iniciar el desempaqueado y la trasmisión de datos hacia el programador, vía serial data. En la Figura 4.1 se expone un nodo final con una sonda de humedad Watermark, basada en el cálculo de la tensión de resistencia eléctrica que responde a los cambios de humedad. La sonda está conectada a una electrónica con comunicaciones a través de banda estrecha 868MHz.



Figura 4.1. Nodo 868 con sonda de humedad watermark de irrometer en cultivo de maíz.

Los nodos controladores de riego tienen una configuración más compleja que los nodos sensoriales, ya que tienen que atender a interrupciones y también a contadores temporales para los tiempos de actuación de las válvulas. En la Figura 4.2 y Figura 4.3 se muestra el prototipo de controlador de riego funcionando en el campo de ensayo. Aunque los consumos energéticos a priori no son los deseados, los ensayos con esta placa de riego y la RPi nos permiten abordar resultados positivos en la interoperabilidad del programador de forma remota a nivel de comunicaciones y la integración de datos meteorológicos en la base de datos. El programador está conectado vía ethernet mediante un punto WiFi de 7 Kilómetros hasta el router que da acceso fuera de la LAN. Todo ello es alimentado con una placa solar de 50W. Otras pruebas se han llevado a cabo a través de un GPRS tipo USB, de esta manera los resultados de movilidad son más positivos que el despliegue de un punto a punto WiFi de larga distancia.



Figura 4.2. Controlador de riego, panel estación meteorológica y solenoides tipo latch.

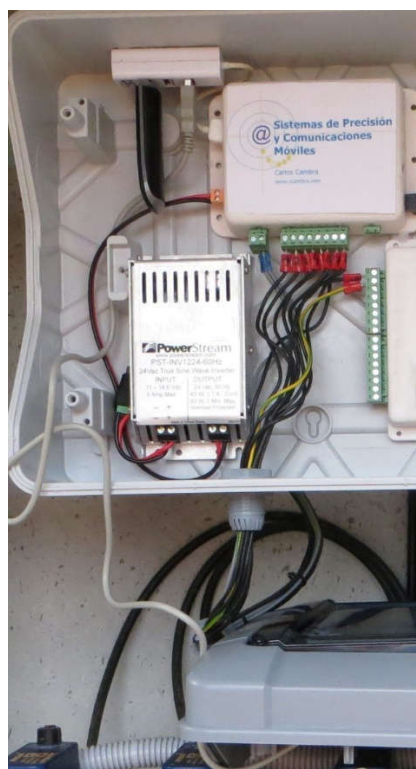


Figura 4.3. Placa prototipo de controlador de riego y procesador RPi, en pruebas con comunicación Ethernet + P2P WiFi y GPRS.

4.2.3 Despliegue de la WSN

Desplegamos un Red de radio privada con rutas dinámicas dentro de la zona de vigilancia. Por ejemplo, los controladores de riego están trabajando con un sistema de radio digital con el ISM de 868 MHz. banda de frecuencia. La primera parte es el receptor de radio, que tiene un bajo ancho de banda y una velocidad de datos de 1200 bits / seg. La banda estrecha está espaciada en el tiempo y tiene más rango de cobertura. La segunda parte es un filtro con una recepción de banda muy estrecha, que es mejor para la filtración de ruidos.

El principal despliegue se basa en la creación de redes en estrella y redes malladas con un máximo de 3 saltos entre nodos y coordinador de la red. Esto quiere decir que el mensaje enviado va a ser escuchado por 2 equipos intermedios, a parte del nodo que lo envía y el coordinador que lo recibe. De esta forma cubrimos con mayor seguridad la transferencia de datos en rangos de comunicación largos > 1 Km.

4.2.4 Arquitectura

El despliegue de una red WSN requiere una comunicación dinámica entre nodos eligiendo así una red de comunicación mallada. Los nodos puente actúan de enrutadores dentro de la red, redirigiendo los paquetes según las rutas creadas y almacenadas en base de datos. Estas rutas se caracterizan por escoger los caminos con mejor trasmisión y mejor cobertura.

Los nodos envían los paquetes y son recogidos solo por aquellos nodos puente que se encuentran en la ruta definida. En este trabajo se ha realizado una ruta de hasta 3 saltos máximo, como se muestra en la Figura 4.4, entre el nodo final y el coordinador de la red.

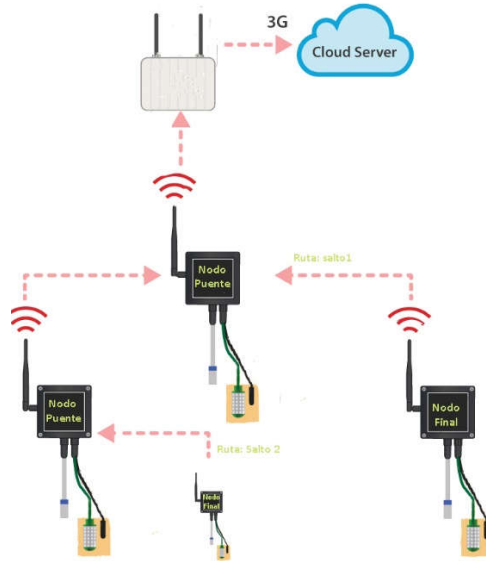


Figura 4.4. Arquitectura de comunicaciones multisalto.

4.2.5 Arquitectura de datos agronómicos en Gestión de riego

Una información importante en la programación del riego es la que tiene que ver con las relaciones suelo-agua-planta. Dentro de estas relaciones destacan, en primer lugar, los procesos de evapotranspiración. Por un lado está la transpiración llevada a cabo por la planta: el agua es tomada por la planta desde suelo y se evapora hacia la atmósfera, principalmente, a través de las estomas. Simultáneamente, el agua que humedece la superficie del suelo también se evapora. La suma de estos dos fenómenos es la evapotranspiración. Para que este fenómeno se produzca, el suelo debe disponer de agua suficiente y tiene varios orígenes: i) el agua de lluvia, ii) la ascensión capilar desde las capas freáticas más profundas y iii) el riego. Las pérdidas de agua, además de la evapotranspiración, se producen por escorrentía superficial y por percolación profunda, por debajo del alcance de las raíces. El aporte y la pérdida de agua incidirán en la cantidad de agua almacenada en el suelo o “stock”. Esta cantidad de agua almacenada en el suelo incide de manera importante en la programación de riego de baja frecuencia (intervalo de riegos superior a tres días) y tiene una menor importancia en el de alta frecuencia (intervalo de riego inferior a tres días).

A su vez, las relaciones suelo-agua-planta dependerán de factores tan importantes como la textura, que establece, entre otros aspectos, la capacidad de retención del agua en el

suelo. También son importantes para la programación del riego la distribución de las raíces, aireación del suelo, variabilidad espacial, etc.

Otro aspecto importante a considerar en una programación de riegos es el conocimiento de la función de producción del cultivo, es decir, la relación del agua aplicada con la producción obtenida. La función de producción varía a lo largo del crecimiento del cultivo y permite conocer cuáles son los momentos clave en la aplicación del agua al cultivo. El desarrollo de funciones de producción no está muy extendido, con lo que la carencia de este tipo de información se ha de suplir con la experiencia del regante.

También es importante la información que se tenga sobre el estado de la planta (estado vegetativo de la planta, grosor del tronco, temperatura de hoja, etc.) y la atmósfera circundante (temperatura ambiente, evapotranspiración de referencia, humedad relativa,...) que influirán de manera significativa en la programación de riegos.

Dependiendo de la naturaleza de las informaciones que se tengan de los aspectos anteriormente citados se definen los principales métodos de programación de riegos.

Toda la información disponible para la programación de riegos se utiliza para ejecutar una serie de rutinas. Estas rutinas pueden ser ejecutadas manualmente (por medio de una serie de pautas seguidas por el regante) o bien automáticamente (con algoritmos de control mediante un ordenador de riego). También se pueden ejecutar de forma mixta, programando algunas rutinas automáticamente (por ejemplo, fertirrigación) y otras manualmente (por ejemplo, inicio y fin de riego).

Los objetivos de la programación de riegos pueden perseguir fines técnicos o fines económicos y puede haber combinación de ambos. En el criterio técnico se ha de determinar el volumen y el período de riego a lo largo del ciclo del cultivo a tratar para lograr la máxima producción. Por otro lado, la combinación de los dos criterios persigue la eficiencia máxima del uso del agua. En este caso se buscaría la máxima producción por volumen de agua aplicada. Otro criterio es el del beneficio empresarial, que se consigue cuando se persigue el máximo beneficio en la aplicación del agua, es decir, cuando el coste de la última unidad de agua aplicada iguala el beneficio que produce. En trabajos expuestos más adelante, se trata el procesamiento de todas estas variables a través de algoritmos de entrenamiento.

Las etapas más importantes en la programación de un riego son: toma de datos, análisis de datos y ejecución de rutinas de programación. Mediante correcciones iterativas, cada una de las etapas se va corrigiendo para adaptarse a las condiciones locales de la zona de riego.

Se distinguen tres grupos de métodos de programación de riegos. El primer grupo se basa en programar el riego a partir del estado hídrico del suelo (manejo de la reserva de agua en el suelo o stock y el nivel de agotamiento permisible). Este primer grupo de métodos se clasifican en función del procedimiento seguido para medir el contenido de agua en el suelo.

El segundo grupo de métodos está basado en el estado hídrico del cultivo, y sólo permite conocer el momento de inicio del riego, pero no la cantidad de agua a aportar. Para ello se pueden utilizar, entre otros, datos de la temperatura de las hojas, variación del diámetro de algún órgano de la planta, del potencial hídrico del tallo, del flujo de savia, etc.

Por último, está el método basado en el balance hídrico del conjunto suelo-planta-atmósfera, método escogido para realizar los algoritmos que posteriormente de detallan.

4.2.5.1 *Viento*

Fenómeno atmosférico muy valorado por los agricultores, ya que influye muy negativamente en algunos sistemas de riego, en la Figura 4.5 podemos observar como a partir de 8 m/s la uniformidad disminuye y a partir de 12m/s baja más de hasta un 80% lo que supone una disminución de superficie regada de forma justa muy drástica. Más adelante explicaremos el peso de este atributo dentro del árbol de decisiones en el motor de reglas de negocio.

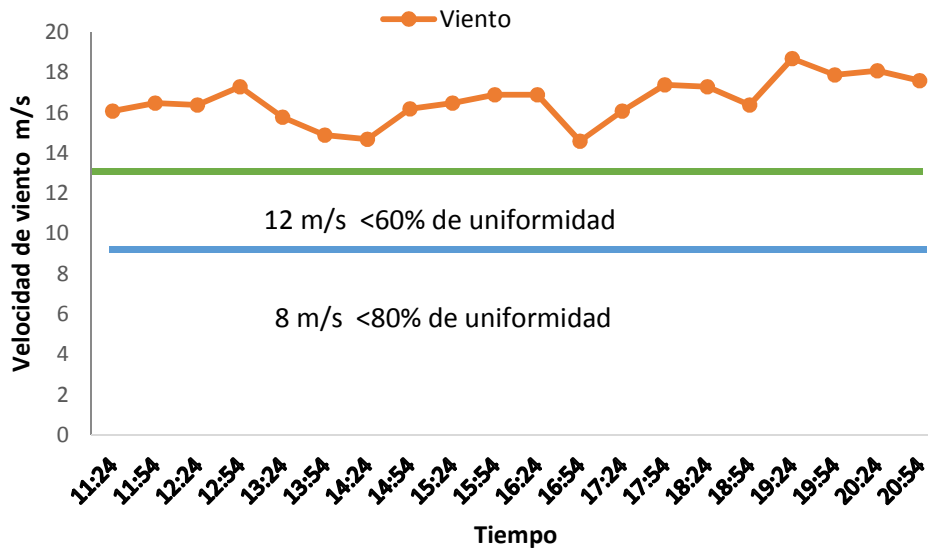


Figura 4.5. Condiciones atmosféricas graves para afección en uniformidad de riego, Datos de viento recogidos en fecha 10/07/2017.

4.2.5.2 Estado hídrico del suelo

El objetivo es determinar la cantidad de agua que hay almacenada del suelo para saber en qué momento regar, a través de determinaciones cuantitativas, como la medición de humedad volumétrica y cualitativas, como la capacidad de campo o punto de marchitamiento.

Si sabemos el estado hídrico del suelo, sabemos si tenemos que regar. A través de las sondas de riego que estamos trabajando vamos a realizar diversas mediciones cualitativas y a través de estados del suelo. Es de gran importancia conocer estos valores para saber así el momento óptimo del riego.

4.2.5.3 Balance hídrico suelo-planta-atmósfera

La aplicación de este método permite indicarle al programador de riego el momento de inicio de riego y la cantidad de agua que hay que aportar, bien indicándole el tiempo que debe regar o el volumen de agua necesario para cada sector.

Se trata del método más utilizado, ya que permite trabajar con datos muy variados y dependiendo de la disponibilidad y calidad de los datos, utilizar un número mayor o menor de datos. A partir de la información disponible se pueden hacer balances diarios con datos climatológicos del día anterior y por otro lado, programación mensual, basada en datos

medios de series climatológicas. Las primeras se aplican a parcelas individuales de agricultores, mientras que las segundas son aplicables a comunidades de regantes o agrupaciones de agricultores.

La información principal necesaria para la programación es sobre clima, suelo, cultivos y sistemas de riego. A partir de un balance hídrico se plantean las necesidades de riego:

$$Nn = Pe + Ge - ET - Pp - Es + \Delta W \quad (1)$$

Siendo:

- Nn: Necesidades netas de riego.
- Pe: precipitación efectiva.
- Ge: ascensión capilar.
- ET: evapotranspiración del cultivo.
- Pp: percolación profunda.
- Es: escorrentía superficial.
- Δw : stock de agua en el suelo.

La reserva de agua o stock varía dentro de los límites de agotamiento permisible (NAP), limitarse únicamente al agua útil (AU). Se considera al principio de la campaña de programación que el suelo debe estar en capacidad de campo (CC), debido a las lluvias o por un riego inicial.

Partiendo de la situación de CC, el consumo del cultivo ET supera a la Pe, en la mayoría de las ocasiones. La reserva de agua oscila disminuyendo el valor ET-Pe hasta alcanzar el nivel de agua útil (AU), que es la diferencia de la CC menos el punto de marchitez (PM). Se tendría que reponer el suelo con una lámina de agua igual a la diferencia CC-PM.

La sucesión de etapas en una programación de riego por balance hídrico sería la siguiente:

1. Suelo a CC.
2. Determinación diaria (o mensual) de la ET y acumulación de valores (día o mes).
3. Determinación de la Pe en el momento que se produzca una lluvia. Si $Pe > SET$, se iguala Pe a SET.

En el momento que la diferencia SET-Pe sea igual a AU se riega con una cantidad igual a AU.

En el caso de la utilización de valores mensuales se suele prescindir de la Pe. El período de riego previsto debe ser tal que la SET diaria en el período considerado no supere al agua útil. Se procedería del siguiente modo:

- Se parte de suelo a CC.
- Se determina la ET del cultivo para el período considerado.
- Se deduce la Pe según la probabilidad de que se produzca.
- Se determina el AU para las plantas.

$$\frac{ET-Pe}{AU} \quad (2)$$

- El cociente da el número de riegos precisos para el período.
- La cifra resultante se redondea en exceso.

El volumen de cada riego será el cociente de las necesidades hídricas (ET-Pe) entre el número de riegos obtenidos. El volumen debe ser menor o igual al agua útil.

4.2.5.4 Estaciones meteorológicas en la agricultura

Una estación meteorológica se utiliza para medir y registrar regularmente diversos valores meteorológicos. Para el campo se puede utilizar estos valores para planificar los riegos futuros ya que se puede medir la humedad del suelo para saber si se debe o no regar en esos momentos el cultivo.

La mayoría de las estaciones meteorológicas tienen los siguientes elementos:

- Barómetro: Mide la presión atmosférica.
- Pluviómetro: Mide la cantidad de agua por metro cuadrado.
- Psicómetro o higrómetro: Mide la humedad relativa del aire (vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera) y la temperatura del punto de rocío.
- Heliógrafo: Mide las horas de luz solar.
- Piranómetro: Mide la radiación solar.
- Veleta: Indica la dirección del viento.
- Anemómetro: Mide la velocidad del viento.
- Termómetro. Mide la temperatura a distintas horas del día.

La mayoría de las estaciones meteorológicas se pueden automatizar para recibir los datos sin tener que ir físicamente al lugar donde está ubicada, obteniendo así los datos en tiempo real y evitando desplazamientos innecesarios. Sólo en momentos puntuales habría que acercarse hasta el punto donde está instalada para realizar los mantenimientos o en el caso de sensores.

El objetivo fundamental de una estación meteorológica es el registro de valores de los elementos que constituyen la materia prima de los estudios sobre el clima.

En la actualidad existen estaciones que registran los datos meteorológicos y los envían en tiempo real a través de una aplicación, para que podamos analizarlos al instante.

Teniendo en cuenta estos datos en tiempo real podemos realizar:

- Pronóstico de plagas y enfermedades
- Planificación de tareas
- Aviso de helada, golpe de calor, lluvia...
- Seguimiento del microclima, desarrollo fenológico y producción agrícola
- Agricultura más precisa
- Cálculo de la evapotranspiración y balance de agua en cultivos
- Gestión del riego más eficaz
- Monitorización del suelo, del cultivo, del sistema de riego, fertirrigación

4.2.6 Resultados y discusión

Los resultados de las pruebas de comunicaciones en cultivos de exterior se basan en sistemas de riego por aspersión con un pilotaje hidráulico con solenoides Latch. Tenemos distancias de comunicación extensas y propensas a fallos.

La Figura 4.6 muestra el valor de Bps que se registra cuando abrimos manualmente una válvula a través del envío del comando STARTVALV, aunque el tiempo es muy breve, la tarea que genera es de una gran cantidad de datos en función del tiempo que es el envío de datos, correspondientes a nivel de batería, estado de las válvulas, tiempo restante de riego, etc.

El análisis trata de dar a relucir el volumen de datos emitidos en las comunicaciones donde se aprecia una transferencia mayor de datos en las operaciones de apertura manual de las válvulas y de las menores y más rápidas las paradas de riego.

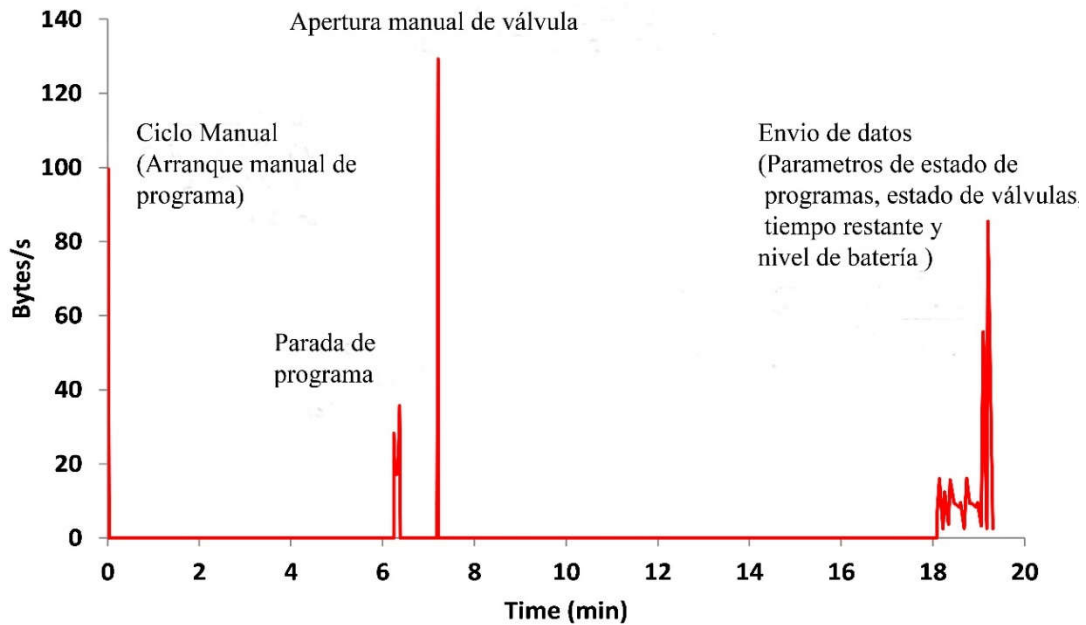


Figura 4.6. Tasa de trasmisión de tramas.

La segunda prueba (ver Figura 4.7) se centró en la obtención de datos durante el envío de comandos para modificar el programa contenido en el programador. En este caso, las acciones que implica mayor ancho de banda son las que envían la programación contenida en el Programador a la base de datos del servidor con valores máximos de (130 Bps) y enviando los mensajes de mantener vivo con él. Se recibió el Índice de intensidad de la señal (RSSI) en el servidor (108 Bps) aunque esta acción es muy corta.

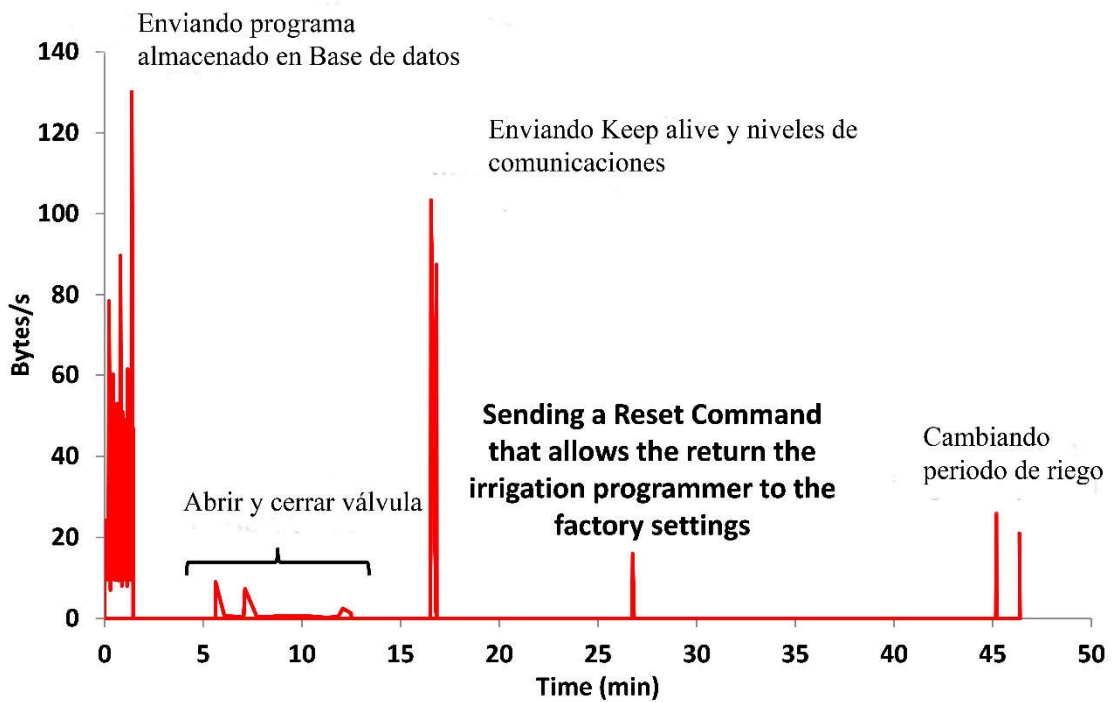


Figura 4.7. Tasa de transmisión de tramas.

4.3 Implementación de WSN en cultivos intensivos en interior

4.3.1 Descripción del sistema

Los cultivos de interior son cultivos muy importantes en nuestro país y mucho más en el resto de Europa (Treftz et al., 2016). La tecnificación puede ser 10 veces superior a los cultivos al aire libre ya que se genera unas condiciones idóneas ambientales desde los datos adquiridos de ambiente interior exterior, planta y calidad del agua (De anda et al., 2017).

Nuestro trabajo se centra en el control de calidad del agua a través de una tecnología de automatización de proceso del seguimiento y neutralización del pH, concretamente en la acidez de una solución nutritiva se mide con un sensor de pH y si conseguimos neutralizar la solución líquida, el sistema de riego funcionará en perfectas condiciones, sin obturaciones.

Para este desarrollo nos hemos basado en el trabajo de un agricultor que se dedica a la producción en interiores de tomates para una pequeña cooperativa de horticultura. El señor, controla manualmente los parámetros de invernadero a diario y los anota en una libreta. Tiene a su disposición un conjunto de datos históricos que describe la semana, como tiempos

de agua de riego recomendados, niveles de pH del agua y niveles de conductividad eléctrica (CE) del agua para el tomate, que al cabo del año la cantidad de información es difícil de estudiar.

El trabajo presentado se centra en el uso del módulo RF basado en el chip Nordic nRF24L01, es ultra compacto y de muy bajo consumo. Trabaja en la banda ISM a una frecuencia de 2.4GHz (frecuencia libre) con modulación GFSK (Modulación por desplazamiento de frecuencia Gaussiana) y es ideal para proyectos de telemetría, control de periféricos, industria y afines. Incorpora un transceptor RF de 2.4GHz, un sintetizador RF, algoritmos de control de errores y un acelerador para trabajar con interfaz SPI. En un futuro se verá el avance de LoRa y la disminución de costes de sus módulos, pero actualmente Nordic RF24 puede ser una alternativa muy buena y barata en redes de sensores agrícolas, demandadas por los profesionales del campo.

Si estos datos se introducen en un aprendizaje de un árbol de decisiones basado en un modelo de clasificación que puede constar de 65 reglas que especifican los niveles de bicarbonatos, temperatura, luz ultravioleta (UV) para interiores, tiempo de riego, fertilización y previsión de control de plagas y lo más importante, aparición de bicarbonatos que obturan el sistema de riego por lo que el aporte de nutrientes deja de ser homogéneo (Croft et al., 2017). De forma manual, imposible que el señor pueda analizar tantos datos.

Para obtener mediciones precisas, el sensor debe calibrarse periódicamente. A esto se le añade su limpieza con agua destilada. Un proceso manual que por tiempo no se puede realizar muchas veces al cabo del día, lo que conlleva un posible fallo de obturación en el riego.

La solución en este estudio requiere una solución de nutrientes ligeramente ácida con un nivel de pH que oscile entre 5.5 y 5.7 para la óptima neutralización de bicarbonatos y sales. La escala total de pH varía de 4.5 a 14, donde 7 se considera el valor de pH neutro. Se considera una solución líquida con un pH inferior a 7 para ser una solución ácida, mientras que las soluciones con un pH superior a 7 son soluciones básicas o alcalinas.

Este sensor nos da una señal relacionada con la concentración de iones de hidrógeno medida por un electrodo de pH. El pH del punto isopotencial de 7.00 (0 mV), medido en un rango de 0 a 14, tiene una precisión menor de 15 mV. La relación entre el valor de pH y la tensión de salida es $E = 59.16 \text{ (mV / pH)}$.

El sensor de pH está conectado a un sensor de nodo inalámbrico que proporciona la electrónica necesaria para controlar las diferentes componentes de hardware a través de micro-bombas que toman las diferentes soluciones y líquidos.

Para obtener mediciones precisas, el sensor debe calibrarse periódicamente. Por tanto existen tres soluciones de calibrado de referencia de pH listas para usar y realizar la calibración, además hay un suministro de agua destilada para la limpieza de la sonda.

En primer lugar, tenemos que limpiar el bulbo de vidrio del electrodo. A continuación, el sensor de pH debe ponerse en modo de calibración. Después de inyectar la solución de calibración en un vaso de precipitados, el electrodo se sumerge en él y se ajusta el rango de medición conforme la referencia.

4.3.2 Nodos

Los nodos constan de una parte electrónica, donde se incorpora el transceptor de comunicaciones, la parte de sensores, con un sensor de pH, temperatura y humedad y otra parte de accionamiento de micro bombas de líquidos peristálticas.

La Figura 4.8 muestra nuestro sensor de pH auto-calibrado con las micro-bombas que proporcionan los valores medidos de líquidos requeridos al contenedor, para realizar En primer lugar, el proceso de calibración y, en segundo lugar, la medición del valor de pH de la solución nutritiva en nuestro conducto hidropónico.

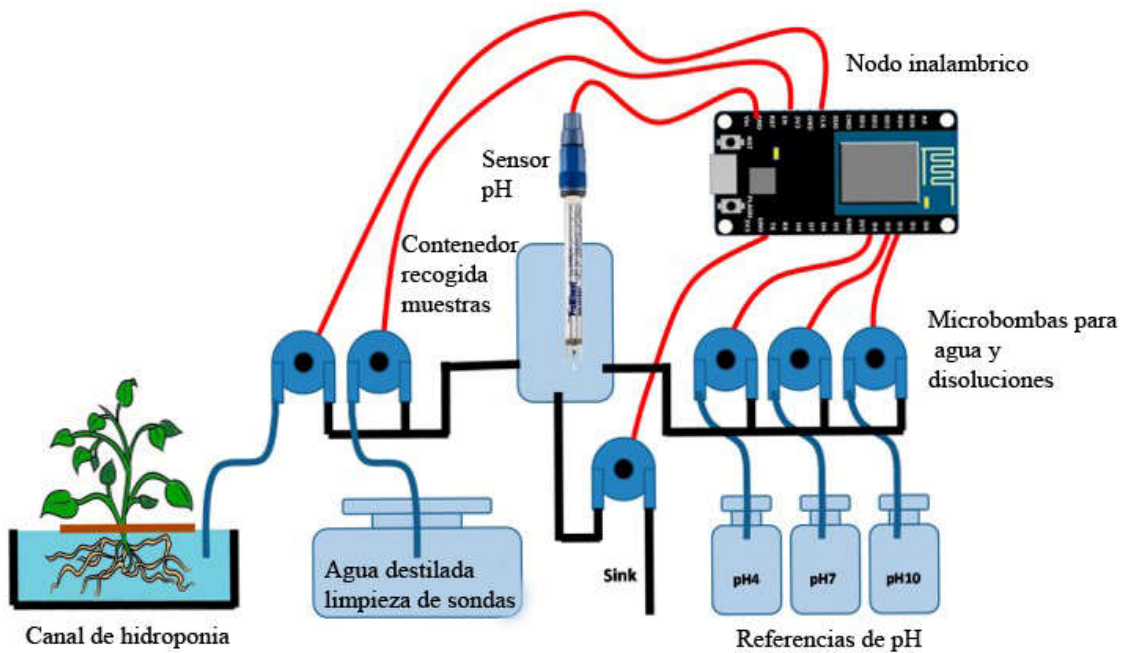


Figura 4.8. Esquema de instalación de nodo sensorial.

4.3.3 Despliegue de la WSN

Como mencionamos anteriormente, el sensor de pH está integrado en la arquitectura de la red inalámbrica de sensores (Barrenetxea et al., 2008) que supervisa varios invernaderos que contienen sistemas hidropónicos. La interpretación manual de datos consume mucho tiempo y es una tarea costosa (Resh et al., 2016). Por estas razones, introdujimos una red inalámbrica de sensores para recopilar datos. La Figura 4.9 muestra el escenario de red con varios invernaderos. Los diferentes nodos de cada invernadero (Li et al. 2010) envían los datos captados de un sensor de pH, de un sensor temperatura y de un sensor EC al servidor que se encarga de controlar toda la instalación ambiental y de riego (Andaluz et al., 2016) y está directamente conectado a internet. Los datos se almacenan en un BD ubicada en la nube (Gill et al., 2017). Los propietarios pueden acceder a los datos almacenados a través de dispositivos personales para verificar los datos históricos recopilados y confirmar el correcto funcionamiento de diferentes sistemas.

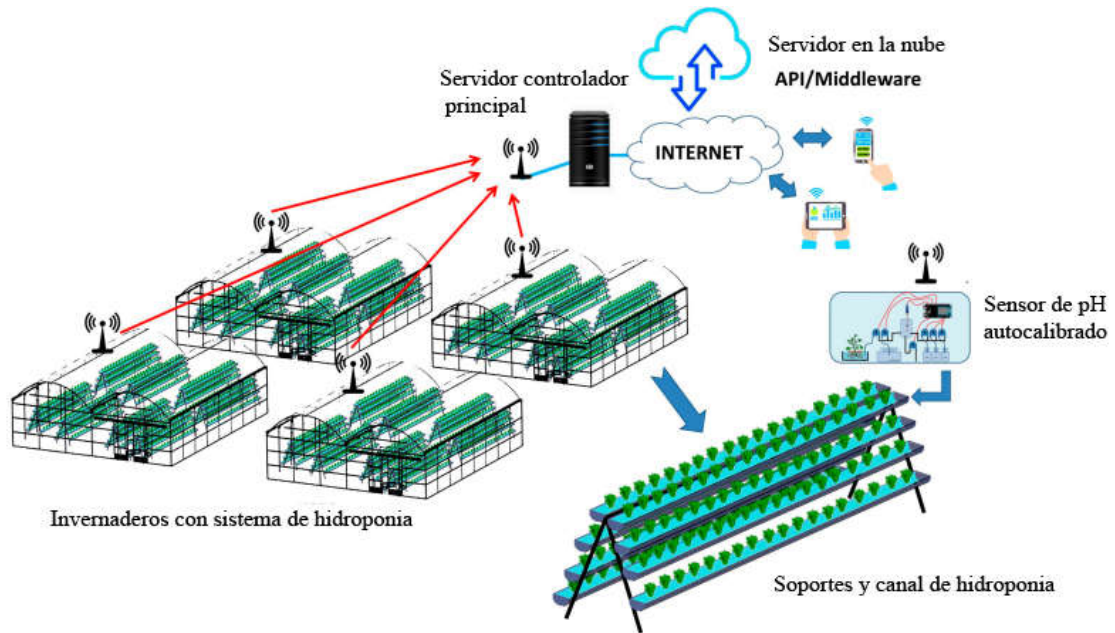


Figura 4.9. Sistema indoor de hidroponía.

En este caso, seleccionamos el transceptor NRF24L01 de la empresa Nordic Semiconductor. El chip de comunicaciones elegido fue un Atmel de 8 bits que se caracteriza por su baja potencia de consumo energético. Hemos encontrado algunas propuestas y recomendaciones sobre el uso del transceptor NRF24L01, pero en todos ellos, solo podemos ver la parte de la transmisión de datos (Zhurong et al., 2008) desde un nodo a su coordinador. El protocolo de comunicaciones del transceptor NRF24L01, (Saha et al., 2017) se basó en enviar los datos desde el nodo a la red de malla para que finalmente llegara al coordinador. Estas redes se han desarrollado principalmente en WSN para enviar datos sobre variables y teniendo un despliegue inalámbrico para facilitar la movilidad, instalación y coste.

El método de encaminamiento de nuestra propuesta de red mallada, se basó en los identificadores de nodo, en lugar de utilizando una tabla de encaminamiento prefijada. Finalmente, los nodos fueron protegidos por cajas IP66 ya que trabajan en un ambiente de humedad extrema.

4.3.4 Arquitectura

El sensor de pH auto calibrado es un dispositivo dentro de un sistema de agricultura de precisión que forma parte de un WSN y un framework autónomo que soporta el control del proceso de riego en invernaderos.

La función principal del algoritmo de control es detectar la presencia de carbonatos o bicarbonatos. En la solución nutritiva que determina los valores de pH. El ion bicarbonato (HCO_3) está presente en niveles de pH entre 4.5 y 8.3, y el ion carbonato (CO_3) está presente en las soluciones nutritivas con niveles de pH por encima de 8.3. Las sales de carbonato cálcico tienen una solubilidad muy baja por lo que, es muy difícil restablecer el valor de pH del agua.

El problema que surge es llevar a cabo un tratamiento continuo con ácidos comerciales que neutralicen y destruyan la Bicarbonatos encontrados en la solución nutritiva. De esta forma, podemos evitar su combinación con el calcio.

Los iones se encuentran en la solución nutritiva o en aquellos productos que se agregan como nutrientes. La cantidad de ácido que necesita para incorporarse a la solución nutritiva depende del volumen de agua que se va a tratar y el contenido de bicarbonato de la solución nutritiva. El exceso de ácido producirá una caída en el nivel de pH a un valor que podría ser letal para los cultivos.

4.3.5 Resultados y discusión

Los resultados del sistema desarrollado se centra en tres aspectos importantes: la calidad de los datos recopilados, la red de comunicación y el consumo de energía de los nodos. El sistema se usó en cultivos de tomate y cultivos de lechuga (Soranz et al., 2014) en el mismo invernadero pequeño (15 m de largo \times 9 m de ancho \times 3 m de alto, tipo de túnel). La elección de estos cultivos fue porque son algunos de los más adecuados para el cultivo con esta técnica (Os et al., 2016).

Rendimiento del algoritmo del sensor de pH autocalibrado.

De acuerdo con los valores que se muestran en la Tabla 4.1, si se requiere una solución de ácido nítrico al 56%, obtendremos solución nutritiva de 1.35 kg / dm³ de densidad. Esto significa que para proporcionar un meqL⁻¹ de nítrico ácido que pesa 63 mg (del 56% de la riqueza), tenemos que agregar 112,5 mg (63/56) de ácido. Por lo tanto, si nosotros tenemos una densidad de agua de 1.35, debemos agregar 84 microlitros (112.5 / 135) de ácido nítrico al 56% para obtener una meqL⁻¹ de ácido nítrico puro.

Densidad de ácido kg/dm ³	% pureza ácido fosfórico	% pureza ácido nítrico
1	16	15
1.1	18	18
1.15	26	24
1.2	34	33
1.25	40	40
1.3	46	48
1.35	53	56
1.4	57	65
1.45	63	77
1.5	68	95
1.55	73	10

Tabla 4.1. Valores de densidad y pureza.

Para ver cómo el sensor de pH puede neutralizar una dosis de agua al proporcionar el volumen de ácido necesario para neutralizar la muestra, agregamos progresivamente 5 meqL⁻¹ de bicarbonato a una muestra agua con un pH inicial de 8. Además, tomamos en cuenta que es necesario tener muestras de dosis de agua y ácido muy precisas para que los carbonatos se neutralicen correctamente, por ejemplo, con 0,5 meqL⁻¹ de bicarbonato sin neutralizar. Después del experimento, la muestra final tendrá 420 µL de ácido nítrico con una pureza del 56%.

Cuando el valor de la acidez cambia, hay una combinación de iones (Kim et al., 2017) que genera cambios importantes en agua (Ingram et al., 2018). En concreto, el aumento de carbonato en el agua genera cambios en la temperatura del agua, la conductividad de agua y la presencia de H⁺. La Figura 4.10 muestra los valores de pH de la solución acuosa en función del meqL⁻¹ del ácido agregado. El pH de la solución de nutrientes es un problema a tener en cuenta, pero debe considerarse en el contexto de la alcalinidad del agua. Es un error común que el pH del agua determinará el pH del sustrato de crecimiento. En la mayoría de los casos, la alcalinidad (capacidad de almacenamiento) de la solución de nutrientes tiene un mayor efecto sobre el pH del sustrato que el pH del agua.

Sin embargo, un pH alto puede ser indicativo de alta alcalinidad, por lo que si una solución de nutrientes tiene un pH superior a 7, la alcalinidad debe ser probada. Un pH alto junto con una alta alcalinidad puede causar problemas graves para cultivos en sistemas hidropónicos.

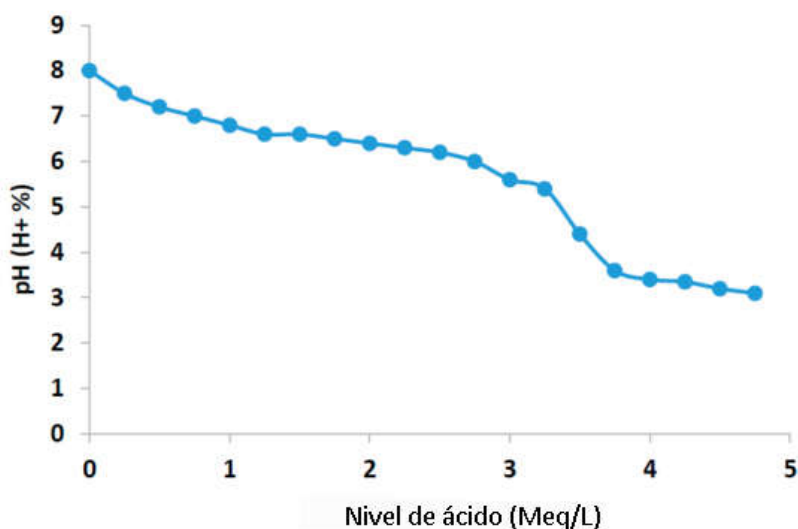


Figura 4.10. Gráfica de análisis de uso del sensor.

A partir de los valores de pH iniciales de la muestra de agua, después de agregar las primeras dosis de ácido, en la solución resultante, la mayoría de los protones inicialmente reaccionan con los carbonatos en el agua, pero algunos de ellos permanecen libres en el agua. Los resultados se muestran en el gráfico de acuerdo con la tabla de referencia para dosis de ácido en relación con el pH. Esto causa una disminución en el pH.

Finalmente, probamos dos casos posibles, es decir, la evolución del nivel de pH cuando se calibra los sensores de pH de forma manual y cuando se usa el sistema diseñado de auto calibrado, ver Figura 4.11. El experimento se llevó a cabo durante dos semanas, en las que se tomó una medida cada 6 horas para calcular el promedio de pH diario. Esta comparación intenta mostrar las diferencias entre un sistema que utiliza un sistema calibrado manual y cuando se utilizan sensores sin asistencia.

Cuando no realizamos rectificaciones de la solución nutritiva, el valor del pH del agua contenida en las cubetas pierde el valor deseable para los cultivos, a medida que pasa el tiempo, y para condiciones climáticas evaporación debido al exceso de calor. Sin embargo, al usar nuestro sistema, el nivel de acidez del el agua de riego se modifica de acuerdo con el agua de las canaletas, para mantener el nivel general de pH del agua disponible en los cultivos. Como podemos ver, cuando se usa el sistema, el valor del pH es estable en valores entre 5.5 y 5.6, mientras que en un escenario donde nuestro sistema no se utiliza, el valor de pH es muy inestable.

El pH disminuye en función del tiempo que alcanza valores demasiado bajos para los cultivos. Un pH inferior a 5.5 es un problema potencial, y los componentes elementales del agua deben ser examinados. Algunos factores que pueden generar estos cambios como la evaporación de agua en canaletas debido al exceso de calor.

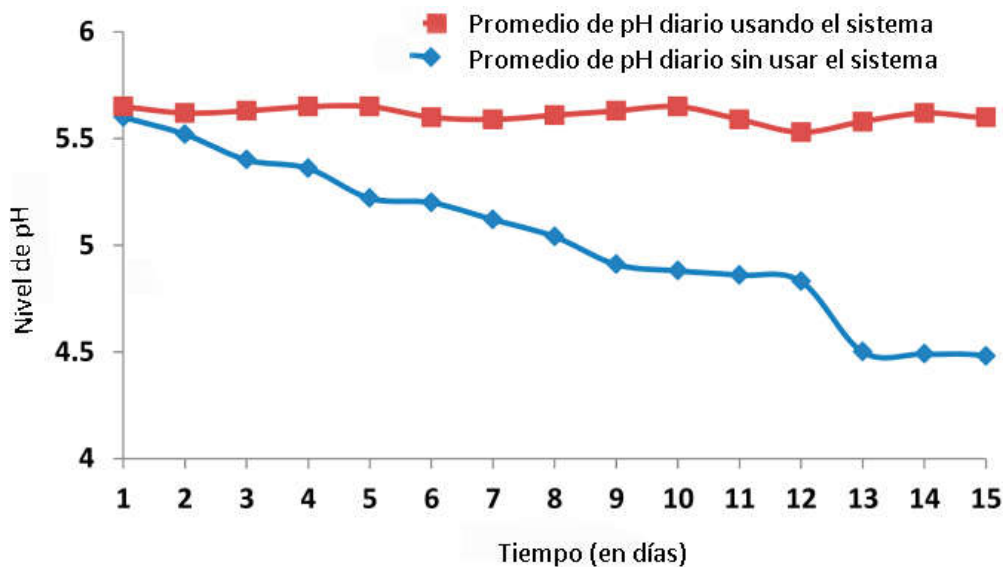


Figura 4.11. Gráfica comparativa de uso del sensor.

Para determinar el rendimiento de la red, hemos desplegado la infraestructura que se muestra en Figura 4.12. El nodo A fue colocado a 7.50 m del coordinador, ubicado en la pared principal del invernadero. Se instaló a una altura de 60 cm y la distancia hasta la planta de tomate fue de 40 cm. El nodo B tenía una distancia de 11.8 m al nodo coordinador, y se colocó a la altura de 60 cm. La longitud entre las primeras plantas y el dispositivo fue de 74 cm. El nodo C estaba al final del invernadero (en 14.5 m desde la pared principal). La distancia desde el nodo hasta el borde del follaje fue de 35 cm. Principalmente el sensor está dormido y se despierta para la captura de datos y actuación, para reducir el consumo de energía. Cada nodo se despertó y activó su radio durante 15 segundos y luego volvió a dormirse, apagando su radio durante 255s. (4 min 15 s). Para cada espacio de tiempo, solo uno de los tres nodos equipados con sensores leyó datos. El coordinador gestiona la recepción de los datos. Por lo tanto, el coordinador actuó como el dispositivo maestro que obtuvo datos de los nodos del sensor en determinados períodos de tiempo.

Debido a las condiciones climáticas o a la presencia de vegetación entre los nodos y el nodo coordinador, es posible que ocurran errores de trasmisión de datos. Después de capturar el tráfico de la red durante 70 minutos, detectamos una muy baja tasa de error de 1.6%.

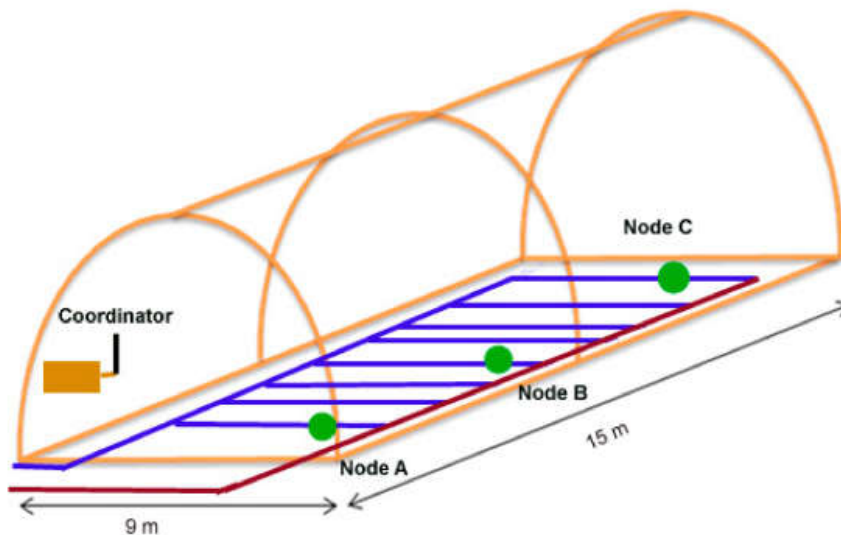


Figura 4.12. Esquema de instalación del ensayo.

El sistema de radio admite una función de confirmación automática (autoACK), activada por defecto, en el que la radio receptora cambia al modo de transmisión después de la recepción y reconoce la recepción de datos. Esto ayuda a mantener un canal bidireccional.

En la primera prueba, se crea un escenario simple con tres nodos, A, B y C, con los siguientes mensajes de intercambio, como muestra la Figura 4.13.

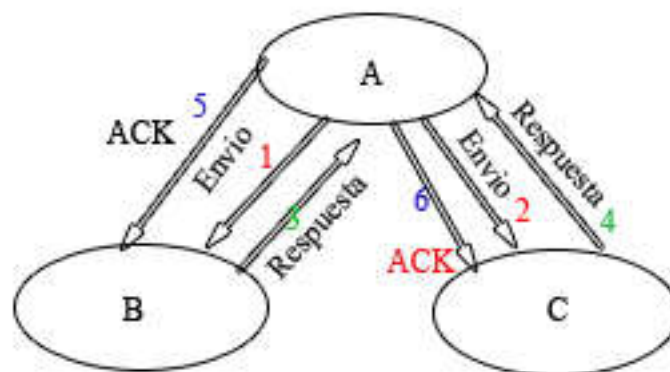


Figura 4.13. Intercambio de mensajes.

La Figura 4.14 muestra la tasa de intercambio en bytes de la red para el ejemplo anteriormente expuesto.

De acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes, si mantenemos activa la confirmación automática, estamos limitados a solo cinco nodos en la red. Por lo tanto, para este trabajo, es necesario desactivar esta función y para poder expandir una red múltiple con más de seis nodos se ha reconfigurado este apartado a través de una función implementada por software. Nuestra implementación permitió el uso de hasta 255 direcciones. El formato de trama está formado por la dirección de origen (primer byte), la dirección de destino (segundo byte), la dirección de reenvío (tercer byte), acuse de recibo (byte) y datos (del quinto al 32º byte). Por lo tanto, nuestra trama tiene una longitud de 32 bytes.

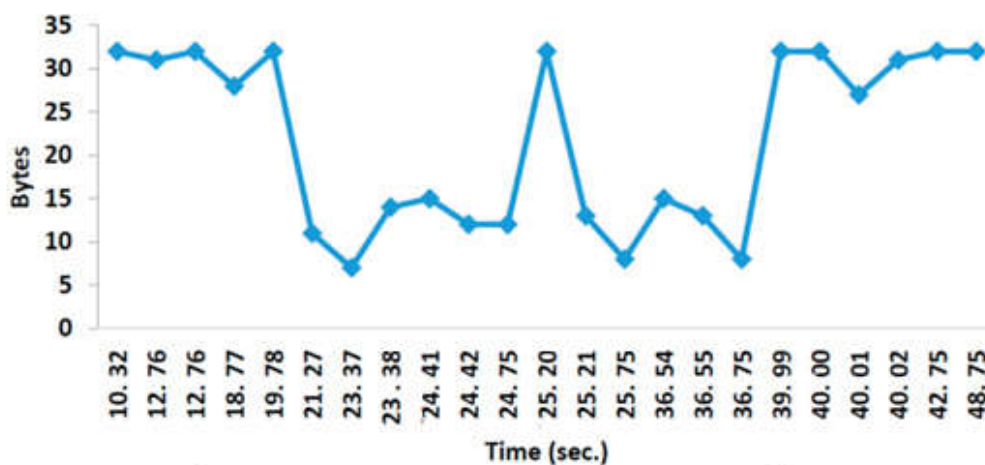


Figura 4.14. Gráfica de tasa de intercambio de mensajes.

Los beneficios de la automatización del proceso de tomar medidas son, la reducción en los costos de mantenimiento de las instalaciones y la mejora en el proceso de análisis.

Los métodos clásicos de análisis manual pueden realizar toma de muestras aleatorias en ciertos puntos del sistema de riego. La adquisición automática que esta propuesta en este trabajo puede capturar los datos d ácidos cada 45-50 minutos durante el riego en múltiples localizaciones. De esta manera, podemos garantizar la calidad de la solución nutritiva en tantos puntos como se extiendan los nodos.

4.4 Implementación de redes Ad Hoc con drones análisis de cultivos

4.4.1 Descripción del sistema

En esta sección, primero estudiamos y analizamos cómo el trabajo desarrollado con un UAV llamado AR Drone puede trabajar en ambientes agrícolas para una monitorización de cultivos que ayuda al agricultor. Luego, analiza la comunicación entre un Smartphone y un AR Drone, para poder ver los tipos de anomalías encontradas. Finalmente describimos el estudio y desarrollo de un sistema QoS (Suganthe et al., 2011) en el protocolo OLSR con una Red Ad hoc de drones (Rosati et al., 2013) y de esta manera poder monitorizar con varias cámaras dentro de una red de comunicaciones desplegada por los propios drones.

4.4.2 Despliegue de la WSN en dispositivos aéreos no tripulados

Incluimos el protocolo OLSR en los AR Drones para incrementar la cantidad de drones en una red Ad hoc (Lloret et al., 2012) para video-grabación y procesamiento de video. OLSR es un protocolo dinámico que utiliza el estado de los enlaces (agrupando sus datos) y mide dinámicamente las mejores rutas para transferir los datos en la red ad hoc. En este caso, utilizamos tres AR Drones que envían el video a través de un salto de comunicaciones entre ellos, creando en conjunto una métrica 3 (3 saltos) entre un origen, AR Drone y destino, el ordenador receptor que monitorea el video. En la Figura 4.15 se muestra el despliegue de la red WiFi para realizar el estudio en campo.



Figura 4.15. Despliegue WiFi en red Ad Hoc.

Para implementar el OLSR en la red ad hoc, es necesario modificar el firmware de AR Drone. En nuestro caso, el AR Drone ejecuta un sistema operativo Linux con una arquitectura ARM, por lo es necesario compilar el código OLSR para la arquitectura ARM.

La conexión remota con el AR Drone se realiza utilizando SSH, consola de terminal conectado a través de la red WiFi. Por lo tanto, la consola de terminal es la vía de entrada en la programación del AR Drone y se puede utilizar para implementar OLSR.

La Figura 4.16 muestra la cantidad de datos transferidos durante el proceso del AR Drone iniciando un vuelo, en fase de despegue, hasta que comienza a girar en el aire. A lo largo del gráfico la tasa de transferencia que podemos ver sufre varias bajadas en la curva ya que pueden ocurrir por las condiciones ambientales que afectan a la QoS de la red Ad hoc. Otro factor que hay que tener en cuenta es la seguridad en las comunicaciones y posibles ataques de spoofing (Lopes et al. 2013).

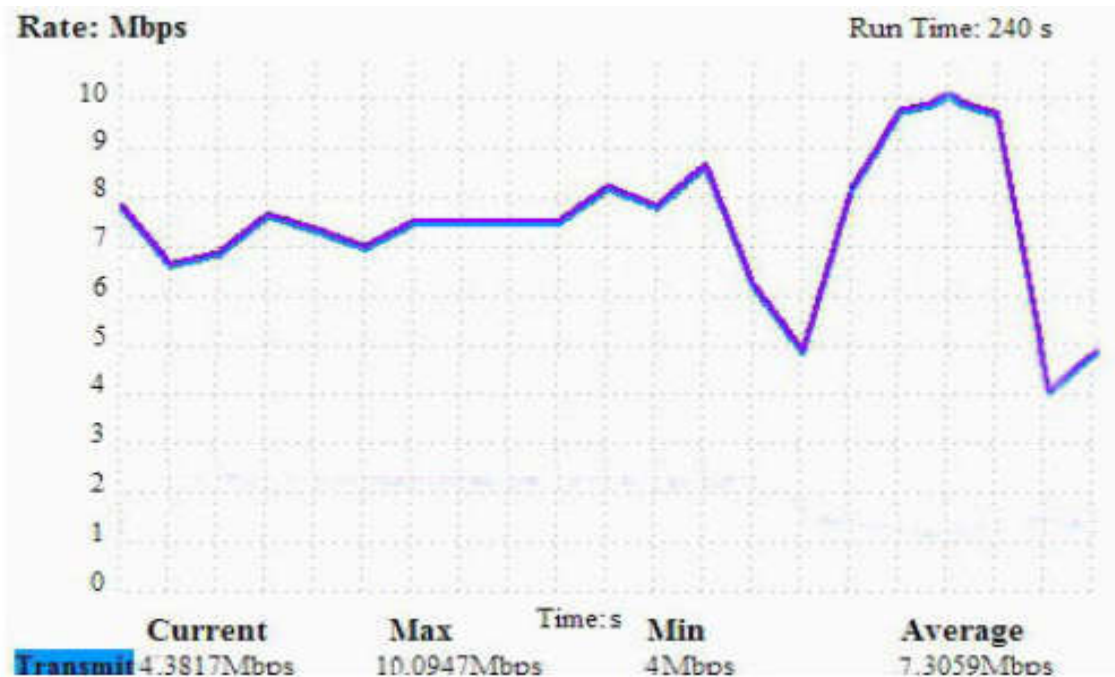


Figura 4.16. Análisis de red en despegue y aterrizaje de AR Drone.

Al principio del despegue los dispositivos establecen su red Ad hoc mediante el uso del protocolo de comunicación de “apretón de manos” o *handshake*. Después de esto, el AR Drone comienza a transferir el video HD y los datos sensoriales del vuelo al smartphone u ordenador. Para obtener una alta calidad de valores de control, AR Drone tiene una cámara en la parte inferior que mide la altura del AR Drone en cada momento. Este tipo de medida aumenta la tasa de transferencia entre 5 Mbps y 10Mbps en la cantidad de datos transferidos específicos para el control, muy importante para la comunicación entre dispositivos ya que no debe perderse porque puede provocar un accidente de los AR Drone. La Figura 4.17 muestra una tasa de transmisión de discontinuidad producida cuando la distancia entre dispositivos aumenta, a veces, cuando sucede esto, el video se detiene. La tasa mínima necesaria para controlar el AR Drone es de 4Mbps.

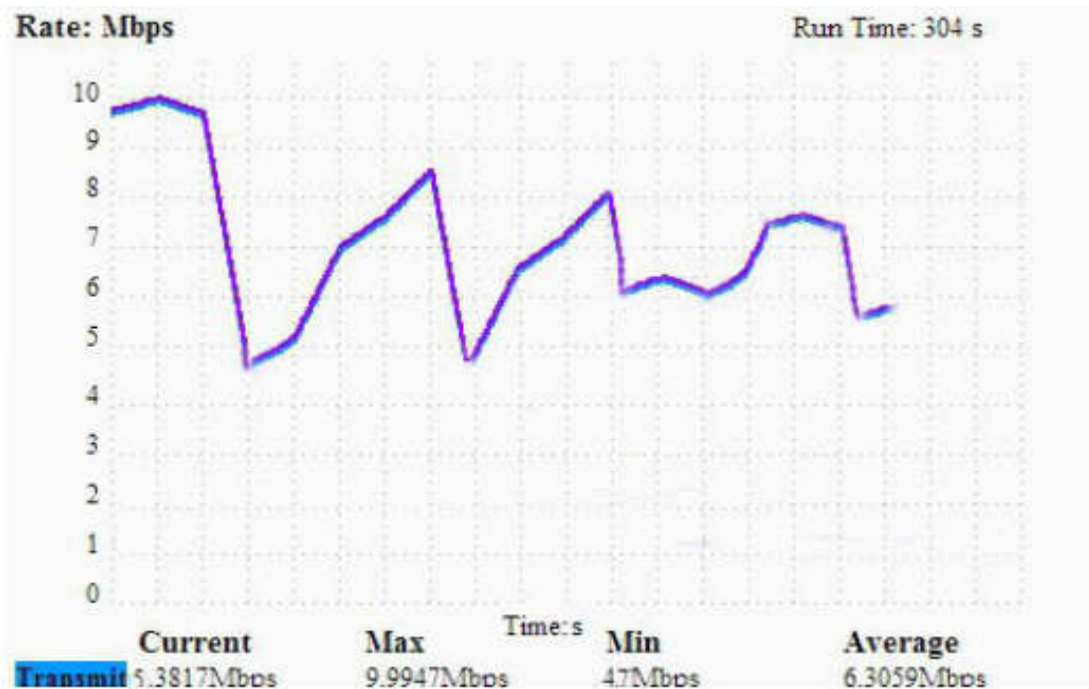


Figura 4.17. Transferencia de video en larga distancia.

4.4.3 Arquitectura

OLSR es un protocolo de encaminamiento dinámico que utiliza el estado de enlaces y mide dinámicamente las mejores rutas para transferir los datos en la red ad hoc. Actualmente es una de las rutas más empleadas y se puede profundizar su uso añadiendo nuevas implementaciones, como las siguientes.

Se puede desplegar la plataforma Shark (Shark Framework, 2016) que utiliza HD video stream bajo KEP (Knowledge Exchange Protocol). En esta plataforma, el servicio de QoS está previsto que se incluya en el sistema dinámico de reservas en red que proporciona BoD.

KEP (Schwotzer et al., 2002), es un protocolo de comunicaciones P2P específico originalmente dentro del protocolo Shark, permite conectar nuevos dispositivos a la red espontánea de información mediante el uso de protocolos UDP y TCP. Este protocolo podría incluirse en la red ad hoc de AR Drones.

Otra cuestión importante que hay que tener en cuenta en los resultados del uso de la red Ad hoc es la eficiencia en el consumo de energía (Sendra et al., 2011). En este caso, se puede incluir en el estudio realizado (Wichthuber et al., 2012) que determina la mejor distancia de alcance dentro de un funcionamiento de transmisión de video óptimo.

Algoritmos para redes Ad hoc (Lacuesta et al., 2011) contienen una tabla de encaminamiento donde se actualiza cada vez que hay un cambio en los vecinos o en la topología, con intercambio de información. El protocolo OLSR permite aumentar el número de nodos, en este caso el número de AR Drone, en la red Ad hoc dedicada a la video-grabación y procesamiento de video de los cuales extraeremos las imágenes de malas hierbas a analizar.

En los trabajos realizados de seguimiento de malas hierbas (Felzenszwalb et al., 2009), se incorpora también la geolocalización y procesamiento de imagen.

El protocolo de puntos de ruta describe cómo se envían los puntos de ruta al Mavlink (Mavlink, 2014). El objetivo es garantizar un estado coherente entre el transmisor y receptor. QGroundControl tiene un protocolo implementado para el control desde tierra. Cada way point o punto de paso tiene una georeferencia y el conjunto de estos puntos se considera una misión que es visualizada con QGroundControl (Qgroundcontrol, 2014), a parte, permite intercambiar y actualizar sus puntos de referencia. El formato del archivo GPS se muestra en la Figura 4.18.

```

Format
QGC WPL <VERSION>
<INDEX> <CURRENT WP> <COORD FRAME> <COMMAND> <PARAM1> <PARAM2> <PARAM3> <PARAM4> <PARAMS/X/LONGITUDE>

Example
QGC WPL 110
0 1 0 16 0.149999999999999994 0 0 0 8.548000000000000004
1 0 0 16 0.149999999999999994 0 0 0 8.548000000000000004
2 0 0 16 0.149999999999999994 0 0 0 8.548000000000000004
    
```

Figura 4.18. Coordenadas de puntos destacados en imágenes.

El procesamiento de video se realiza usando OpenCV (Open Source Computer Vision, 2014) que es una biblioteca de visión de computadora de código abierto (Bradski et al., 2008) y no comercial (OpenCV), contiene interfaces C ++, C, Python y Java y soporta varios sistemas operativos como Windows, Linux, Mac OS, iOS y Android. OpenCV fue diseñado con un fuerte enfoque en aplicaciones en tiempo real, tratando de tener una alta eficiencia en capacidad computacional. Es capaz de utilizar el procesamiento de múltiples núcleos y puede aprovechar las ventajas de aceleración por hardware de la plataforma informática. Para el

procesado de imágenes utiliza un solo filtro en las características del histograma de gradientes orientados a representar una categoría de objeto. Tiene un acercamiento a la ventana deslizante que permite aplicar el filtro a todas las posiciones y escalas de una imagen.

Para la detección de malas hierbas entre líneas usamos los algoritmos de OpenCV, en el que definimos un array los límites de colores a identificar.

```
boundaries = [  
    ([14, 11, 102], [51, 54, 200]),  
    ([84, 31, 4], [221, 87, 51]),  
    ([27, 144, 190], [62, 174, 250]),  
    ([102, 84, 63], [142, 131, 126])  
]
```

La imagen digital está representada por una matriz que almacena el valor RGB/BGR/HSV. La convolución se calcula mediante el siguiente método: La imagen representa la matriz de imagen original y el filtro es la matriz del núcleo. La detección de líneas trata de reducir la información innecesaria en una imagen y extraer características importantes como las líneas. Comenzamos recorriendo nuestros límites laterales izquierda y derecha, dado que estos son valores de píxeles que están dentro del rango [0, 256], podemos usar el tipo de datos entero de 8 bits sin signo.

Una vez que se detecta la zona de malas hierbas en su estadio inicial medio (de color verde), enviamos al AR drone una llamada para pedir la localización y generar un *punto de interés*:

```
#Add observer for the vehicle's current location  
vehicle.add_attribute_listener('global_frame', location_callback)
```

En nuestro despliegue, solo tomamos en cuenta las líneas de color verde y marrón porque este patrón está generalmente presente en muchos tipos de cultivos, como por ejemplo el de maíz. Usamos un Perceptrón multicapa (Koger, et al., 2003) como algoritmo de aprendizaje para reconocer grupos de malezas. El esquema para procesar una imagen se muestra en la Figura 4.19.

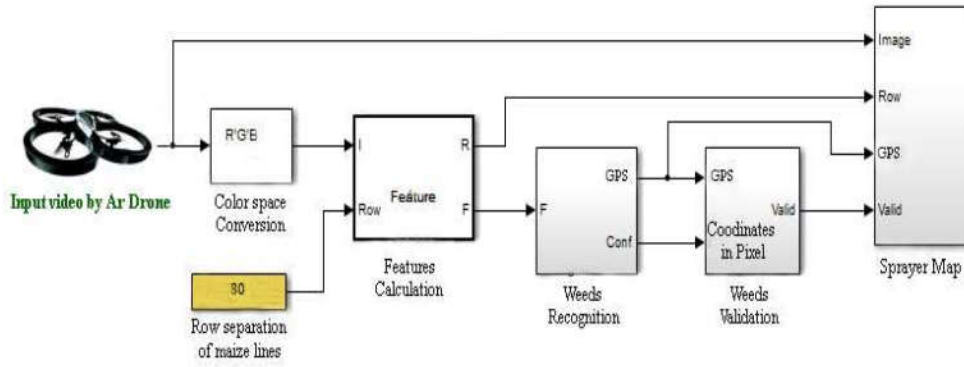


Figura 4.19. Diagrama de tratamiento de imágenes en Visión Computacional.

4.4.4 Estudio de rendimiento y resultados en control de sistemas de riego

En esta sección presentamos el análisis realizado con nodos aéreos, AR drone. Separado entre 40 y 200 metros al transmitir video en modo Ad hoc utilizando el protocolo RTSP, similar a trabajos previos expuestos (Boronat et al., 2008). Nuestro propósito es mostrar los resultados de rendimiento de la red al agregar varios nodos. Los datos se recopilan utilizando un programa de captura de datos de red (Wireshark, 2015).

Las distancias entre nodos son las siguientes, Figura 4.20 (nodo 2 se coloca entre el nodo 1 y el nodo 3):

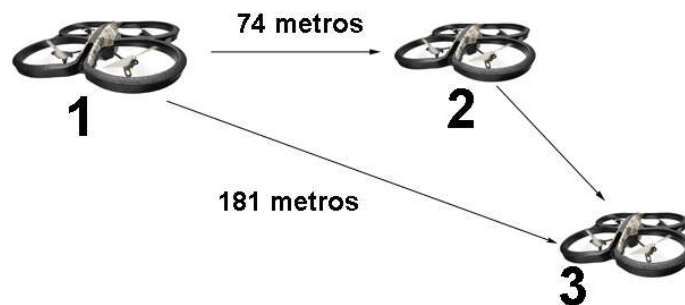


Figura 4.20. Esquema de conexión entre AR Drones.

La Figura 4.21 muestra las mediciones capturadas usando RTSP en una conexión directa entre el primer nodo y la Tablet u ordenador. En el eje X se muestra el tiempo de sesión, mientras que el eje Y muestra la longitud del paquete donde la muestra analizada es de 120 segundos. Durante nuestra prueba, los tamaños de todos los paquetes tienen variación entre 42 bps y 1514 bps donde obtuvimos un promedio valor de 700 bps.

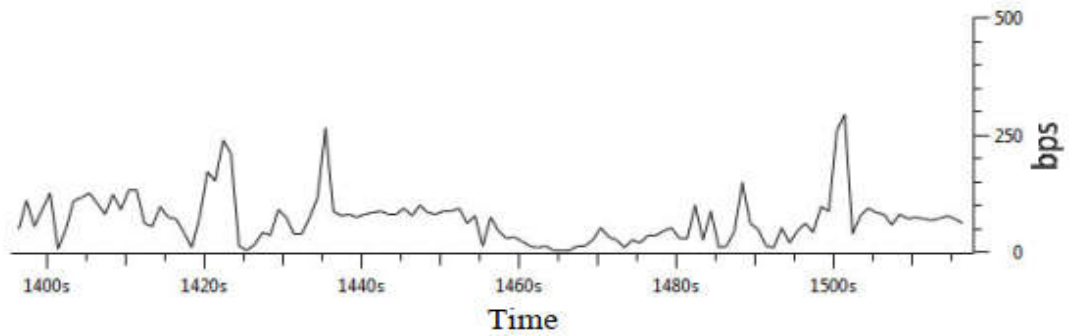


Figura 4.21. Tráfico RTSP durante la sesión de prueba.

Cuando agregamos un segundo nodo, el protocolo OLSR se mantiene en funcionamiento, observando que utilizando OLSR (Macia et al. 2007) había bajado el nivel de transferencia que en la sesión de transmisión RTSP. La Figura 4.22 muestra el mismo máximo de tamaño de paquete (1442 bps), y el mismo tamaño mínimo (42 bps), por lo que decimos que mantiene los umbrales, pero sí que existe diferencia en el valor promedio (612 bps), que es menor. Otra observación es que cuando variamos la distancia entre nodos, la cantidad de los datos transmitidos en OLSR aumentan.

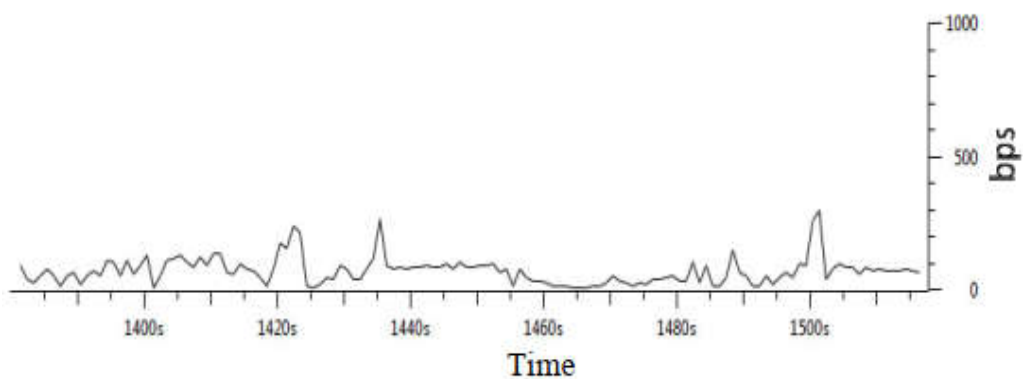


Figura 4.22. Tráfico OLSR durante la sesión de prueba.

La Figura 4.23 muestra el tráfico en la red ad hoc que incluye todos los datagramas UDP y el protocolo OLSR. Podemos ver que no hay tanta diferencia en comparación con las pruebas anteriores.

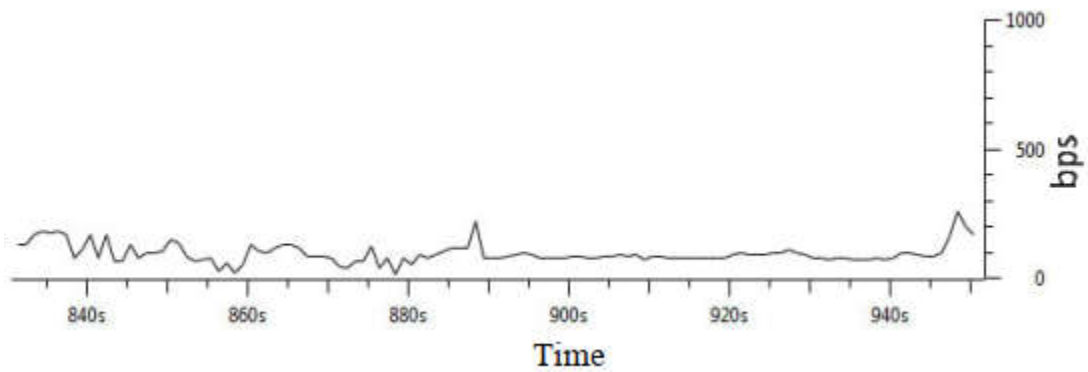


Figura 4.23. Tráfico de la red Ad hoc.

Uno de los principales beneficios que puede proporcionar un dron con una cámara HD es que permite monitorear el sistema riego en fincas de cultivo. Hemos focalizado nuestro sistema para analizar la imagen de los cultivos de maíz en tiempo real mediante el uso de dispositivos móviles como Smartphones o tablets, que además nos permitirá también controlar el sistema de riego, todo integrado en el mismo dispositivo. A veces la calidad del agua cambia y el agua puede contener arena o arcilla que no es capturada por el filtro de entrada del sistema de riego.

Puede producir problemas con bloqueos o suciedad en los aspersores por lo que es necesario resolver este problema ya que en verano puede causar un problema de alta gravedad si un aspersor o un sector de riego deja de emitir agua a las plantas, la producción puede sufrir severos momentos de sequía en días calurosos, que afectan a la productividad y la calidad de los cultivos de maíz. En la Figura 4.24 podemos ver la imagen de un AR Drone sobre un área de cultivo de maíz.



Figura 4.24. Monitorización del funcionamiento del sistema de riego en un campo de maíz.

Hemos mostrado una propuesta en la que se utilizan drones para la detección inteligente mediante el uso de imágenes y su procesamiento (malas hierbas, funcionamiento de riego, etc.). La propuesta se elaboró para un programa de producción intensiva, especialmente en cereales, y resuelve un problema muy grave y un tema de gran importancia, como el control de las anomalías en los sistemas de riego. Esta visualización permite prevenir los periodos de déficit hídrico en áreas específicas, donde los aspersores podrían estar bloqueados por las hojas de maíz, arena o suciedad dentro de las tuberías. Nuestro análisis del encaminamiento y uso del protocolo OLSR en redes Ad hoc demuestra que se pueden utilizar en nodos móviles de comunicaciones que intercambian información mientras se están moviendo en un espacio usando un dispositivo GPS. El escenario del banco de pruebas utiliza tres nodos que funcionan en 200 metros en línea, así que dependiendo de la velocidad, podríamos comprobar una franja con dimensiones aproximadas de 1,5-2 ha/min durante un período de vuelo de 30 min.

Proporciona una rápida visualización del funcionamiento del sistema de riego para el seguimiento eficaz de las producciones agrícolas.

4.4.5 Estudio de rendimiento y resultados en control de malas hiervas

Para realizar un estudio de rendimiento de nuestro sistema, creamos un escenario con 2 ARdrone donde envían video en streaming con uno o dos saltos. Usamos un analizador de red en un portátil, como el Wireshark, para recoger datos de QoS (quality of service), parámetro que mide la calidad del servicio, en varios puntos del escenario. Se genera una sentencia filtrando todos los paquetes de la red ad hoc correspondiente al ffmpeg (FFmpeg, multimedia framework, 2014) y procesamiento de vídeo, y para el control de red (principalmente desde el protocolo de encaminamiento).

El sistema utilizó los protocolos RTSP y RTP para controlar la calidad del servicio y las tablas de ruta de los vecinos para optimizar el uso del protocolo OLSR en comunicación.

La Tabla 4.2 muestra el resumen de la información obtenida por Wireshark durante el de captura. Reunía paquetes de control UDP, OLSR y Ar Drone.

Tráfico	Cantidad
Tramas Capturadas	37691
Duración (T 1º Paquete- T Ultimo Paquete)	38.174 segundos
Promedio de tamaño del paquete	1373.58 bytes
Total bytes capturados	51778297
Promedio bytes/segundo	1356747.891
Promedio Mbits/sec	10.859

Tabla 4.2. Datos captados en la prueba de vuelo en videostreaming.

La Figura 4.25 muestra el gráfico obtenido al recoger los datos durante 10 segundos, uan vez filtrado el tráfico de vídeo por un lado y las tramas de control por otro. Esta prueba nos permitió conocer el ancho de banda requerido para la entrega de video desde un ARDrone.

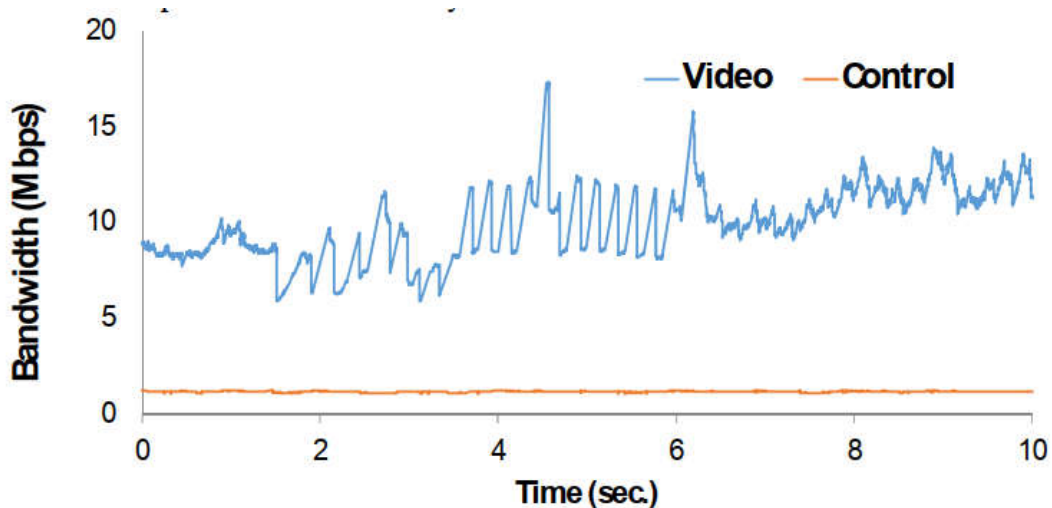


Figura 4.25. Tráfico de datos durante la prueba (protocolo de control RTP y AR Drone).

4.5 WSN en control de plagas en cultivos y almacenes

4.5.1 Descripción del sistema

Existen muchos sensores y dispositivos adicionales que se pueden añadir a la plataforma de gestión de un agricultor, de esta manera podemos reducir drásticamente el uso de biocidas y raticidas en cultivos y almacenes, lo que supone preservar una producción libre de tóxicos. El IoT puede ayudarnos a combinar todos estos elementos y crear una red autónoma de sensores de control plagas donde la información se envía a un sistema centralizado para controlar y gestionar el exterminio de algunas plagas. Existen trampas electrónicas comerciales (Wisecan, 2017), con el inconveniente del precio tan alto que tiene para ser un nodo en una red IoT, ya que debe de multiplicarse para cubrir una amplia zona. Otras marcas comerciales, que trabajan en la línea IoT, (Dimo Systems, 2017) pero sucede lo mismo, altos costes no soportables por los proyectos de gestión de plagas dedicados a empresas. Nuestra motivación para realizar incluir esta investigación en este trabajo se debe a que el control de plagas (Azfer et al., 2015) proporcionado por las empresas especializadas demandan una nueva plataforma multimedia para la monitorización de plagas donde obtener conocimiento sobre el mismo. Eso permite la toma de decisiones eficientes para gestionar la cantidad o las dimensiones de una plaga (Sendra et al. 2013) sin el uso de tóxicos biocidas.

Las plagas provenientes de insectos voladores o roedores suponen un gran problema Gail et al., 2017) para la cosecha y también para las granjas y almacenes (Buckle et al., 2017).

Determinar el orden de infestación (Lopez et al., 2012) en los cultivos, antepone la toma de decisiones para la corrección de la plagas en la disminución del número de ejemplares.

El cambio climático también afecta a la plagas (Flynn et al., 2017) y donde primero se detecta el cambio climático es en las plagas. Es un indicador que tenemos que tener más en cuenta. Esto hace que se descompense la capacidad de resistencia y de defensa porque hay plagas continuadas y esto es muy peligroso (Corrigan et al., 2013). Hay enfermedades que van subiendo en latitud y altitud porque ha dejado de hacer frío.

El sistema diseñado utiliza nodos sensores en trampas para roedores. Los diseños de hardware y software están incluidos en el sistema de control de plagas. El sistema será probado y se presentará una muestra de recolección de datos. Con todo eso, podemos demostrar la utilidad del sistema.

4.5.2 Nodos

Este sistema es un WSN que combina muchos componentes de hardware y software que centralizan los datos en sistemas decisivos inteligentes. Desde el middleware, se implementa algoritmos para encaminamiento dinámico de la red. Las interfaces inalámbricas utilizadas en esta red son las RF24 (RF24Network Layer v.1.0.7, 2017). Chip integrado de “low Cost” de la compañía Nórdic (Nordic Semiconductor, 2017), que proporciona comunicación de bajo consumo a precios por debajo de los 2€, ver dispositivo en la Figura 4.26.

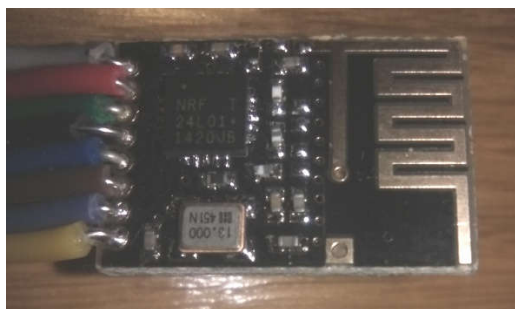


Figura 4.26. Transceptor radio de comunicaciones NRF24I01.

El firmware de los nodos se caracteriza por la implementación de funciones de ultra-bajo consumo que duerme al nodo y se despierta por medio de la interrupción generada por el sensor, en la Figura 4.27, se muestra el código de un nodo, necesario para el flujo de trabajo correcto.

```

unsigned long SLEEP_TIME = 43200000; // Sleep time 12 hours(in milliseconds)
#define DIGITAL_INPUT_SENSOR 3 // digital input you attached your sensor.

void setup()
{
  pinMode(DIGITAL_INPUT_SENSOR, INPUT); // digital pin as input
  . . .
}

void loop()
{
  // Read digital motion value
  // Power up radio
  radio.powerup();
  delay(3);
  bool value = digitalRead(DIGITAL_INPUT_SENSOR) == HIGH;
  . . .
  Serial.println(value);
  send(msg.set(value?"1":"0")); // Send value to coordinator
  . . .
  // Power up radio
  radio.powerdown();

  // Sleep until interrupt comes in on sensor.
  sleep(digitalPinToInterrupt(DIGITAL_INPUT_SENSOR), CHANGE, SLEEP_TIME);
}

```

Figura 4.27. Parte del código implementado en el nodo con funciones de ultra-bajo consumo energético.

Los sensores PIR que están protegido por una carcasa de plástico (ver Figura 4.28) permite detectar movimiento, casi siempre usado para detectar si un roedor tiene movido dentro o fuera del rango de sensores dentro de la trampa. Fuera de La trampa puede ser detectada hasta 5 metros (110º x 70º). El sensor Funciona en modo de operación de baja potencia con un consumo de ~ 100 µA.



Figura 4.28. Envoltente del Nodo y lente del sensor PIR.

Los sensores se utilizan para convertir un evento del entorno físico en una señal eléctrica o bytes de datos. Nuestros detectores de movimiento, que se muestra en la Figura 4.28 superior, funcionan con la presunción de que el ambiente la temperatura es mucho más baja que la del cuerpo del roedor que es que se pretendía detectar. La temperatura corporal de una rata es de alrededor de 37,5°C -38,5°C. Si la temperatura ambiente es cercana o superior a la temperatura corporal del roedor, el dispositivo es totalmente estanco. La Figura 4.29

inferior muestra la señal detectada por el sensor PIR. Cuando se detecta una rata, la amplitud de la señal disminuye.

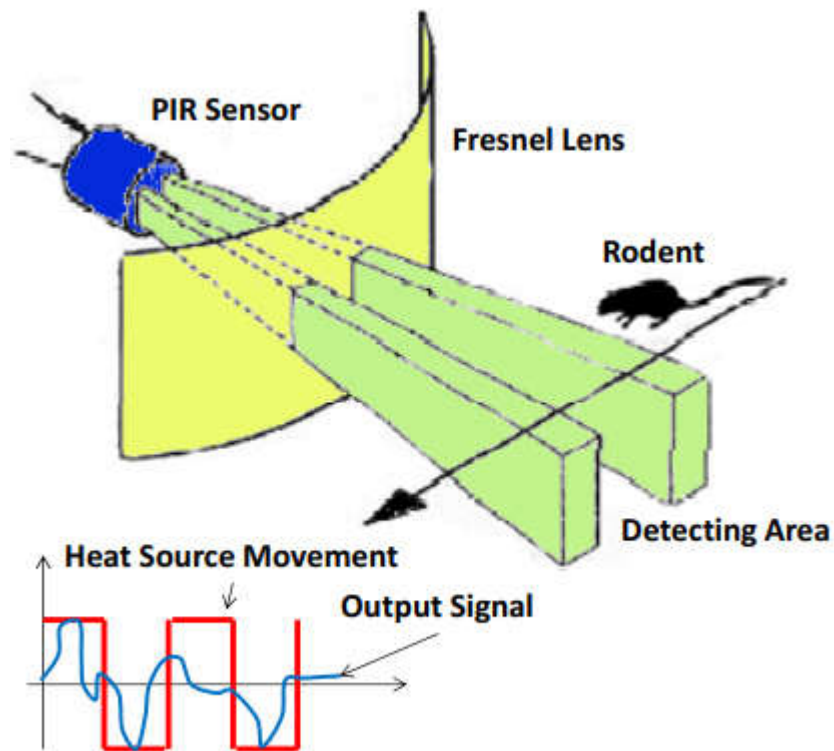


Figura 4.29. Esquema de detección de movimiento.

4.5.3 Despliegue de la WSN

El despliegue de la red se estudia a través de los puntos de entrada de los roedores o zonas de paso, es allí donde se van a distribuir las trampas para lograr un mayor número de captura.

4.5.4 Arquitectura

El sistema diseñado utiliza nodos-sensores en las trampas para roedores. Los diseños de hardware y software están integrados en un sistema de gestión de alarmas. La Figura 4.30 presenta la arquitectura para la detección de trampas sistema.

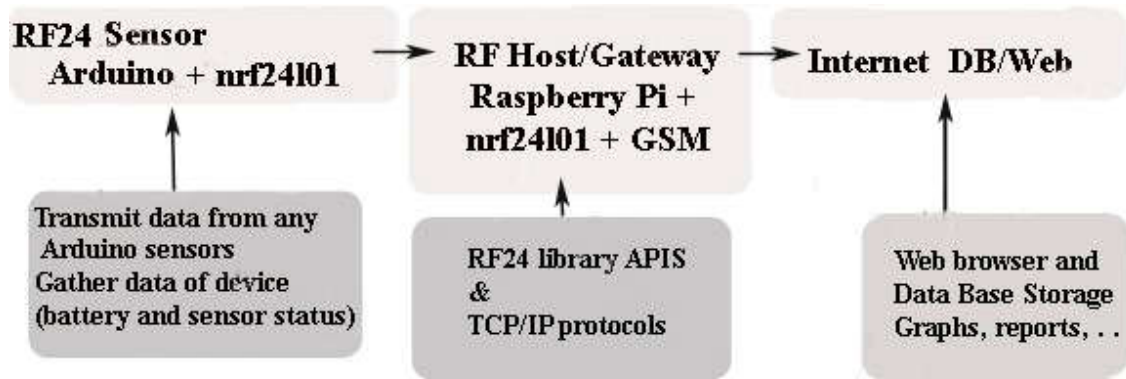


Figura 4.30. Arquitectura del sistema.

Un tipo de paquete estándar se envía de forma inalámbrica por el NRF24 empleando el formato presentado en la Figura 4.31. El mensaje comienza con un preámbulo que la radio usa para identificar los paquetes entrantes. El siguiente campo es la dirección del nodo de destino donde su longitud varía de 3 a 5 bytes, el mensaje va desde 0 a 32 bytes y el CRC de control de 0 a 2 bytes.



Figura 4.31. Paquete de transmisión.

4.5.5 Resultados y discusión

Estas son varias series comerciales de bajo costo de 2.4 GHz Módulos de radio basados todos ellos en el Nordic Semiconductor nRF24L01+. Está integrado en un Arduino de baja potencia unida a un sensor PIR. En nuestro escenario, el nRF2401+ de bajo coste con un alcance de la comunicación que oscila entre 40 y 100 metros. El corto alcance no es un problema para nuestro escenario porque estamos estudiando el potencial en industrias de alimentos, granjas y almacenes con roedores (Suwannarong et al. 2015) y problemas de plagas. El alcance depende en gran medida de la situación y es mucho mayor con una línea de visión clara en el exterior que en el interior, con efectos de paredes y materiales. Para resolver este problema en interiores, hemos trabajado en un marco para crear una red de malla dinámica (Chowdhury et al., 2013). Para realizar nuestras pruebas, hemos creado un escenario con cinco nodos hijo y con un salto entre nodos (13, 12, 22, 32 y 42), tres nodos

principales (1, 2 y 3) y un coordinador de red (0). La Figura 4.32 muestra un esquema de una red de sensores desplegada en un almacén que consiste en un nodo maestro, nodos padres y cinco nodos hijos que envían los datos de estado de las trampas para roedores al nodo maestro.

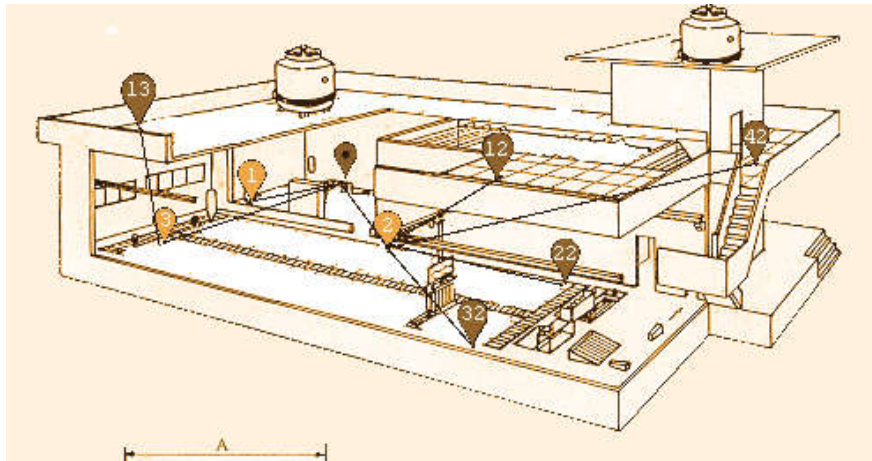


Figura 4.32. Localización de las pruebas de funcionamiento, almacén.

La fase de análisis se desarrolló utilizando un analizador de red en un portátil. Reunió todos los paquetes de la red ad hoc correspondiente al protocolo RF24 y al control de red (principalmente del protocolo de encaminamiento). Cuando se recibe el mensaje coincide con la dirección del receptor de la radio y el CRC es válido o está desactivado, la radio almacenará la carga útil en un archivo memoria interna de la Arduino mini conectada a nRF24 vía SPI. La longitud máxima de la carga útil está limitada a 32 Bytes. Hemos realizado algunas pruebas de rango utilizando el ACK de los módulos nRF24L01+, y hemos notado que usando diferentes tamaños de paquetes afectaría el número de paquetes por segundo transmitido. El tráfico de encaminamiento en la malla nRF24L01+ es similar al de la malla escenario de creación de subredes IPv4 (Tie, et al., 2016) y cada radio tiene una un canal de comunicación único (tubería) que permite que el para escribir simultáneamente en 1 tubería y leer desde 6 tuberías. Cada tubo tiene una dirección única de 40 bits. La Figura 4.33 muestra el tráfico en bytes generados cuando un nodo del sensor padre está transmitiendo al destino del coordinador de la red.

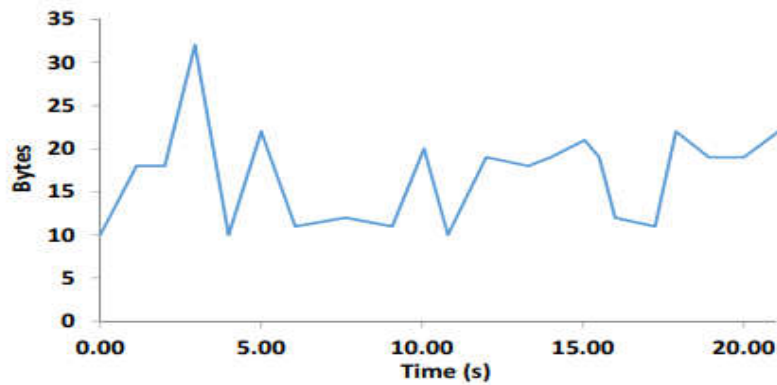


Figura 4.33. Tráfico generado desde un nodo durante la transmisión en una red tipo estrella.

Si las direcciones se asignan de acuerdo con la disposición física de la red, los nodos encaminarán el tráfico automáticamente según sea necesario. Los usuarios simplemente construyen un encabezado que contiene el comando dirección de destino apropiada, y la red la reenviará hasta el nodo correcto. Los nodos individuales sólo encaminan fragmentos individuales, por lo que, utilizando la fragmentación, los nodos de encaminamiento hacen lo siguiente y no necesitan ser habilitados, a menos de que al enviar o recibir cargas útiles estén fragmentadas. Cuando se envían datos entre los nodos padre e hijo, la función de la transmisión de la red utiliza un reconocimiento incorporado y restablece las funciones del chip para evitar la pérdida de datos. Cuando las cargas útiles son enviadas a otros nodos, necesitan ser encaminadas. El encaminamiento se gestiona mediante una combinación de solicitudes de ACK integrado (Saha et al., 2015). Esto permite que todos los nodos de encaminamiento reenvíen datos muy rápidamente (D'Errico et al., 2011) con sólo el último nodo de la hoja de ruta que confirma la entrega y el envío de un acuse de recibo. La Figura 4.34 muestra el tráfico generado en este escenario. No sólo se reenvían los datos cuando un nodo detecta una pero también se transmite cuando cambia el nivel de la batería así como para enviar mensajes en vivo para saber que el nodo es trabajando sin problemas de señal.

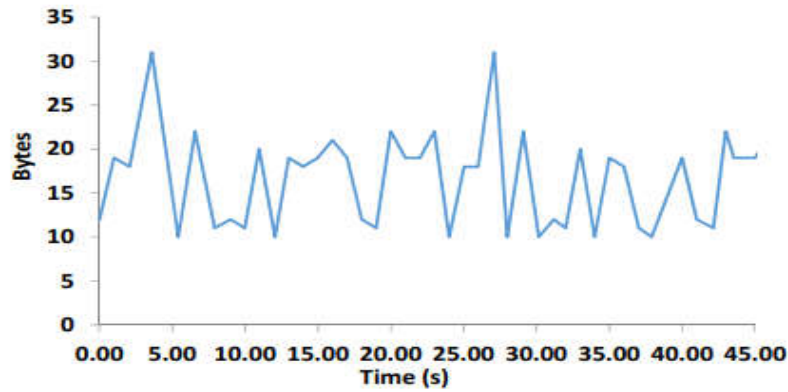


Figura 4.34. Tráfico generado durante la transmisión de un evento usando una topología multisalto en una red mallada.

Los resultados de las pruebas como la medición de la transmisión en la topología multisalto a diferentes velocidades de datos y tamaño de la carga útil proporcionan los siguientes resultados:

1. Varios tamaños de mensaje son múltiplos del máximo longitud de datos de una sola trama RF24.
2. No existe una relación estricta entre la velocidad de datos y la que hay en ciertas ocasiones en un mensaje a una velocidad de transmisión de datos más alta donde tarda más tiempo en ser transmitida que un mensaje de tamaño similar enviado a un número de nodo más bajo.

Se observó que durante el funcionamiento, nRF24L01+ consumidos entre 12,38 mA y 16,1 mA.

La Figura 4.35 muestra el tráfico generado cuando un nodo envía un mensaje de "Keep alive". Cada 128 paquetes enviados alrededor de 4-6 paquetes no llegan al destino, dependiendo de la ubicación del nodo y la distancia entre nodos.

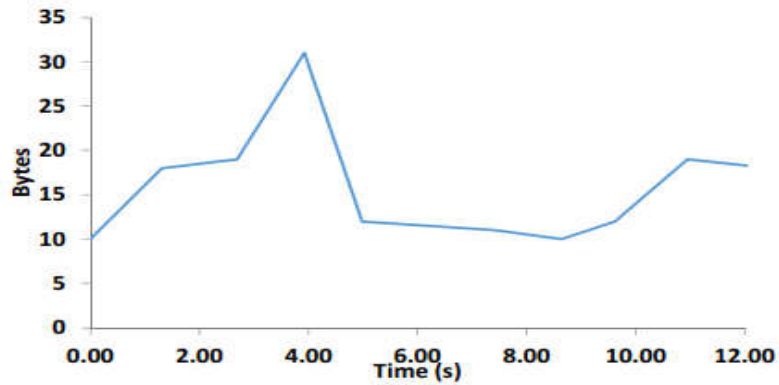


Figura 4.35. Tráfico generado durante la transmisión de un estado de vida de un nodo en una red de tipología estrella.

Los resultados del sistema de detección funciono en el escenario real durante 2 meses, donde técnico de empresa comprueba trampas y alarmas de ceptos. El sistema está compuesto por 8 trampas con nodos de sensores y 1 nodo coordinador de la red.

4.6 Conclusiones

Hemos mostrado una propuesta donde la base tecnológica de nuestros desarrollos se basa en el uso de redes de sensores, usando diferentes protocolos y tecnologías de comunicación para la adquisición de datos en su origen, terrestres y aéreos. La implementación de una red de sensores con estructuras de comunicaciones adaptadas según la información a enviar, localización de los mismos, estudio de condiciones ambientales, etc. son esenciales para poder tener un sistema robusto de captación de datos. Capas superiores se encargan de procesar los datos de manera centralizada. Como hemos visto se ha tratado de desplegar redes en todos los posibles escenarios existentes en la agricultura, redes de sensores en cultivos al aire libre, desarrollando nuevas implementaciones, como redes mallas multisalto para solventar problemas de sombras de comunicación comunes en el ámbito rural extensivo. También hemos trabajado en un campo de actualidad, como son los cultivos de invernadero donde se automatizan procesos de análisis de variables y a través de redes de monitoreo aéreo, una tecnología potencialmente beneficiosa en la agricultura que necesita de redes IoT o WSN dinámicas para tener una importancia relevante. Las plagas provenientes de insectos voladores o roedores suponen un gran problema para la cosecha. Determinar el orden de infestación en los cultivos, antepone la toma de decisiones para la corrección de la plagas en la disminución del número de ejemplares.

El sistema propuesto utiliza redes de nodos de sensores en trampas para roedores. Los diseños de hardware se centran en una optimización de consumo energético y envío de correcto de alarmas detectadas, el software central se encarga de digerir todos datos y emitir notificaciones al usuario, de esta manera podemos tomar decisiones preventivas conforme avanza la plaga.

Cada una con diferentes resultados de estos trabajos se ha publicado satisfactoriamente en la comunidad científica.

Finalmente, el trabajo presentado ha sido publicado en las siguientes referencias (Cambra et al., 2013), (Cambra et al., 2013b), (Cambra et al., 2016), (Cambra et al., 2017), (Cambra et al., 2017b), (Cambra et al., 2018).

5. Gestión y procesamiento de datos

5.1 Introducción

El desarrollo y la línea de trabajo realizada en las contribuciones de esta tesis son bien recibidas por las opiniones de algunos agricultores que compran maquinaria o sistemas de alta tecnología, pero no son expertos técnicos para usarla, y demandan soluciones integradas y sencillas de manejar, ya que, cada maquinaria o sistema tiene un controlador privado y no permite la comunicación entre estas tecnologías, por ello, es necesario agrupar y automatizar varios procesos de integración de datos en una única plataforma amigable para el usuario. El sistema presentado en este documento permite realizar la tarea a través de una cadena de herramientas gráficas basadas en un entorno web, que se basa en el software estándar BRMS y formatos de datos abiertos que provienen de los resultados de la minería de datos, algoritmos de entrenamiento de predicciones, etc., es un tema de investigación actual en el que se va a centrar la línea futura de trabajo postdoctoral.

5.2 Descripción del sistema

El sistema de toma de decisiones en agricultura es un recurso diseñado para enfrentar problemas complejos como las dosis de riego adecuadas o el número de unidades nitrogenadas necesarias por el cultivo. Para ello es necesaria una capa middleware para conectar la capa de redes de programadores con la capa del motor de reglas de decisiones.

La siguiente tabla, la Tabla 5.1, es un resumen de las herramientas y las principales características relacionadas que se utilizaron en el desarrollo de PLATEM y sus diferentes niveles.

Tecnología	Nivel de desarrollo	Ejecutándose en...	Comercial o desa propio
MySQL	Base de datos	Servidor	Comercial
PHP	Backend	Servidor	Comercial
HTML5	Frontend	Servidor	Comercial
Java	Middleware	Servidor	Propio
Drools/AD	Capa de reglas de negocio	Servidor	Comercial/propio
C/Python	RF Firmware	Nodos	Propio + librerías
C/Python	Controlador Firmware	Nodos	Propio + librerías

Tabla 5.1. Tecnologías software usadas en PLATEM PA.

5.3 Implementación de un sistema de gestión de centralizado

Esta sección presenta la solución propuesta basada en una WSN conectada a controladores de riego. La capa 2, ver en Figura 5.1, consiste en un middleware de coordinador de red, un sistema de almacenamiento y pre-procesado de datos capturados.

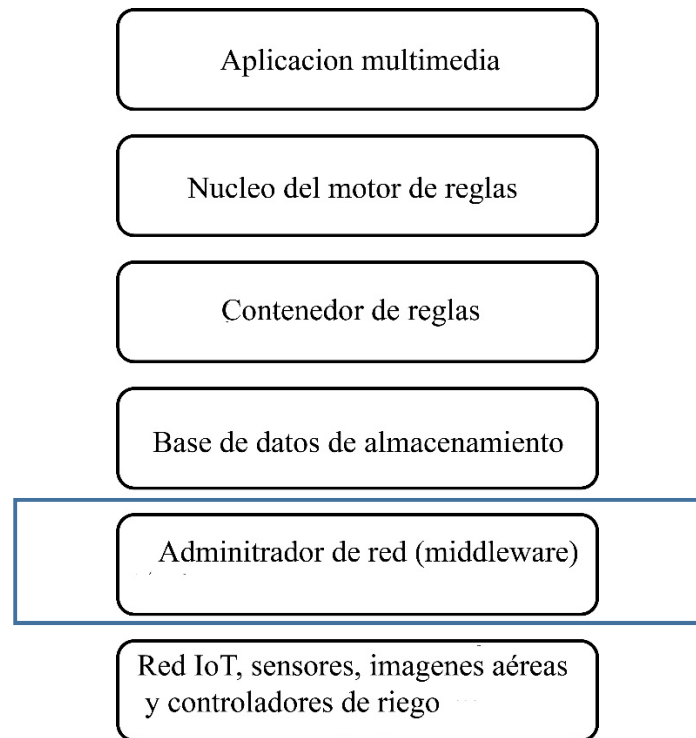


Figura 5.1. Capas del sistema de procesamiento de datos dentro del sistema PLATEM PA.

El objetivo de PLATEM PA es construir una plataforma multimedia para ofrecer una gestión centralizada. La propuesta es adaptable y ofrece información sobre el clima de diferentes lugares, tierras condiciones y requerimientos de agua necesarios para mejorar eficiencia de la granja Proponemos incluir el potencial de malla redes en un sistema de riego inteligente para adaptar el riego calendario para tener un mejor sistema de decisión de agronomía, para mejorar la eficiencia y ahorrar recursos. Además, se tienen en cuenta los sistemas inteligentes de asignación de canales para evitar interferencias entre ellos (Zhanlin et al. 2011).

El middleware de red (identificado como capa 2) tiene el rol para crear la mejor ruta para comunicar dispositivos y agregar nuevos nodos por el método de descubrir vecinos con los mejores Intensidad de señal. Con el estudio de este parámetro, la mejor ruta para transmitir la información está diseñado. El sistema también carga alguna información esencial a la base de datos, como estado de la batería, la intensidad de la señal y el ID del dispositivo. Cuando un paquete se transmite desde el coordinador al punto final del nodo, 2 bytes de este paquete incluyen la información sobre la señal fuerza. El método de portador en blanco se usa para escuchar las ráfagas durante 1 minuto. Los nodos pueden descubrir nodos y

proporcionar encaminamiento dinámico de hasta 3 saltos. Durante la transmisión de datos, el transmisor emite durante 10 ms cortos períodos de datos, que mejora el ahorro de energía. La solución propuesta para la informática de datos se basa en SOA principios para abordar la flexibilidad y permitir fácilmente la integración de problemas presentados en los sistemas de producción de cultivos. Eso facilita tomar decisiones rápidas e inteligentes. El peso de la red de comunicaciones recae sobre el middleware, pero también es el encargado de procesar los datos y prepararlos para guardarlos en base de datos en un formato adecuado para nuestro uso. En la Figura 5.2 se muestra la franja de trabajo desempeñado por la capa 2 dentro de una transmisión de datos.

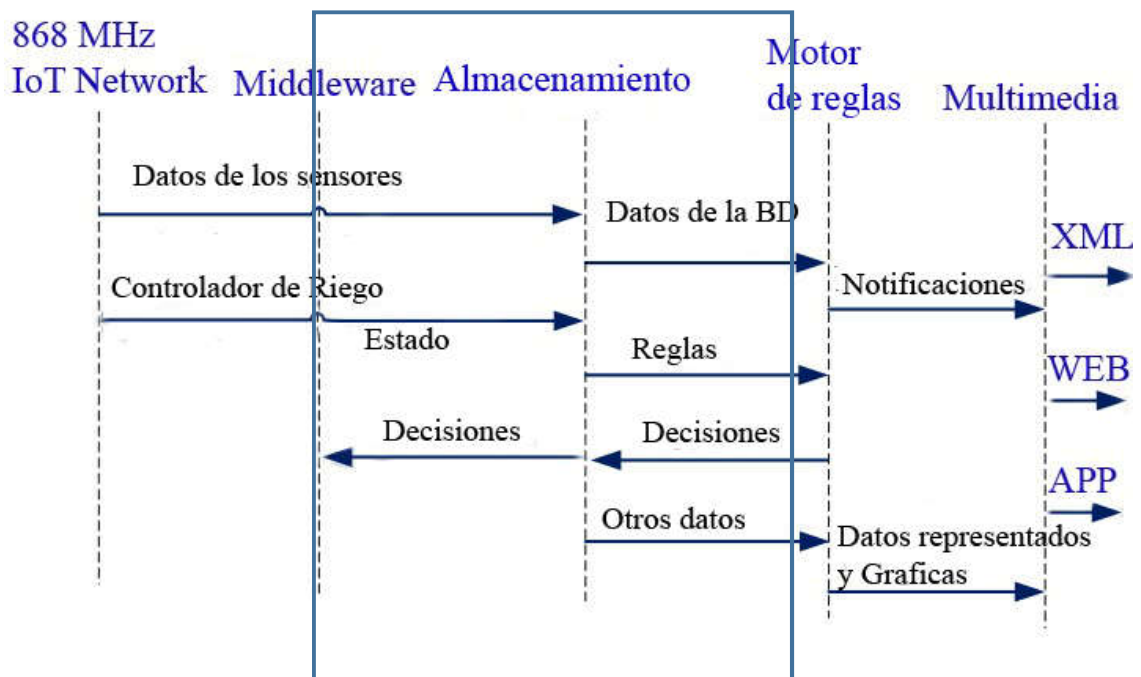


Figura 5.2. Trasmisiones de paquetes de datos.

5.4 Implementación de datos ambientales

5.4.1 Adquisición de datos de estaciones meteorológicas

La agricultura es una actividad directamente relacionada con el clima. La cantidad de agua de lluvia, la humedad almacenada en el suelo, constituyen algunos de los componentes del clima que repercuten en la producción de cosechas. La presencia de plagas y enfermedades, la eficiencia en la absorción de nutrientes, la demanda de agua por las plantas y la duración de los ciclos vegetativos, dependen también en gran medida de las condiciones del clima.

La estación meteorológica instalada en una WS300, ver en Figura 5.3, consta de tres sensores una veleta, un anemómetro y un pluviómetro. Se conecta a nodo transceptor radio a través de seis cables.



Figura 5.3. Estación Meteorológica instalada en campo.

El anemómetro consiste en un interruptor de lengüeta normalmente abierto que se cierra por un corto período de tiempo. Cuando los brazos del anemómetro completan un ángulo de 180°, la salida es una señal digital cuya frecuencia será proporcional a la velocidad del viento con valor en kilómetros por hora (km/h)

La veleta consiste en un gorro que gira libremente sobre una plataforma dotada de una red de ocho resistencias conectado a ocho interruptores que están normalmente uno o dos cerrados cuando actúa un imán del gorro giratorio, lo que nos permite distinguir hasta 16 posiciones diferentes (el equivalente a una resolución de 22.5° de giro). La resistencia

equivalente de la veleta, junto con una resistencia de 10 k Ω , forma un divisor de voltaje, alimentado a 3.3 V a través de un interruptor digital controlado por el pin de salida por el que se puede medir en la entrada analógica.

El pluviómetro consiste en un pequeño cubo que, una vez lleno (0.28 mm de agua aproximadamente), se cierra un interruptor y se vacía automáticamente después. El sensor está conectado directamente a la entrada a través de una resistencia de pull-up y al pin de interrupción RXD1, permitiendo el disparo de una interrupción. El consumo de este sensor, en ausencia de lluvia, es nulo.

5.4.2 Estructura de comunicaciones con el middleware y base de datos

El servidor tiene tres componentes principales. La primera es una aplicación que puede registrar los datos del sensor externo en el sistema. El único requisito para que un dispositivo o aplicación se registre y se convierta en una fuente de datos es enviar los valores de acuerdo con el formato especificado que depende del tipo de sensor.

La siguiente parte presenta la gestión basada en el algoritmo de coincidencia de patrones Rete (Kawakami et al., 2014). Proporciona la base para una implementación más eficiente que podría verificar cada regla con hechos en una base de conocimiento, disparando la regla, si es necesario. Hay varias ventajas de este algoritmo, como reducir o eliminar la redundancia o permitir una eliminación eficiente de la memoria cuando se retractan los hechos. Llamamos contenedor de reglas a la parte de la base de datos donde se guardan las reglas del sistema. Existen entidades internas que contienen las reglas de parámetros de la funcionalidad de riego del sistema, las reglas de parámetros de agronomía y las reglas del tiempo.

El sistema necesita obtener experiencias y crear nuevas relaciones entre las reglas. Cada regla contiene dos secciones principales: la sección de condiciones y la sección de acciones. Las declaraciones comienzan con la palabra clave rule seguida del nombre de la regla (Skrabal et al., 2012).

5.5 Inserción de captura de datos aéreos

5.5.1 Fuentes de análisis aéreos (drones y satélite)

Utilizando drones con una cámara modificada, se planificaron y realizaron los vuelos mediante el software Mission Planer (Ardupilot, 2018), para lo cual se tuvieron en cuenta aspectos generales (alturas permitidas, obstáculos, vientos, puntos de lanzamiento y aterrizaje) y específicos del vuelo (altura, velocidad, coordenadas, características de las cámaras y software para definición del polígono del área de influencia). El objetivo de los vuelos era mapear las áreas (García-Sánchez et al., 2011) y la posterior generación de los ortomosaicos multispectrales mediante Agisoft y Pix4D (Pix4D, 2018) que toma como fuente de datos las imágenes georreferenciadas a través de la información que se recoge en el meta data de la imagen, para correlacionarlos con los niveles de población y vigor vegetal de las parcelas; evaluando las prestaciones y consumo de recursos computacionales de ambas aplicaciones de procesamiento de imágenes.

El mapa NDVI obtenido permite clasificar las parcelas dispersas a lo largo del campo, en dependencia de si la respuesta espectral es alta, baja o nula y en base a esta información trazar planes para una dosificación diferenciada de insumos. La correlación entre los valores de NDVI y el estado de salud de las plantas es alta, de manera tal que se muestran los mayores valores de índice NDVI (superior a 0.49 de acuerdo a los expertos) en las parcelas más saludables, bajos valores (entre 0.21 y 0.39) en las parcelas más afectadas por estrés nutricional o pobre densidad poblacional y casi nulos (NDVI por debajo de 0.21) en los sectores de vegetación pobre o suelo, ejemplo en la Figura 5.4.

Para la inserción de los datos numéricos en nuestra base de datos correspondientes a los valores obtenidos en las imágenes se realizan de forma manual. Se zonifican las imágenes según las zonas de vigor (3 zonas máximo) y se extrae la posición GPS para añadirla a la columna coordenadas de la tabla vigor. Lo importante en nuestro desarrollo es la capacidad de generar y entrenar algoritmos de optimización, por lo que es suficiente la inserción manual en base de datos, donde se sectorizan los valores por zonas de la parcela.

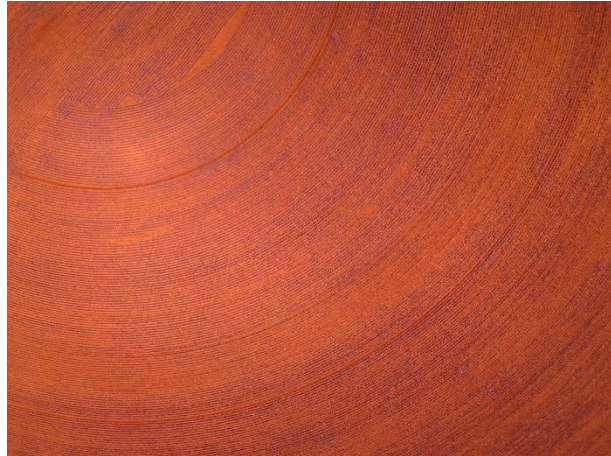


Figura 5.4. Imagen NIR captada mediante dron en campo de maíz.

5.5.2 Digitalización de imágenes y estructura de datos

Las imágenes de datos recogidos y procesados se representan en la Figura 5.5. Las capas de datos de origen, imagen georeferencia, proporcionan las coordenadas GPS del modelo de terreno digital para geolocalizar las áreas. La siguiente capa fuente, NDVI, es el resultado del algoritmo de cálculo del índice de vegetación, que decide cómo está la salud de la planta, el estrés hídrico o sobre hídrico, mediante la recopilación de imágenes de mapas aéreos de UAV o satélite. Empresas de tecnología ofrecen dispositivos comerciales capaces de ayudas en esta captura de datos, como los ofrecidos por Micasense. Inc (Micasense, 2019). La capa de resultado computacional puede crear zonas de clasificación diferencial donde la podemos anexar a la sectorización del riego los controladores de riego tienen diferentes parámetros, como agua y fertilizante para cada zona. Finalmente, la capa de riego CAD se puede utilizar para elaborar mapas y rediseñar el área.

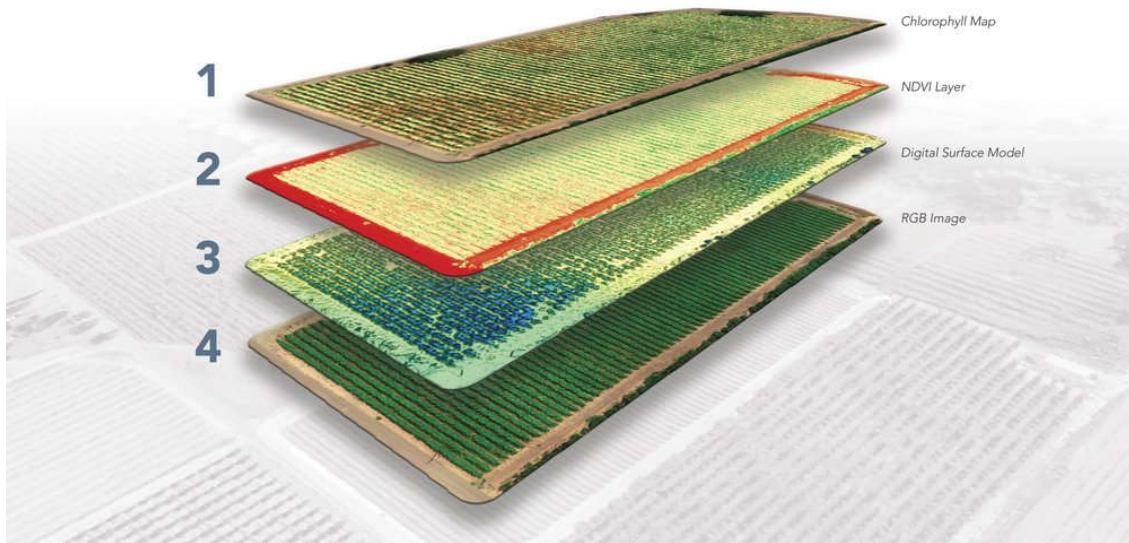


Figura 5.5. Diferentes capas de datos sectorizados. Fuente Micasense.

5.6 Sistema de toma de decisiones

5.6.1 Estructura del motor de decisiones

Este trabajo se ha realizado con el motor de reglas de negocio llamado Drools, basado en JBoss (JBoss Drools, 2017) y Red Hat. Es una plataforma de lógica de negocio, programada en Java, todo ello de código abierto.

Se implementa el algoritmo Rete Pattern de reconocimiento de patrones, el cual se destaca por su alto tiempo de ejecución. Drools contiene herramientas capaces de separar la lógica de la razón con el procesamiento de los datos de entrada.

Este sistema está basado en reglas las cuales se dividen en varias partes esenciales. La parte esencial es la que encuadra el when que significa que se cumple la regla y lanza la acción a realizar. Al trabajar con lista de programaciones de riego, intervalos de riego, tiempo de riego, calendario, etc. es necesario trabajar con una herramienta que soporta archivos de formato CSV y excel.

El proceso de preparación de una regla base se puede dividir en varios pasos consecutivos que se presentan en la Figura 5.6, donde se crean varias capas: preparación de datos, regla de asociación aprendizaje, selección de reglas, pruebas de modelos de clasificación, edición de conjuntos de reglas e implementación de reglas.

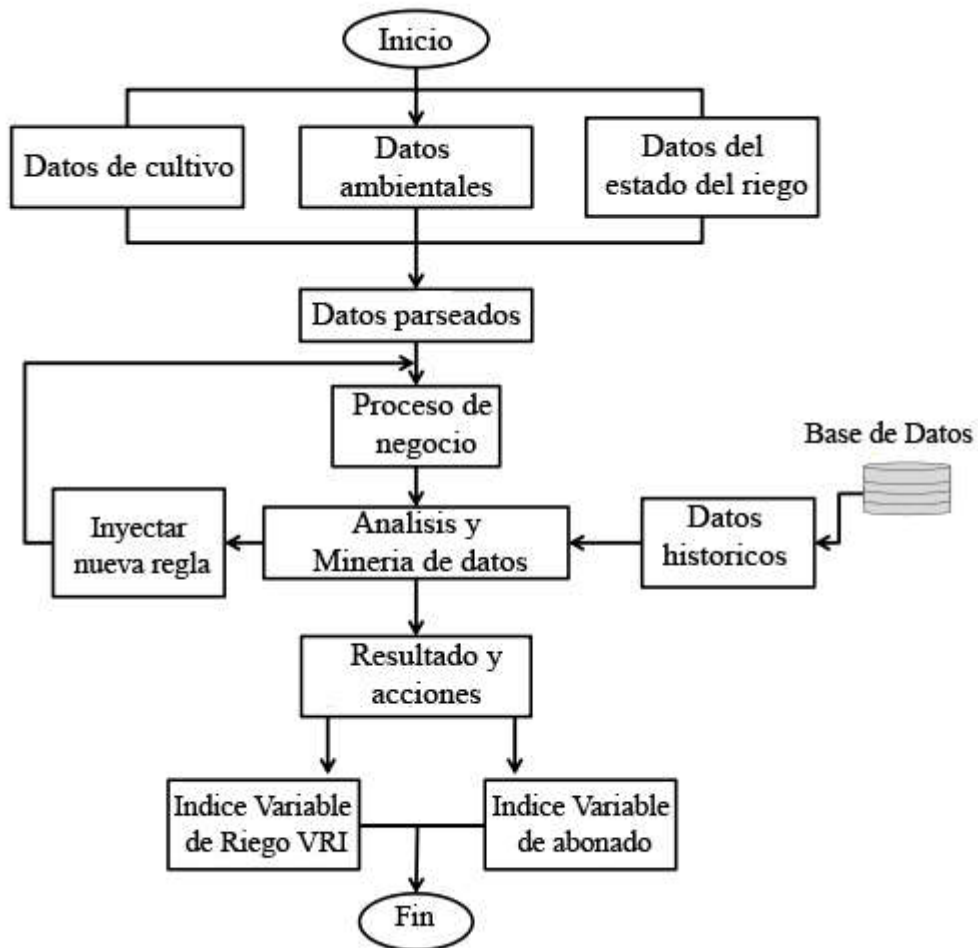


Figura 5.6. Diagrama de flujo sistema de decisiones inteligente.

Los árboles de decisión se generan manualmente para tomar decisiones óptimas. En este caso son variables agronómicas orientadas al cultivo. Los algoritmos de aprendizaje generan los modelos a partir de los datos sin la ayuda de humanos o con ayuda mínima. Los algoritmos de aprendizaje también pueden usarse para generar árboles de decisión. El uso de un algoritmo de aprendizaje requiere una heurística para evaluar las oportunidades disponibles y decidir cuál es la más cercana al resultado óptimo y darlo como solución. Sin embargo, esto

nunca garantiza la solución óptima, el modelo óptimo ya que puede variar desde el aprendizaje a los datos capturados.

El proceso de preparación de una base de reglas en Drools se puede dividir en varios pasos consecutivos que se presentan en la Figura 5.7: 1) preparación de datos, 2) aprendizaje de reglas de asociación dentro del árbol de decisión, 3) selección de reglas en Drools 4) pruebas de modelos de clasificación, matching 5) reglas coincidentes 6) despliegue de resultados. Estos pasos, que se pueden realizar con un navegador web estándar, se describen a continuación.

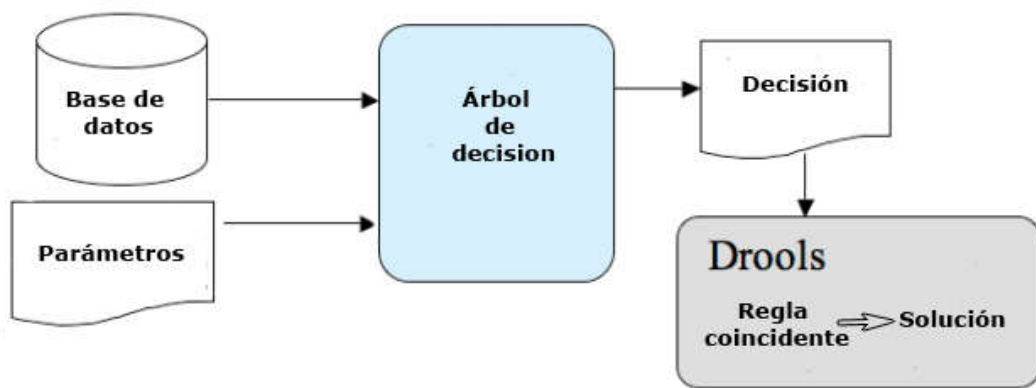


Figura 5.7. Diagrama de flujo del sistema.

5.6.2 Comparativa de Algoritmos de optimización

Existen muchos campos de investigación como medicina, microbiología, epidemiología y muchos otros, donde es muy importante predecir el resultado de una variable de respuesta binaria, o de forma similar obtener la probabilidad de éxito en una variable aleatoria de Bernoulli, en función conjunto de variables explicativas o co-variables de la relación que tiene esta variable con la regresión logística que es un modelo de regresión lineal generalizada donde se trata de predecir las probabilidades a posteriori de pertenencia de cada uno de los patrones de un conjunto de entrenamiento a uno de los valores que toma la variable dependiente mediante relaciones lineales con las variables predictoras.

El modelo de regresión logística, es una técnica habitual en estadística en la cual la probabilidad p de pertenencia a la primera clase se asocia con los valores x_n (x_1, x_2, \dots, x_n) en la forma:

$$\text{logit}(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = f(x, \beta) = \beta^T x = \sum_{i=0}^k \beta_i x_i \quad (3)$$

donde $\beta = \beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ los coeficientes del modelo.

Estos coeficientes β , se estiman a partir de los datos del conjunto D. El método de estimación de estos coeficientes se basa habitualmente en el método de máxima verosimilitud, construyendo para ello la función:

La matriz Hessiana asociada al procedimiento de maximización del (β) es definida parcialmente negativa, lo que implica que dicha función es cóncava sobre el parámetro β .

$$l(\beta) = \sum_{i=1}^{n_r} \{y_i \log p(x_i; \beta) + (1 - y_i) \log(1 - p(x_i; \beta))\} = \sum_{i=1}^{n_i} \{y_i \beta^T x_i - \log(1 + e^{\beta^T x_j})\} \quad (4)$$

5.6.3 Algoritmos de optimización ID3 y C4.5

El algoritmo empleado para este caso es el ID3, creado por Quinlan en 1983.

Este algoritmo empieza por responder que atributo es el raíz del árbol, por lo general, el más representativo.

Las medidas que se usan son:

Entropía: introducida por Shannon en su teoría de la información

$$S(E) = \text{info}(E) = - \sum_{(j=1)}^{(k)} P_j \log_2 P_j \quad (5)$$

Siendo P_j la proporción de ejemplos de clase C_j en el conjunto E

Efectividad de un atributo para subdividir un conjunto de ejemplos en n subconjuntos (uno por cada posible valor de X) es el valor esperado de la entropía tras efectuar la partición, y se calcula como una suma ponderada de cada subconjunto E_i

$$S(E, X) = \text{info}(E, X) = \sum_{(i=1)}^{(n)} \frac{|E_i|}{|E|} * \text{info}(E_i) \quad (6)$$

Ejemplo de algoritmo en condiciones meteorológicas óptimas para riego:

Se introduce unas mejoras por el creador del algoritmo ya que existen limitaciones que se solventan con la extensión del algoritmo C4.5.

La mejora se basa en introducir una medida alternativa, el ratio de ganancia, definida por:

$$ratio(E, X) = \frac{ganancia(E, X)}{info_{part}(E, X)} \quad (7)$$

La extensión del algoritmo se ordena los valores y se selecciona en cada nodo el atributo con mayor ratio de ganancia. El objetivo es generar un intervalo booleano desde un punto de umbral.

De esta forma cuando iniciamos el entrenamiento podemos considerar el valor más común como umbral del nodo.

Elegir un atributo u otro depende de los costes que puedan tener cada uno, en nuestro caso tenemos el atributo viento, que puede tener un coste alto en determinar si detiene el funcionamiento del riego ante un valor alto, pero el atributo horario tienen un coste mayor si no tenemos suficientes horas de riego para poder realizar la programación con la parada de viento activada. Por esta razón tenemos que añadir una ganancia/coste al tributo.

Un sobre-entrenamiento puede conllevar un aumento del error de clasificación, como se muestra en los resultados más adelante mostrados, ya que se adapta a las irregularidades que pueda tener el entrenamiento, como nos muestra el árbol de la Figura 5.8.

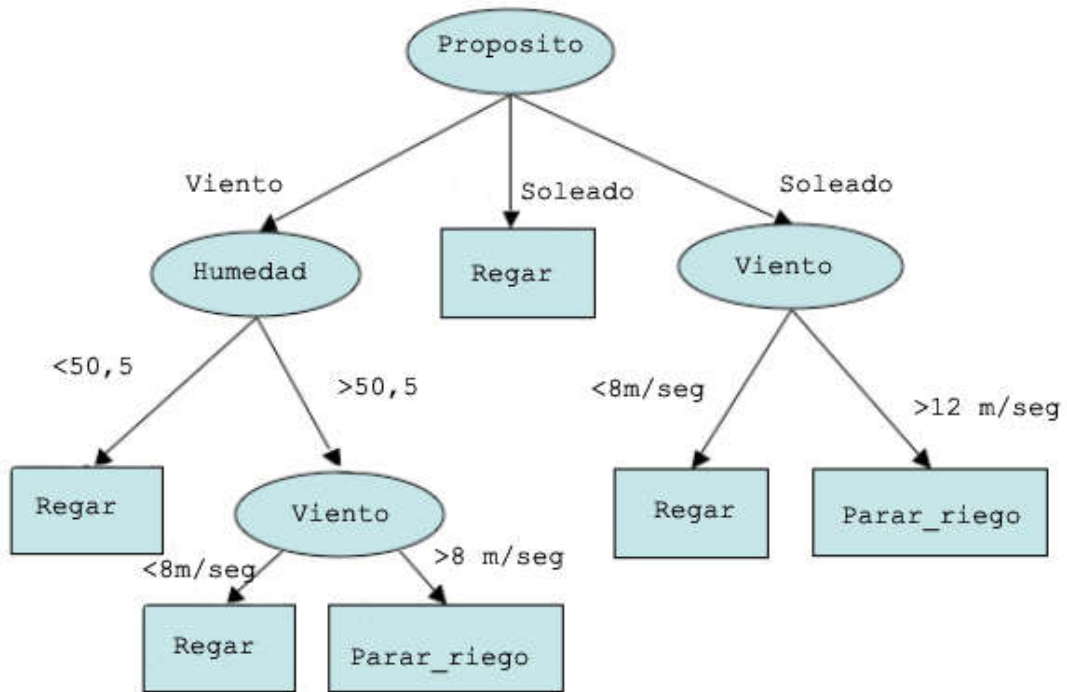


Figura 5.8. Árbol de decisión para los objetos de riego.

Una vez construido y entrenado el árbol de decisión, convertidos el árbol en un conjunto equivalente de reglas acordes a las creadas en nuestro motor de reglas.

5.6.4 Árboles de decisiones

Cuando entrenamos el árbol de decisión, ver Tabla 5.2, con el algoritmo podemos usar ambos de tipo atributo, discreto y continuo, para dividir las instancias en cada nodo. Así, las condiciones de las reglas pueden contener solo igualdad, es decir, perspectiva == lluvia o desigualdad, es decir, humedad > 87.5 restricciones.

Atributo	Variable	Dominio Tipo	Información
decisión	Regar / Parar Riego	Binario	Atributo destino
pronostico	Nublado/lluvia/Soleado	Discreto	Condiciones de tiempo
Temperatura	-	Continuo	Valor entero entre
Humedad	-	Continuo	Valor entero entre
Viento	-	Continuo	Valor entero entre

Tabla 5.2. Estructura de decisiones.

5.6.5 Reglas de negocio

Como algoritmo de reglas aprendizaje (Kliegr et al., 2014) la versión actual usa un procedimiento simple implementado en el sistema. Para iniciar el aprendizaje de reglas de

asociación en Drools, se requiere que el usuario ingrese una definición de patrón de regla que sea un perfil de cultivo y de campo. El usuario selecciona los atributos de los atributos y la lista de selección en un DB contenedor de patrones de reglas. Por defecto, los atributos están conectados con una conjunción, pero el sistema también admite conectivos de disyunción y negación.

Para cada atributo en el patrón de regla, también es posible introducir nuevas reglas en el conjunto de sus valores considerados durante el proceso de coincidencia.

El usuario puede entonces cambiar los parámetros de la tarea de aprendizaje de reglas, por lo general haciendo un cambio en el patrón de reglas, a veces con diferentes ubicaciones o estaciones; necesitamos ajustar algunos valores Las reglas se guardan agrupadas por tareas de minería de datos y los atributos de actualización de contenedor de reglas de las mismas.

Para la clasificación, es esencial que las reglas que ingresan al portapapeles se elijan para maximizar la precisión de los datos. La precisión se calcula en el conjunto de datos de entrenamiento o en un conjunto de datos de prueba por separado. El sistema exporta los resultados de la regla guardados en el portapapeles a una base de datos creada con MySQL, donde el middleware puede enviar de vuelta al controlador de riego de reconfiguración, ver Figura 5.9. El sistema también puede publicar datos de búsqueda de usuarios en la vista web, donde el usuario puede recibir información sobre los resultados de las reglas.

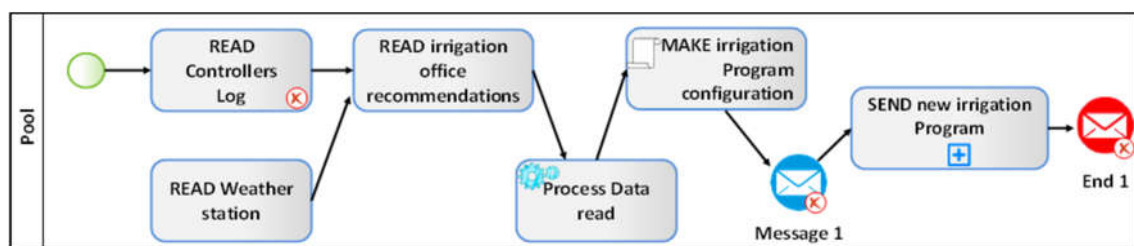


Figura 5.9. Esquema de origen-destino de la adquisición de datos.

El servidor tiene tres componentes principales. La primera es una aplicación que puede registrar los datos del sensor externo en el sistema. El único requisito para que un dispositivo o aplicación se registre y se convierta en una fuente de datos es enviar los valores a través de la comunicación del socket al middleware donde, prepara los datos al formato especificado, que depende del tipo de sensor. Los diferentes sensores usados, como son, presión, caudal, humedad de suelo, temperatura, pH y viento tienen diferentes formas de

lectura, como analógica tensión de 0-10v, intensidad 4 20 mA o protocolos de lectura como SDI-12 (habitual en las sondas de humedad) o RS232.

La siguiente parte presenta la administración de Drools basada en el algoritmo de coincidencia de patrones Rete (Walzer et al. 2008). Proporciona la base para una implementación más eficiente que podría verificar cada regla con hechos en una base de conocimiento, se muestra en la anterior Figura 5.9, disparando la regla, si es necesario. La Figura 5.10 muestra el archivo de extensión drl donde se incluyen las reglas básicas.

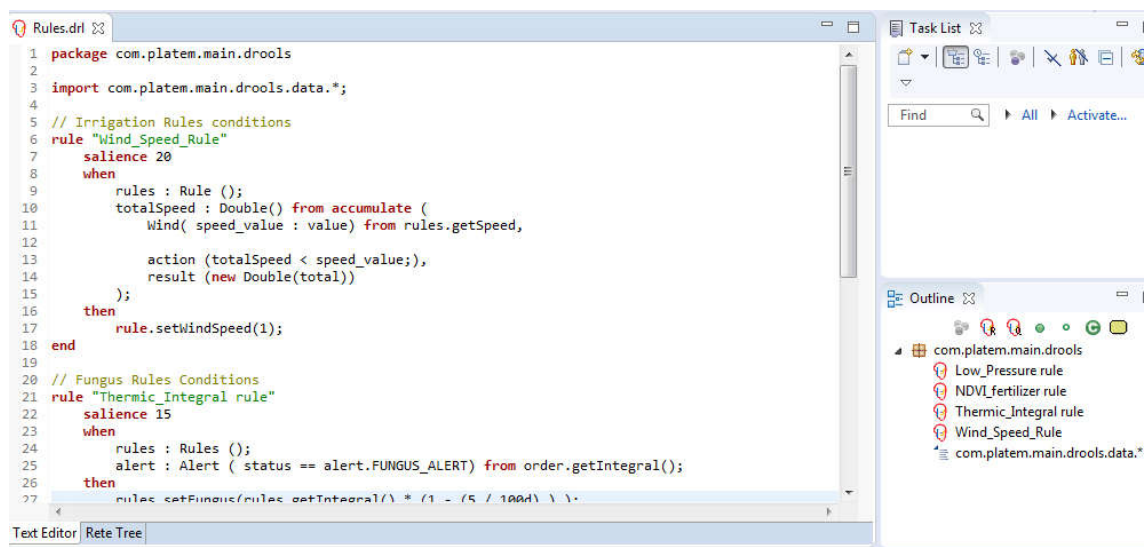


Figura 5.10. Reglas de negocio en entorno de programación Eclipse Drools.

Hay varias ventajas de este algoritmo, como reducir o eliminar la redundancia o permitir una eliminación eficiente de la memoria cuando se retractan los hechos. Llamamos contenedor de reglas a la parte de la base de datos donde se guardan las reglas del sistema. Hay entidades internas que contienen las reglas de los parámetros de las reglas de funcionamiento de riego del sistema, reglas de fertilización, reglas de control de plagas, reglas de parámetros de agronomía y reglas meteorológicas, en la demostración básica solo hay una regla de cada tipo. El sistema necesita obtener experiencias y crear nuevas relaciones entre las reglas. Cada regla contiene dos secciones principales: la sección de condiciones y la sección de acciones.

5.6.6 Entrenamiento de Algoritmo

La estructura de datos en el aprendizaje Multi-Relacional puede consistir en varias clases de objetos que describen atributos de objetos particulares. Sin embargo, todavía hay una clase de objeto que es el foco de la clasificación. El usuario debe elegir el tipo de objeto para

analizar seleccionando una de las clases de objeto como la clase objetivo. Cada objeto con la clase elegida se transformará en una sola instancia en el conjunto de datos. Después de elegir la clase objetivo, el usuario debe asignar un atributo en la clase para definir las etiquetas de las instancias.

Usamos el algoritmo llamado *Learner* para entrenar de forma básica un árbol de decisión como se puede observar la Figura 5.11

```

Learner(X, t, d)
Paso1  Input:
        X : a set of N labeled instances, and their distribution on target
        t : tree specification, i.e.,
        attrs: list of attributes,
        attrtarget: target attribute, and
        C[attrtarget]: list of target attribute categories
        depth: depth of branch
Paso2  Select winner from C[attrtarget]
        winner ← majority of votes of instances X on C[attrtarget]
Paso3  if vote(X) = winner, ∀ X ∈ X
Paso4  then return leafclassified (winner )
Paso5  if attrs = ∅
Paso6  then return leafnoAttributeLeft(winner )
Paso7  Choose attrbest to split X using heuristic function
Paso8  if ∃ criteria c ∈ list of Stopping Criterion : c = true
Paso9  then return leafmajority (winner)
Paso10 Create nodeNew and Split X by C[attrbest]
        Xc ← instances at category c
Paso11 for c ∈ C[attrbest]
        do
Paso12 Instantiate tree specification t
        ! excluding attribute attrbest
        attrs ← attrs - attrbest
Paso13 if Xc ≠ ∅
Paso14 then nodechild ← Learner(Xc, t!, depth +1)
Paso15 Set nodechild as child of nodenew at c
Paso16 else Create empty leafempty (winner)
Paso17 Set leafwinner as child of nodenew at c
Paso18 return nodenew
    
```

Figura 5.11. Código de un entrenador del árbol de decisiones.

5.6.7 Operaciones con reglas DRL

El árbol de decisiones produce las reglas en el archivo DRL. Los resultados de la clasificación ya pueden ser analizado por Drools y obtenemos el árbol Rete, mostrado en la Figura 5.12.


```

1 package examples.learner;
2 import examples.learner.IrrigationConditions
3 rule "#0 decision= StartRain classifying 4.0 num of facts with rank:0.2857142857142857"
4     when
5         $Irrig_0 : Irrigation(outlook == "overcast", $target_label : decision )
6     then
7         System.out.println("[decision] Expected value (" + $target_label + "),"+ "Classified as (Start_Irrigation )");
8     end
9 rule "#3 decision= Start_Irrigation classifying 3.0 num of facts with rank:0.21428571428571427"
10    when
11        $Irrig_0 : Irrigation(outlook == "rain", windy <= 8, $target_label : decision )
12    then
13        System.out.println("[decision] Expected value (" + $target_label + "),"+ "Classified as (Start_Irrigation )");
14    end
15 rule "#4 decision= Stop_Irrigation classifying 3.0 num of facts with rank:0.21428571428571427"
16    when
17        $Irrig_0 : Irrigation(outlook == "rain", humidity > 87, $target_label : decision )
18    then
19        System.out.println("[decision] Expected value (" + $target_label + "),"+ "Classified as (Stop_Irrigation )");
20    end
21 rule "#1 decision= Start_Irrigation classifying 2.0 num of facts with rank:0.14285714285714285"
22    when
23        $Irrig_0 : Irrigation(outlook == "sunny", humidity <= 77, $target_label : decision )
24    then
25        System.out.println("[decision] Expected value (" + $target_label + "),"+ "Classified as (Start_Irrigation )");
26    end
27 rule "#2 decision= Stop_Irrigation classifying 2.0 num of facts with rank:0.14285714285714285"
28    when
29        $Irrig_0 : Irrigation(outlook == "cloudy", wind >= 12, $target_label : decision )
30    then
31        System.out.println("[decision] Expected value (" + $target_label + "),"+ "Classified as (Stop_Irrigation )");
32    end
33

```

Figura 5.12. Archivo DRL Riego Básico.

La implementación de las reglas en el servidor está orientada a resolver el problema con la aplicación de nitrógeno con sistema de riego, para ajustar las dosis preparamos una regla basada en el ajuste de nitrógeno. p.ej. como, la Figura 5.13 muestra la regla PosibleFertiEvent que es capaz de detectar el potencial bajo índice de vegetación en una parte del campo, concretamente el área 1. El NDVI sería un atributo continuo y vendría con un umbral insertado por el usuario, no sería necesario aprendizaje en este caso, ya que se ha implementado para que no dependa de más variables. Las condiciones de la regla determinan cuándo se debe implementar la acción. En este ejemplo, deben ocurrir dos eventos: el usuario carga los datos de cálculo del índice manualmente de un campo, el nivel de NDVI debe ser inferior a 0,42 y el sensor de presión debe detectar que el sistema de riego está funcionando y listo para comenzar la fertilización. Estos eventos de la vida real se asignan a eventos en el sistema, de acuerdo con LowNDVI y WaterPressureEvent. Cuando se cumplen todas las condiciones, se crea el nuevo evento. La última línea de la sección de acciones inserta este evento en el motor de reglas. De esta manera, el nuevo evento puede ser utilizado por otras reglas. Las reglas brindan al usuario una gran flexibilidad para combinar eventos de bajo nivel con eventos de nivel superior que deberían activar los servicios adecuados o notificar al usuario.

```

1:rule"possible-fertilization-area1"
2:when
3:  LowNDVI(status<0.42)
4:  WaterPressureEvent(status > 1, this after $NPK)
5:then
6:  PossibleFertiEvent e = new PossibleFertiEvent(new DateTime())
7:  insert(e)
8:end
    
```

Figura 5.13. Regla de Fertirrigación.

Drools proporciona una interfaz fácil de usar para las reglas de construcción, por lo que el usuario no tiene que conocer todos los detalles del idioma, por ejemplo, posible bajo nivel en el índice de vegetación detectado en los cambios de datos de asignación de antenas aéreas. La integración con la capa de servicios también se probó gracias a los datos del sensor y los servicios de notificación. Los eventos complejos agregan varias dimensiones adicionales al proceso de monitoreo. Fue necesario que en el escenario de prueba, las decisiones basadas en suposiciones adicionales sean más precisas.

Adicionalmente, a través de la plataforma, podemos recolectar datos de los sensores colocados en el campo, tales como temperatura (véase la Figura 5.14) o velocidad del viento (véase la Figura 5.15). Las Figuras 5.14 y 5.15 muestran el promedio temperatura por día (en °C) y velocidad media del viento por día (en m/s), respectivamente, medidas sobre 10 meses. Estos valores se utilizan para calcular las necesidades de riego.

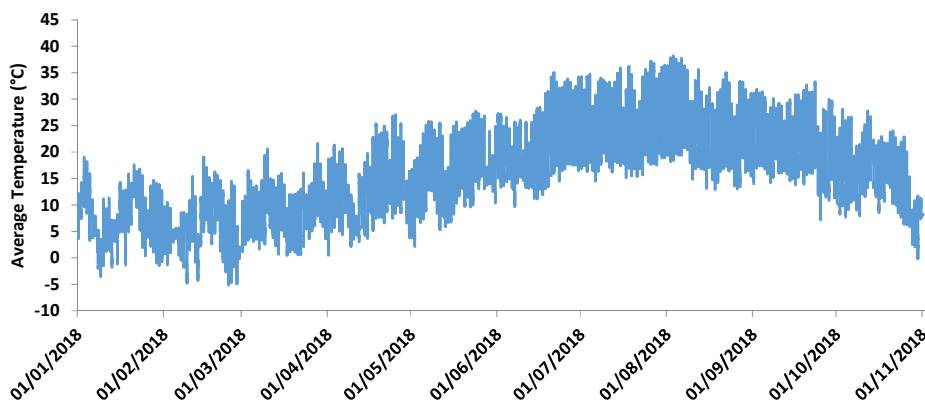


Figura 5.14. Promedio de temperatura calculada en 10 meses.

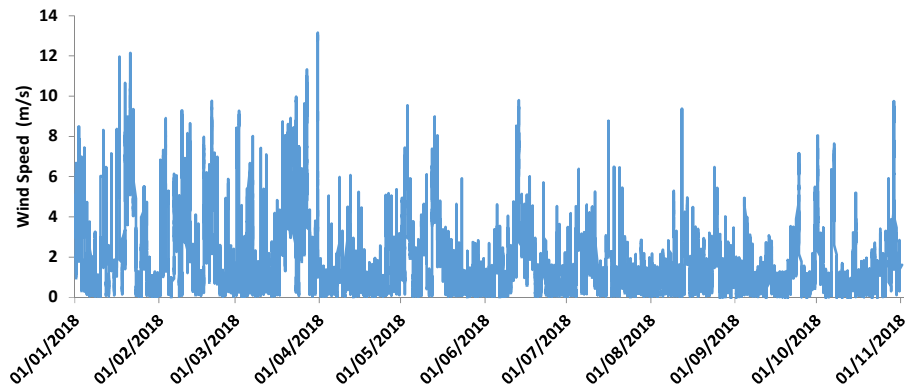


Figura 5.15. Promedio de viento calculado en 10 meses.

El usuario tiene la posibilidad de compartir la imagen del índice NDVI en la vista PLATEM. Datos en almacenamiento como datos numéricos en DB y como imagen para verificar el índice NDVI visual.

Debido al gran esfuerzo que se requiere para un entrenamiento eficaz de este apartado, nos hemos limitado a generar arboles de decisión sencillos con atributos específicos en climatología (lluvia, temperatura y viento) y fertirrigación.

5.7 Redes Neuronales

En el presente documento se propone un nuevo Sistema Neural Híbrido, basado en redes neurales (Bishop et al., 1996) para las predicciones o necesidades de riego. Bajo la perspectiva de la hibridación, tanto los paradigmas no supervisados como los supervisados se combinan de una nueva manera (Haykin et al., 1994) y se implementan en el software de MATLAB (Mathworks, 2018). Se aplican modelos autorregresivos no lineales (Leontaritis et al., 1985) para pronosticar las necesidades de riego. Los modelos aplicados se describen en la siguiente subsección.

5.7.1 Modelos NAR, NIO y NARX y algoritmos de entrenamiento

Para construir un modelo de predicción preciso, se han aplicado tanto NAR como NARX (Leontaritis et al., 1985). La formulación matemática para la primera es:

$$Y(t) = f(y(t - 1), \dots, y(t - n)) \tag{8}$$

Siendo $y(t)$ la variable que se va a predecir en tiempo t , n el número máximo de retardos de tiempo en la salida a considerar en el modelo y $f()$ la función a aproximar por el modelo neural. En el caso de NARX, su formulación matemática puede describirse como:

$$y(t)=f(y(t-1),\dots,y(t-n_y),x(t-1),\dots,x(t-n_x))+\xi(t) \quad (9)$$

Siendo $x(t)$ la entrada exógena, n_x el número máximo de retardos en la entrada a considerar por el modelo y $\xi(t)$ el término ruido.

Para llevar a cabo la comparativa de la eficacia de los modelos, se inician las pruebas partiendo de los datos de origen similares, en este caso las pruebas se realizan en el cálculo de un cultivo de maíz, donde la comparativa se centra en el estándar de recomendaciones de riego con el cálculo elegido de Penman-Monteith, que es el que en la actualidad recomienda la FAO. Se trata de un método para el cálculo de la ETo que combina los términos energético y aerodinámico, comentados en capítulos anteriores.

Las necesidades de agua de los cultivos se calculan a partir de los valores de ETo, de los coeficientes de cultivo, de la precipitación útil y de la eficiencia de riego.

Los coeficientes de cultivo se han obtenido del informe de revisión de la publicación de FAO "Las necesidades de agua de los cultivos". Las fechas de siembra y la duración de las fases de los distintos cultivos se han determinado a partir de una encuesta realizada a agricultores y a técnicos.

Se considera la precipitación efectiva, la fracción de lluvia que realmente puede aprovechar el cultivo, no pudiendo superar el valor 10 mm/h, ya que los excedentes serán pérdidas por escorrentía o percolación.

Se supone una eficiencia del riego por aspersión del 85% y del 95% para riego por goteo, valores de uso generalizado. En la siguiente Figura 5.16 se muestran los datos analizados por los modelos NAR NIO y NARX.

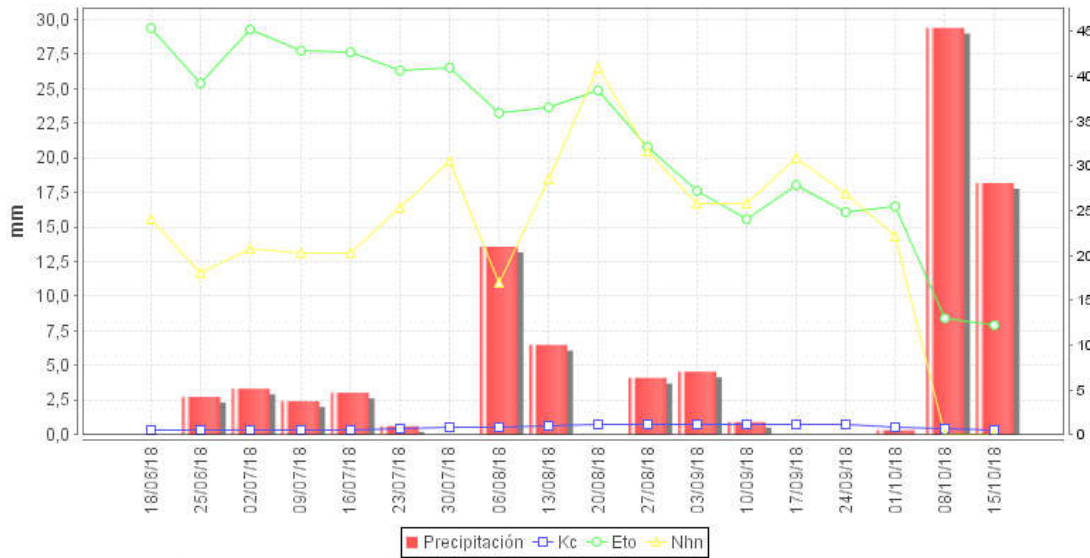


Figura 5.16. Recomendaciones para cultivo de maíz.

Las variables predominantes, recogidas en el gráfico son los datos principales en los cálculos de las necesidades de riego.

- Precipitación: Agua que cae en la planta de manera natural
- Kc: Coeficiente de cultivo. Valor que marca un coeficiente según el tipo de cultivo o variedad del mismo
- Eto: Evapotranspiración. Resultado de la diferencia del agua perdida por la evaporación de la misma.
- Nhn: Necesidades hídricas netas. Necesidades de agua de la planta, sin contar pérdidas.

Datos del Cálculo

Los datos meteorológicos y de cultivo llevados a estudio corresponden a:

- Campaña de Riego: 2018
- Sistema de riego: Aspersión Eficiencia: %
- Fecha siembra: 18/06
- Fecha madurez fisiológica: 21/10

En la implementación de MATLAB empleada, se crea una red neuronal con propagación hacia adelante que incorpora una capa oculta que dispone de una función de activación tangente hiperbólica y una única neurona en la capa de salida con función de activación

lineal, tal y como se indica en la Figura 5.17. Además, se emplean distintos algoritmos, en este caso NAR para el entrenamiento, tal y como se explica más adelante.

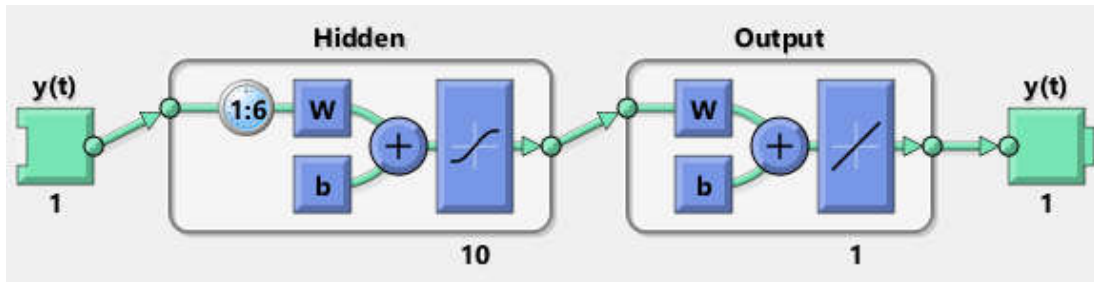


Figura 5.17. Representación de MATLAB para modelo NAR con 5 neuronas en capa oculta y una entrada exógena con 5 valores y un retardo de 8. Fuente: The Mathworks Inc.

Se crea otra red neuronal con propagación hacia adelante que incorpora una capa oculta que dispone de una función de activación tangente hiperbólica y una única neurona en la capa de salida con función de activación lineal. Además, se emplean distintos algoritmos, en este caso NIO para el entrenamiento, tal y como se explica más adelante.

Implementación de MATLAB empleada para NIO, se crea una red neuronal con propagación hacia adelante que incorpora una capa oculta que dispone de una función de activación tangente hiperbólica y una única neurona en la capa de salida con función de activación lineal, tal y como se indica en la Figura 5.18. Además, se emplean distintos algoritmos, en este caso NIO para el entrenamiento, tal y como se explica más adelante.

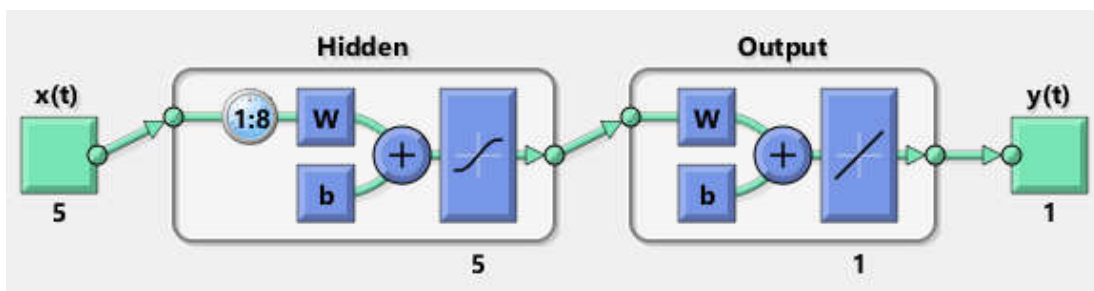


Figura 5.18. Representación de MATLAB para modelo NIO con 5 neuronas en capa oculta y una entrada exógena con 5 valores y un retardo de 8. Fuente: The Mathworks Inc.

Modelos NARX han sido previamente aplicados, de manera satisfactoria a distintos problemas de predicción de series temporales (Lopes et al., 2015; Spiridonakos et al., 2015).

En el presente trabajo se emplea una implementación neuronal de este modelo en MATLAB. De esta manera, se crea una red neuronal con una única capa oculta que dispone de una función de activación tangente hiperbólica y una única neurona en la capa de salida con función de activación lineal. Esta red, ver Figura 5.19, admite como entrada tanto los valores de la propia serie a predecir, $y(t)$, como de la serie externa, $x(t)$, tal cual se representa a continuación.

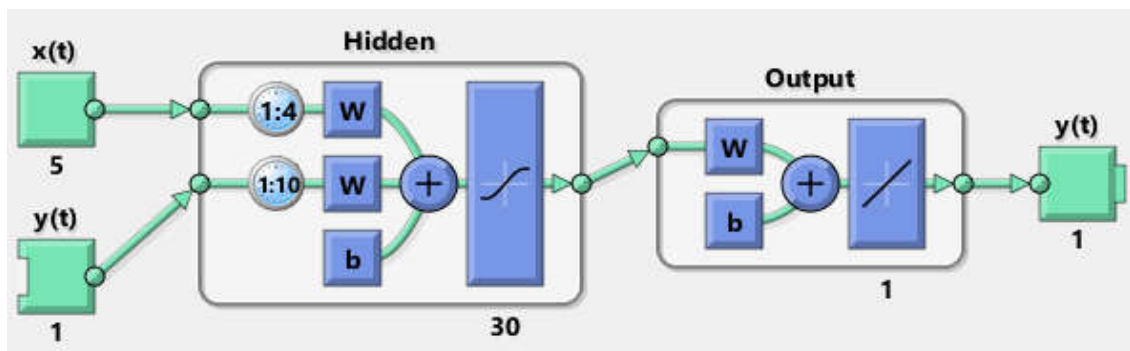


Figura 5.19. Representación de MATLAB para modelo NARX con 30 neuronas en la capa oculta y una neurona con la capa de salida, una entrada exógena con 5 valores y un retardo de 4 y una única salida con un retardo de 10. Fuente: The Mathworks Inc.

5.8 Pruebas Rendimiento y Resultados

5.8.1 Resultados de modelos NAR NIO y NARX en entrenamiento de algoritmos

Para una validación completa del modelo NAR, se han probado diferentes valores de los parámetros del modelo:

- Número de retardos de salida: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10.
- Número de neuronas en la capa oculta: 1, 5, 10, 15 y 20.
- Algoritmo de entrenamiento: 1 - Levenberg-Marquardt, 2 - Descenso de gradiente por lotes, 3 - Descenso de gradiente con ímpetu, 4 - Backpropagación de tasa de aprendizaje adaptativo, 5 - Descenso de gradiente con ímpetu y tasa de aprendizaje adaptativo, 6 - Gradiente conjugado escalonado y 7 - Backpropagación de Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (Quasi-Newton).

Del mismo modo, para cada una de las combinaciones de valores se han realizado el cálculo del error medio-cuadrado para cada una de las combinaciones del modelo NAR. En aras de la brevedad, sólo se muestran los resultados agrupados por número de neuronas ocultas y algoritmos de entrenamiento, ver Tabla 5.3.

Nº DE RETARDOS	Nº de NEURONAS	ALGORITMO
Entrada		
1	1	1 - Levenberg-Marquardt
2	5	2 - Batch Gradient Descent
3	10	3 - Gradient Descent with Momentum
4	15	4 - Adaptive Learning Rate
5	20	Backpropagation
6		5 - Gradient Descent with Momentum and Adaptive Learning Rate
7		6 - Scaled Conjugate Gradient
8		7 - Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Backpropagation (Quasi-Newton)
9		
10		

Tabla 5.3. Valores de parámetros en la experimentación del modelo NAR sobre recomendaciones de riego.

A continuación se muestra Tabla 5.4 con los resultados agrupados obtenidos para las 350 combinaciones distintas de parámetros:

Nº DE RETARDOS EN LA ENTRADA	ERROR (MSE)	
	Media	Desviación
1	78,99	54,83
2	55,11	46,74
3	41,22	32,99
4	43,49	35,95
5	47,63	35,61
6	59,67	56,35
7	47,72	37,28
8	43,37	39,52
9	45,18	35,36
10	45,59	31,67

Tabla 5.4. Resultados agrupados del modelo NAR sobre el Índice de entrada.

En la siguiente tabla se muestran las agrupaciones de resultados según el algoritmo ejecutado. Ver Tabla 5.5.

Nº DE NEURONAS EN CAPA OCULTA	ERROR (MSE)	
	Media	Desviación
1	13,83	4,24
5	31,49	20,48
10	48,42	37,95
15	81,08	68,06
20	106,6	97,07

Tabla 5.5. Tabla de implementación agrupada en número de neuronas.

Del mismo modo, para cada una de las combinaciones de valores, calculándose el error medio-cuadrado para cada una de las combinaciones. En aras de la brevedad, sólo se muestran los resultados agrupados por número de neuronas ocultas y algoritmos de entrenamiento (Tabla 5.6).

ALGORITMO	ERROR (MSE)	
	Media	Desviación
1 - Levenberg-Marquardt	12,27	4,07
2 - Batch Gradient Descent	182,32	159,72
3 - Gradient Descent with Momentum	143,91	136,18
4 - Adaptive Learning Rate Backpropagation	14,59	5,8
5 - Gradient Descent with Momentum and Adaptive Learning Rate	15,36	5,97
6 - Scaled Conjugate Gradient	11,79	2,06
7 - Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno Backpropagation (Quasi-Newton)	11,53	2,19

Tabla 5.6. Tabla de resultados agrupados según algoritmo.

Del mismo modo, para cada una de las combinaciones de valores se han realizado el cálculo del error medio-cuadrado para cada una de las combinaciones del modelo NIO. En aras de la brevedad, sólo se muestran los resultados agrupados por número de neuronas ocultas y algoritmos de entrenamiento. Ver Tabla 5.7.

Nº DE RETARDOS	Nº de NEURONAS	ALGORITMO
Entrada		
1	1	1 - Levenberg-Marquardt
2	5	2 - Batch Gradient Descent
3	10	3 - Gradient Descent with Momentum
4	15	4 - Adaptive Learning Rate
5	20	Backpropagation
6		5 - Gradient Descent with Momentum and Adaptive Learning Rate
7		6 - Scaled Conjugate Gradient
8		7 - Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Backpropagation (Quasi-Newton)
9		
10		

Tabla 5.7. Valores de parámetros en la experimentación del modelo NIO sobre recomendaciones de riego.

A continuación se muestra Tabla 5.8 con los resultados agrupados obtenidos para las 350 combinaciones distintas de parámetros, la agrupación se diseña según la entrada.

Nº DE RETARDOS EN LA ENTRADA	ERROR (MSE)	
	Media	Desviación
1	59,12	50,36
2	46,35	41,08
3	51,11	36,52
4	58,15	50,38
5	47,62	40,07
6	45,57	32,62
7	50,74	54,60
8	43,88	35,97
9	45,08	34,32
10	42,30	30,43

Tabla 5.8. Resultados del modelo NIO sobre el Índice de entrada.

A continuación se muestra Tabla 5.9 con los resultados agrupados obtenidos para las 350 combinaciones distintas de parámetros, la agrupación se diseña según el número de neuronas.

Nº DE NEURONAS EN CAPA OCULTA	ERROR (MSE)	
	Media	Desviación
1	13,78	3,13
5	31,09	21,98
10	46,37	39,56
15	64,74	56,39
20	88,08	82,12

Tabla 5.9. Resultados agrupados según número de neuronas.

A continuación se muestra Tabla 5.10 con los resultados agrupados obtenidos para las 350 combinaciones distintas de parámetros, la agrupación se diseña según algoritmo usado.

ALGORITMO	ERROR (MSE)	
	Media	Desviación
1 - Levenberg-Marquardt	14,89	5,19
2 - Batch Gradient Descent	151,48	138,08
3 - Gradient Descent with Momentum	115,71	113,53
4 - Adaptive Learning Rate Backpropagation	16,5	9,36
5 - Gradient Descent with Momentum and Adaptive Learning Rate	18,44	14,17
6 - Scaled Conjugate Gradient	12,33	2,04
7 - Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno Backpropagation (Quasi-Newton)	12,34	2,07

Tabla 5.10. Resultados del modelo NIO sobre el algoritmo.

De esta manera, se han obtenido 3.500 combinaciones distintas de valores, para las que se han ejecutado 100 entrenamientos diferentes, con el objetivo de obtener unos resultados más representativos. Dada la imposibilidad de representar los resultados obtenidos para todos estos entrenamientos o todas las combinaciones, se muestra sólo información abreviada (mediante media aritmética) para cada uno de los valores por parámetros.

Estas variables fueron seleccionadas de entre las características para generar las necesidades de riego debido a su baja tasa de correlación. Como en el caso de NAR, se han probado diferentes valores de los parámetros del modelo:

- -Número de retardos de entrada: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10.
- -Número de retardos de salida: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10.
- -Número de neuronas en la capa oculta: 1, 5, 10, 15 y 20.
- -Algoritmo de entrenamiento: el mismo que para NAR.

Del mismo modo, para cada una de las combinaciones de valores se han realizado 100 entrenamientos, calculándose el error medio-cuadrado para cada una de las combinaciones.

En aras de la brevedad, sólo se muestran los resultados agrupados por número de neuronas ocultas y algoritmos de entrenamiento (Tabla 5.11).

Nº DE RETARDOS		Nº de NEURONAS	ALGORITMO
Entrada	Salida		
1	1	1	1 - Levenberg-Marquardt
2	2	5	2 - Batch Gradient Descent
3	3	10	3 - Gradient Descent with Momentum
4	4	15	4 - Adaptive Learning Rate Backpropagation
5	5	20	5 - Gradient Descent with Momentum and Adaptive Learning Rate
6	6		6 - Scaled Conjugate Gradient
7	7		7 - Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno Backpropagation (Quasi-Newton)
8	8		
9	9		
10	10		

Tabla 5.11. Valores de parámetros en la experimentación del modelo NARX sobre recomendaciones de riego.

A continuación se muestran por tanto las tablas resumen del modelo NARX según el número de retardos en la entrada (Tabla 5.12), el número de retardos en la salida (Tabla 5.13), el número de neuronas en la capa oculta (Tabla 5.14) y el algoritmo de entrenamiento (Tabla 5.15).

De la Tabla 5.12 se puede observar que los valores de MSE y varianza varían mucho de unos algoritmos a otros, siendo el Descenso de Gradiente de Lotes el que tiene valores más altos y el Gradiente Conjugado Escalado el que obtiene valores más bajos. El mejor resultado se obtiene con un retardo de tiempo, una neurona oculta y un algoritmo de gradiente conjugado escalado. Podemos concluir que la gran oscilación que se puede apreciar es causada por el conjunto reducido de años que se considera para el análisis.

Para mejorar la previsión del modelo no lineal, también se ha aplicado NARX (Basso et al., 2005). En este caso, también se han considerado las siguientes aportaciones exógenas:

- -Temperatura diaria.
- -ETo diaria.
- -Radiación solar diaria.
- -Kc del cultivo.
- Precipitación diaria
- -Aportación de agua real. Variable Y (variable a predecir)

Nº DE RETARDOS EN LA ENTRADA	ERROR (MSE)	
	Media	Desviación
1	46,93	35,21
2	45,80	38,67
3	41,22	32,99
4	43,49	35,95
5	43,71	36,11
6	42,65	35,01
7	39,74	29,39
8	41,42	34,008
9	42,84	35,80
10	41,92	34,71

Tabla 5.12. Resultados por número de retardos en la entrada al aplicar modelo NARX sobre recomendaciones de riego.

Nº DE RETARDOS EN LA SALIDA	ERROR (MSE)	
	Media	Desviación
1	47,14	40,14
2	45,02	35,45
3	41,95	33,77
4	41,02	31,45
5	42,49	32,31
6	42,3	36,48
7	44,08	36,43
8	41,23	34,19
9	41,52	33,22
10	42,11	34,39

Tabla 5.13. Resultado por número de retardos en la salida al aplicar modelo NARX sobre recomendaciones de riego.

Nº DE NEURONAS EN CAPA OCULTA	ERROR (MSE)	
	Media	Desviación
1	13,83	4,24
5	26,02	17,63
10	38,18	32,95
15	60,09	52,93
20	76,37	66,17

Tabla 5.14. Resultados por número de neuronas en la capa oculta al aplicar modelo NARX sobre recomendaciones de riego.

ALGORITMO	ERROR (MSE)	
	Media	Desviación
1 - Levenberg-Marquardt	13,06	5,17
2 - Batch Gradient Descent	144,24	127,88
3 - Gradient Descent with Momentum	87,62	85,43
4 - Adaptive Learning Rate Backpropagation	15,42	8,85
5 - Gradient Descent with Momentum and Adaptive Learning Rate	17,28	11,23
6 - Scaled Conjugate Gradient	11,16	2,19
7 - Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno Backpropagation (Quasi-Newton)	11,42	2,73

Tabla 5.15. Resultados por tipo de algoritmo ejecutado al aplicar modelo NARX.

De las tablas anteriores se desprenden las siguientes conclusiones:

- Hay una gran inestabilidad en el entrenamiento del modelo. Las tasas de error tan altas que se obtienen, junto con los también elevados valores para la desviación indican que no se consigue entrenar al modelo NARX con suficiente estabilidad. Ya se ha indicado anteriormente cómo esta se ve afectada por el reducido tamaño del conjunto de datos disponible.
- Se produce una gran variación en el rendimiento al modificar el número de retardos de entrada y salida y el número de neuronas. Para los distintos valores de estos parámetros se observan valores muy altos en la desviación, que indican lo poco significativos que son estos datos como para obtener conclusiones más específicas.
- Se observa un cierto cambio respecto de los algoritmos ya que algunos de estos (Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno Backpropagation (Quasi-Newton) y Scaled Conjugate Gradient) son los que obtienen menores errores y además con valores mínimos en la desviación. Por otra parte, los algoritmos Batch Gradient Descent y Gradient Descent with Momentum sufren de una gran inestabilidad, generando resultados muy dispares.

Como es habitual en la experimentación en aprendizaje máquina, los datos disponibles se dividen en 3 subconjuntos: entrenamiento, validación y testeo. Una vez conformados los datos de entrada a la red y sus correspondientes valores de salida asociados, teniendo en cuenta las ventanas temporales configuradas para cada modelo, se han seleccionado aleatoriamente el 70% de los datos (3500 ejemplos) para entrenamiento, el 15% para validación y el 15% para testeo. El error indicado (MSE) hace referencia al vinculado con el 15% de los datos de testeo. Por los resultados obtenidos, se consideran suficientes y de suficiente calidad los datos empleados. El error de estos métodos se encuentra por debajo del cometido por la fórmula estándar de Penman-Monteith propuesta por la FAO para hacer el cálculo de necesidades de riego.

5.9 Conclusión

En esta sección, hemos presentado los resultados, a nivel inicial, de las nuevas reglas de decisión básicas para crear Variables/Parámetros de riego de tasa y reglas de fertirrigación de tasa variable para la optimización paramétrica de insumos agrícolas.

Demostramos que puede haber muchos árboles con los mismos resultados de clasificación pero diferentes tamaños. Los el árbol de decisión construido utilizando el algoritmo de aprendizaje intenta minimizar el tamaño de la Red RETE, que es el criterio más importante para Drools.

Como observamos en los resultados, los constructores de árboles de decisión múltiple mejora los resultados de la clasificación errónea. Sin embargo, cada vez que fusionamos los árboles múltiples en uno la tasa de error aumenta, lo que se traslada a proporcionar comparativa de reglas donde el clasificador pierde precisión.

Las operaciones pueden traer resultados con un motor de reglas y una lista de reglas o modelos basados en adquisición de datos históricos, y valores insertados por el usuario. Otra función importante es intercambio de información a través de foros con aportaciones de agrónomos, técnicos agrícolas y otros agricultores sobre dosis, plagas, restricciones de agua, etc. El trabajo continúa con un entrenamiento mayor y nueva generación de reglas. El objetivo de este sistema de decisión es presentar las reglas básicas exigidas por el usuario definido en el sistema, lo que permite un autoajuste de consignas de riego y fertilización

básicas para los sistemas de riego en cultivos extensivos y ampliables a cultivos intensivos de interior.

Los resultados obtenidos con los modelos neuronales no supervisados que se han aplicado nos permiten apreciar con gran claridad una distribución anual muy similar entre sí. La evidencia de la relación que existe entre ambos tipos de variables se expresa claramente en las proyecciones neurales, de manera que su distribución es prácticamente la misma en todos los casos con alguna ligera variación.

Los resultados de los modelos autorregresivos no lineales muestran que puede predecirse de forma muy fina cuando se seleccionan los valores apropiados para los diferentes parámetros.

Como podemos observar en los resultados, el modelo NARX nos ofrece la tasa de error más pequeña de las pruebas de 9,08 por lo que podemos afirmar que el uso de estos modelos para la planificación de riego, en concreto en calcular las necesidades netas del cultivo, nos puede suponer ajustar en un 50% más las recomendaciones de riego por lo que da como resultado un ahorro considerable de agua, aplicar agua en el momento necesario y una optimización de los recursos energéticos de bombeo.

Finalmente, el trabajo presentado ha sido publicado en las siguientes referencias (Cambra et al., 2019b), (Cambra et al. 2015).

6. Plataforma Tecnológica Multimedia

6.1 Introducción

PLATEM es un sistema de datos basado en web. La Web proporciona un modelo de interacción importante para la IO de Smart Farming al permitir que los usuarios obtengan información relacionada con el dispositivo y, en algunos casos, controlan sus dispositivos a través del navegador web ubicuo. La Web convencional es una comodidad que disfrutamos cuando buscamos información, controlamos el control de telegestión y publicamos datos (Ortiz et al., 2014) históricos en las redes sociales (Ning et al., 2011). Nos referimos a los dispositivos que son parte de IoT y directamente accedidos, monitoreados o controlados por tecnologías web como la Web física: tecnología web + IoT. El sistema está escrito en PHP; la interfaz de usuario está basada en bibliotecas HTML5, PHP, CSS3 y JavaScript.

6.2 Descripción del sistema

El patrón de diseño (de software) MVC se encarga de separar la lógica de negocio de la interfaz de usuario y es el más utilizado en aplicaciones web, framework, etc, ya que facilita la funcionalidad, mantenibilidad, y escalabilidad del sistema, de forma cómoda y sencilla, a la vez que ayuda no mezclar lenguajes de programación en el mismo código.

MVC divide las aplicaciones en tres niveles de abstracción:

- El funcionamiento básico del patrón MVC, puede resumirse en:
- El usuario realiza una petición.
- El controlador captura la petición.
- Hace la llamada al modelo correspondiente.
- El modelo será el encargado de interactuar con la base de datos.
- El controlador recibe la información y la envía a la vista.
- La vista muestra la información.

De manera más gráfica podemos ver el funcionamiento en la Figura 6.1, donde el controlador es la parte principal que enlaza las peticiones del cliente con el modelo de datos a cargar en la vista.

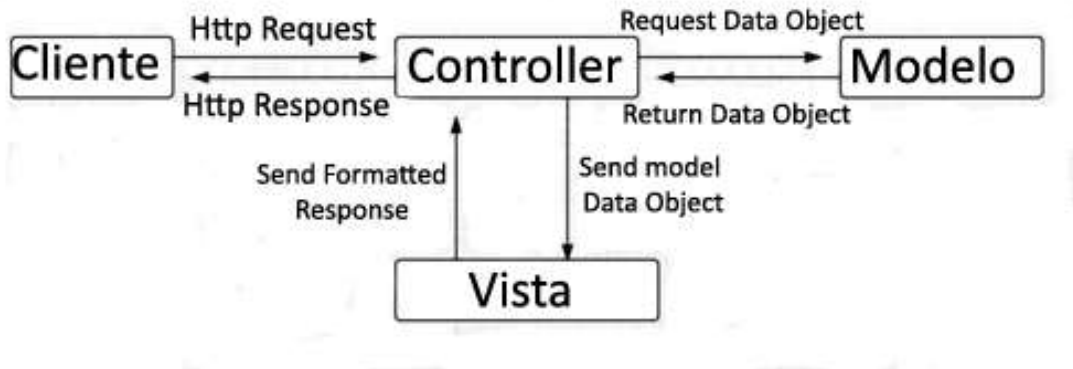


Figura 6.1. Diagrama de llamadas del MVC

6.3 Arquitectura

El patrón Modelo-Vista-Controlador para el diseño de esta aplicación Web es un estándar de la industria de programación. La idea básica de este patrón es separar nuestros sistemas en tres capas, el Modelo, la Vista y el Controlador, se muestra el diagrama en la Figura 6.2.

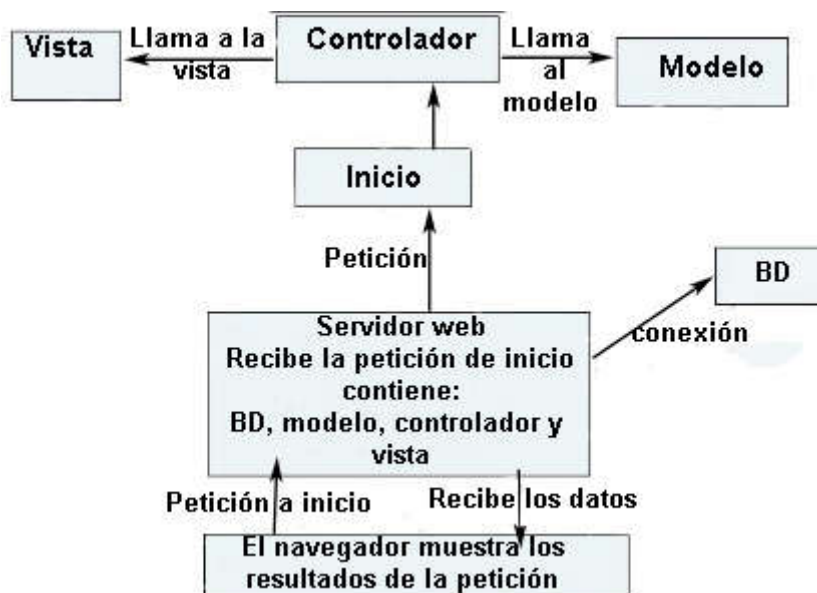


Figura 6.2. Esquema de plataforma bajo MVC

El Modelo se encarga de todo lo que tiene que ver con la persistencia de datos. Guarda y recupera la información del medio persistente que utilizemos, ya sea una base de datos, ficheros de texto, XML, etc.

La Vista presenta la información obtenida con el modelo de manera que el usuario la pueda visualizar.

El Controlador, dependiendo de la acción solicitada por el usuario, es el que pide al modelo la información necesaria e invoca a la plantilla (de la vista) que corresponda para que la información sea presentada.

La pantalla de inicio de la plataforma contiene la vista de Login, en la cual nos podemos registrar como nuevos usuarios o acceder a través del correo y contraseña. Se muestra en la Figura 6.3.



Figura 6.3. Vista inicial de acceso de la plataforma

Es una aplicación de vista web escrita en PHP. El módulo de usuario expone restricciones de compartir publicaciones que controlamos la seguridad en la autenticación con dispositivos (Djellali et al., 2015). La comunicación se realiza en una extensión con MySQL. Este documento valida como CSS nivel 3 + SVG.

Acciones de nodos del Sistemas

Permite la lectura de los nodos remotos sensoriales como la acción de los nodos controladores de riego. Desde este punto podemos configurar la gestión del riego como

introducir las variables y umbrales de trabajo y/o alarma a tener en cuenta en las reglas de negocio.

Además, hay una vista de configuración para actualizar los perfiles de usuario a los que pueden acceder los amigos, que se puede editar (haciendo clic en Editar información). El siguiente punto importante es una notificación. El menú ubicado en la parte superior derecha de la pantalla en la vista principal donde los iconos de notificación parpadean para alertas / notificaciones, amigos y mensajes, ver la Figura 6.4.



Figura 6.4. Alerta de notificaciones

El usuario puede buscar otros usuarios en la base de datos escribiendo el nombre en el texto de edición “Buscar personas” y puede ver un perfil abierto, enviar un mensaje y agregar un nombre a una lista de amigos. La figura 58 muestra la lista de Mis amigos con un botón "Ver perfil" y el botón "Enviar mensaje".

Los usuarios tienen la opción de compartir una imagen de índice NDVI en la vista PLATEM. Los datos se almacenan en forma numérica en la base de datos y como una imagen para la visualización visual del índice NDVI. Ver publicación en la Figura 6.5.

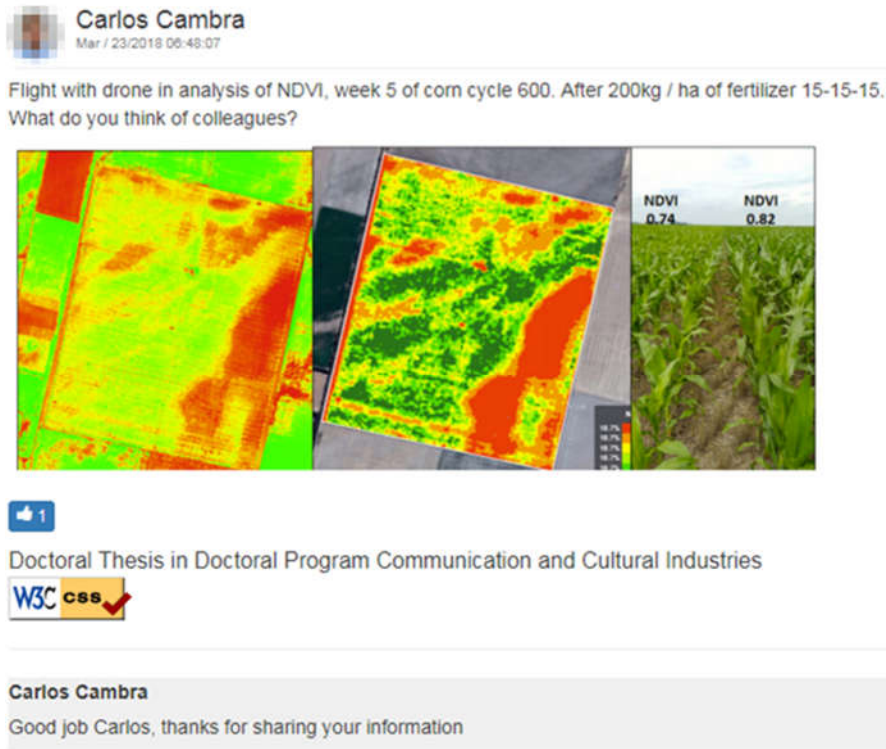


Figura 6.5. El usuario publica las imágenes de los vuelos en su muro

PLATEM admite el modo de notificación automática al publicar directamente a través de JSON en el perfil web del usuario y al publicar nuevas alertas para los usuarios amigos o para el general Público con el motor de reglas de negocio. La Figura 6.6 muestra las predicciones de PLATEM sobre el hongo, advirtiendo del riesgo (según la integral térmica procesada del motor de reglas de negocio). Factor de riesgo de mildiu basado en el histórico clima BD, el pronóstico y umbrales prefijados.

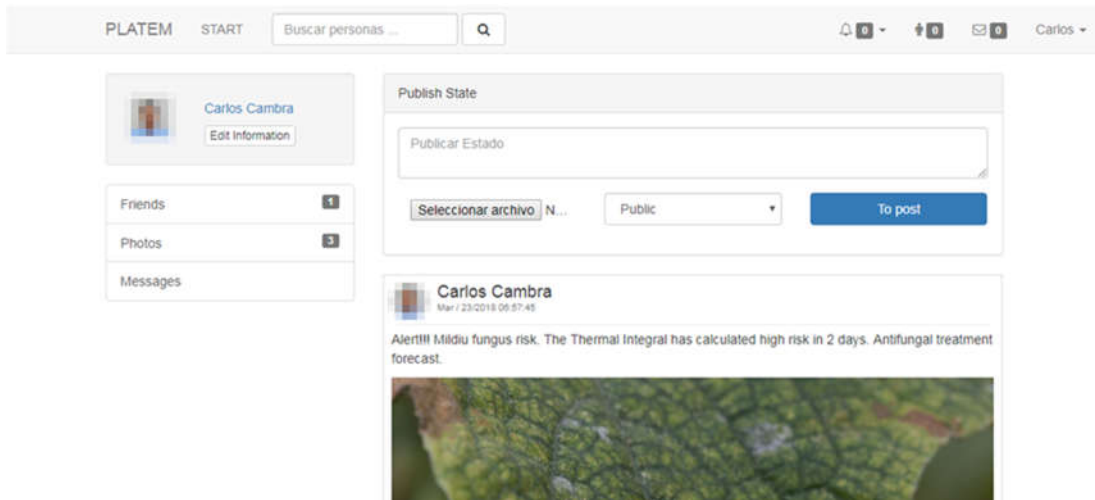


Figura 6.6. Mensaje publicado en el muro del usuario por el middleware.

6.4 Área de Gestión de riego

La parte web encargada de la gestión de riego está diseñada para tener la operativa de funciones y variables en una sola vista y de esa forma poder operar los programadores de riego de forma más sencilla. Esta parte de la plataforma contiene subventanas para modificar variables propias de una sección acotada, por ejemplo, un programa de riego, ver Figura 6.7.

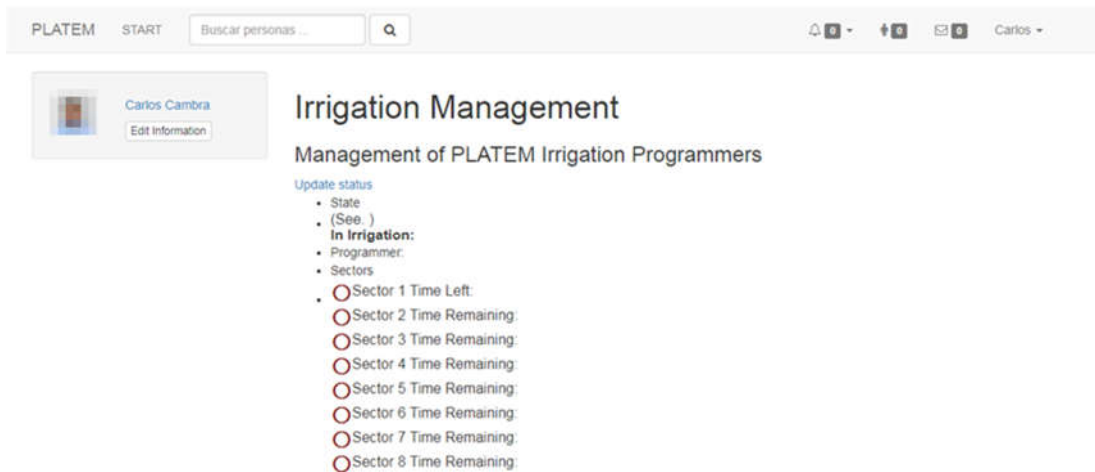


Figura 6.7. Vista de gestión de programadores de riego

Ajustes básicos

- Nombre del programa: un nombre de programa personalizado, hasta 20 caracteres.

- Habilitado: indicador de habilitación de programa. El valor predeterminado está habilitado.
- Usar ajuste del clima: cuando está marcado, el% de riego se aplica a todos los horarios de agua de la estación en este programa. El valor predeterminado está activado.
- Hora de inicio: la primera hora de inicio del programa (por ejemplo, 8:00 a.m.).

También admite el tiempo de salida o puesta del sol +/- desplazamiento como hora de inicio.

Tipo de programa

- Día de la semana: el programa se ejecutará los días de la semana seleccionados.
- Día de intervalo: el programa se ejecutará cada N días, donde N está entre 2 a 128. También necesitará establecer el inicio en días. Por ejemplo, un programa que se repite cada 5 días a partir de 0 días se ejecutará hoy, y cada 5to día a partir de hoy. Un programa que repite cada 3 días comenzando en 1 día se ejecutará mañana, y cada 3 días desde entonces.
- Restricciones: restricciones de días impares / pares. El día impar significa programa se ejecutará solo si es un día impar del mes (excepto el 31, o 29 de febrero) Del mismo modo para incluso días. El predeterminado es no restricciones

Tiempos de riego

- Configure el tiempo de agua para cada estación. Un valor de 0 significa el la estación no se ejecutará. El rango de tiempo del agua es de 0 a 64800 segundos (18 horas). A diferencia del firmware anterior, este firmware ya no usa la compresión del tiempo del agua, por lo que permite precisión completa en unidades de segundos.
- También admite la salida del sol hasta la puesta del sol y la puesta del sol hasta el amanecer

Duraciones Horas de inicio adicionales

Hay dos opciones de tiempos de inicio adicionales:

- Solucionado: hasta 3 tiempos de inicio adicionales. En cualquier momento del día.

- Repetición: repetir las horas de inicio a intervalos de tiempo regulares. Por ejemplo, repita cada 90 minutos por 7 veces. Esto es útil para descomponiendo tiempos de agua largos en ciclos más cortos, diferente a firmwares anteriores, este firmware permite repetir tiempos de inicio pasar la noche al día siguiente.

Admite la ejecución de múltiples estaciones en secuencia (una tras otra) o en paralelo (concurrentemente). Esto se puede configurar usando el atributo Secuencial de cada estación. Las estaciones que tienen activado el atributo Secuencial se serializarán automáticamente.

Por ejemplo, si las estaciones 1, 2, 3 son secuenciales, el controlador se asegurará de que solo una de ellas se ejecute en un momento determinado. Si su

Los tiempos programados se superponen, por ejemplo, la estación 2 está programada para abrir mientras que la estación 1 todavía está ejecutándose, el controlador empujar automáticamente la estación 2 detrás de la estación 1. Esta es la forma más común, ya que ayuda a conservar la presión del agua asegurando que solo una estación esté abierta en cualquier momento dado.

Si el atributo secuencial de una estación está desactivado, el controlador abrirá esa estación cada vez que esté programado para ejecutarse, independientemente de si otras zonas están funcionando o no. Esto es útil si quiere que varias zonas se ejecuten simultáneamente, o si está para cambiar los dispositivos que no son de riego, como las luces, la bomba y el calentador. De cualquier manera, la vista previa del programa sobrescribe correctamente.

Configuración de atributos secuenciales.

Para iniciar un programa manualmente, vaya a la página de inicio y haga clic en Programa de ejecución única. Puede cargar tiempos de agua preestablecidos de cualquiera de programas existentes, o un programa de prueba (1 minuto cada estación). También puedes hacerlo manualmente edita el tiempo del agua para cada estación.

Un tiempo de agua de 0 valor significa que las estaciones no se ejecutarán.

Si el controlador ya está ejecutando un programa existente, se le pedirá que detenerlo para continuar.

Se observan los atributos de la estación, como Usar estación maestra, Activar relé.

Configuración del controlador, como modo secuencial, tiempo de retardo de estación, encendido / apagado maestro Tiempo.

Cada programa puede ser modificado haciendo clic en un número de programa que iniciará la vista de edición. Los parámetros básicos se pueden ajustar para iniciar el trabajo (véase la Figura 6.8). El sistema se ajustará por sí mismo en el de información de sensores, imágenes y condiciones climáticas. La clase de inicio (días laborables o intervalos), añadir restricciones, tiempos de inicio o inicios adicionales.

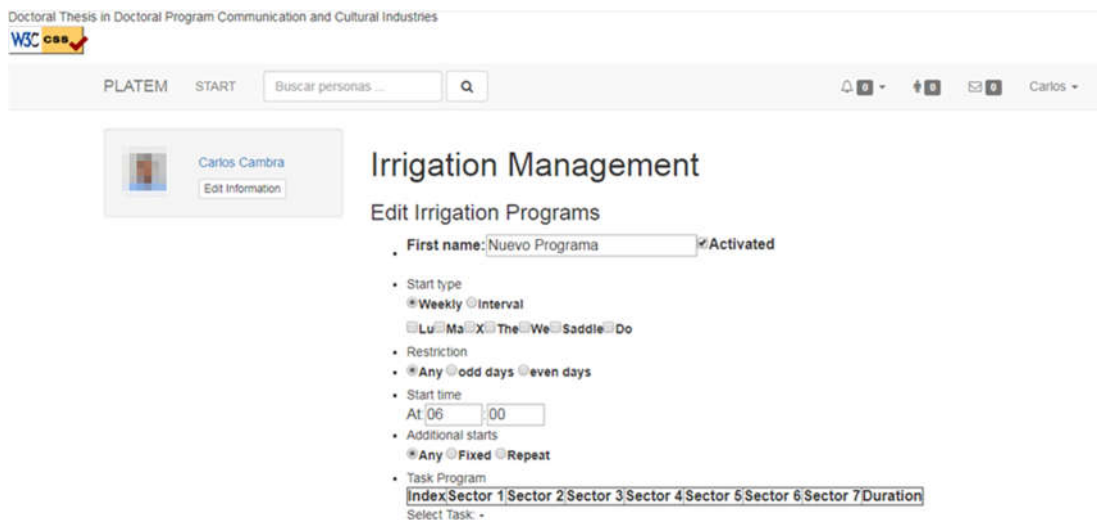


Figura 6.8. Edición de ajuste de programación de riego

Se introdujo una vista gráfica del histórico de riego (tipo calendario) para monitorear el consumo total de agua y seleccionar los niveles de consumo total de agua en cada sector de riego, ciclo de riego y evento de fertirrigación, todos presentados como datos visuales básicos de una manera fácil de usar para los agricultores. Cuando los cultivos son cosechados, y en cualquier otro momento, los registros de riego (ver Figura 19) pueden ser comparados con condiciones climáticas pasadas para establecer relaciones entre ellos.

Se introdujo una vista gráfica del programa de riego histórico para monitorear el agua total y establecer los niveles de consumo de agua en cada sector de riego, ciclo de riego, y

fertirrigación, todos presentados como datos visuales básicos de una manera fácil de usar para los agricultores, se muestra en la Figura 6.9

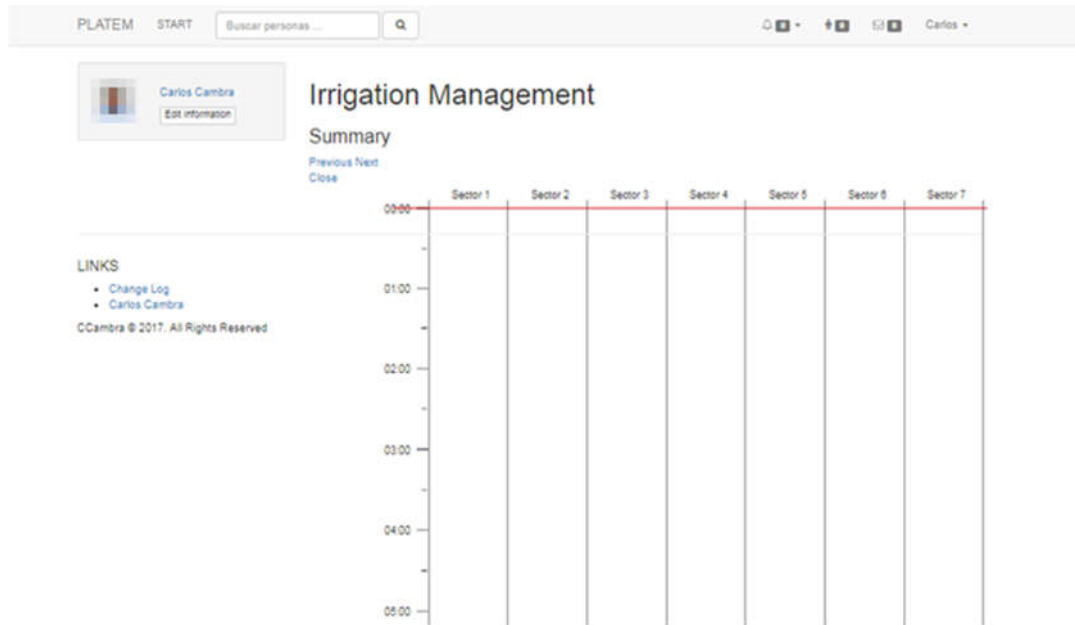


Figura 6.9. Vista de histórico de gestión de riego

Por último, PLATEM PA permite a los agricultores ver gráficamente las necesidades de riego en función valores obtenidos en el campo y en la estación climatológica más cercana, de esta forma se ajusta la programación del riego a las necesidades aproximadas del cultivo. Ver Figura 6.10.

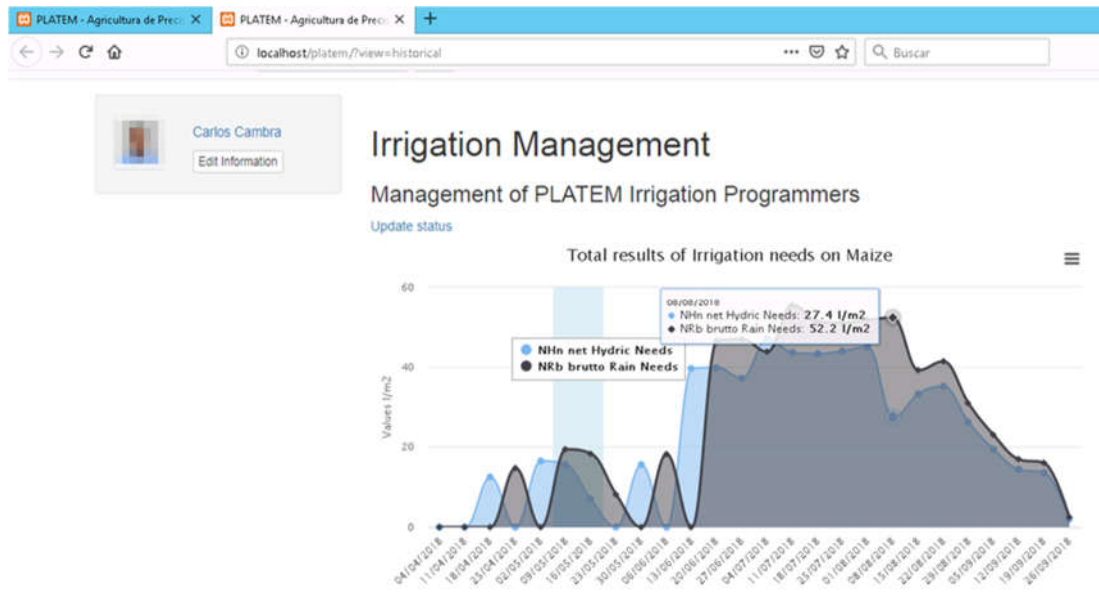


Figura 6.10. Necesidades de riego en maíz

6.5 Red Social y divulgación de datos entre usuarios

6.5.1 Estructura Red social

La parte de la plataforma multimedia dedicada a la red social, tiene un peso importante en este trabajo, ya que una de las principales tareas de este sistema es compartir información entre usuario y técnicos especialistas para valorar y generar debate entre las publicaciones, que se centran en el ámbito del sector agrario.

Acciones WEB

Publicar me gusta y me gusta, escribir comentarios sobre el estado y las imágenes, buscar y enumerar amigos, solicitar amigos (enviar y aceptar), enviar mensajes a amigos.

Configuración de usuario de perfil

Tenemos una vista de configuración para actualizar el usuario del perfil, que puede estar disponible para amigos, haga clic en Editar información para completarlo.

En la parte superior derecha de la vista principal, tenemos iconos de notificación de Alertas, amigos y mensajes.

6.5.2 Nivel de intercambio de datos entre usuarios

Podemos buscar usuarios en el nombre de escritura de la base de datos en el texto de edición "Buscar personas" y tenemos la posibilidad de visitar su perfil abierto, enviar un mensaje o agregarlo a la lista de amigos, como se muestra en la Figura 6.11.

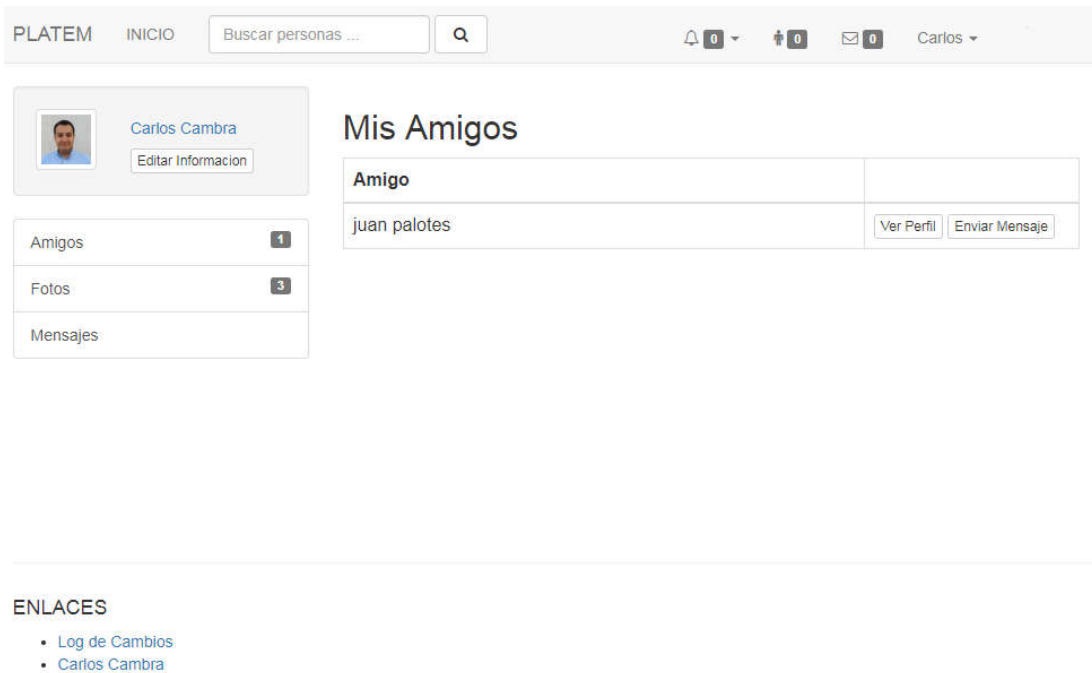


Figura 6.11. Red social, vista de amistades

6.6 Pruebas y resultados de rendimiento

La simulación en entrada y navegación de usuarios determinará la estabilidad ante una gran demanda de usuario intercambiando información en un mismo momento. De ahí que tenemos que ver la respuesta del servidor.

Se simuló un escenario real con un usuario virtual para verificar la capacidad de respuesta del servidor, en el que se analizó una consulta y los datos se introdujeron simultáneamente en la base de datos y las conexiones. Los resultados fueron muy positivos con un bajo uso de la capacidad del sistema.

La Figura 6.12 muestra una muestra de la prueba del servidor. En los primeros gráficos, aparece el número de consultas y un período de prueba de acción de inicio de sesión con varias consultas de base de datos.

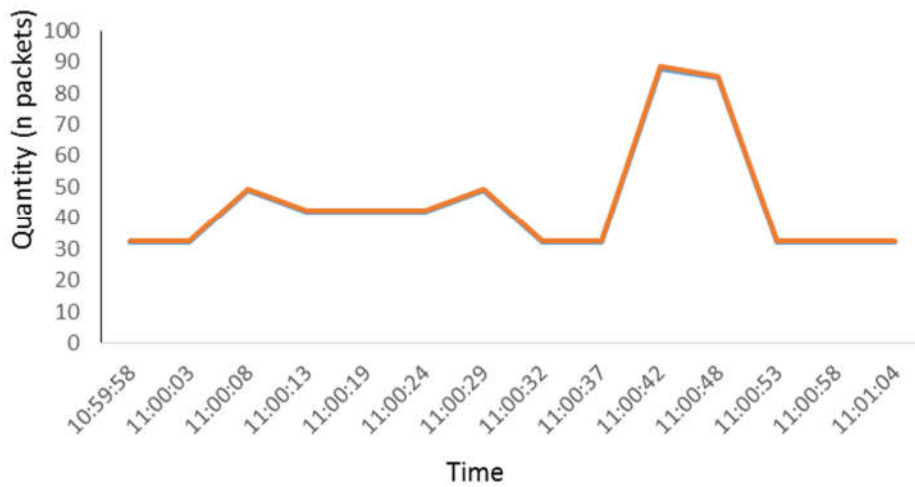


Figura 6.12. Accesos a base de datos a través consultas

La Figura 6.13 muestra un ejemplo de prueba de rendimiento, en este caso es los números de conexiones a la base de datos durante el momento de hacer login.

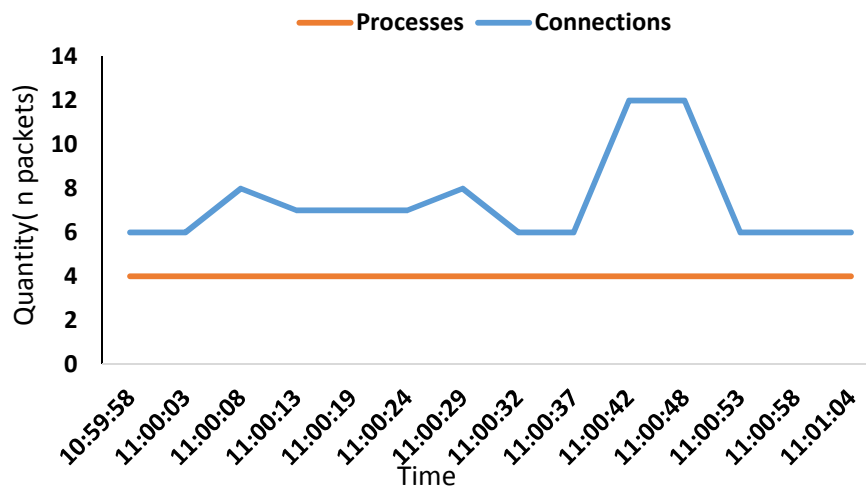


Figura 6.13. Conexiones a base de datos y procesos

El tráfico de la red se puede mostrar, como se muestra en la Figura 6.14. El proceso de inserción comienza cuando PLATEM agrega al usuario como nuevo amigo y luego se puede enviar una solicitud al usuario.

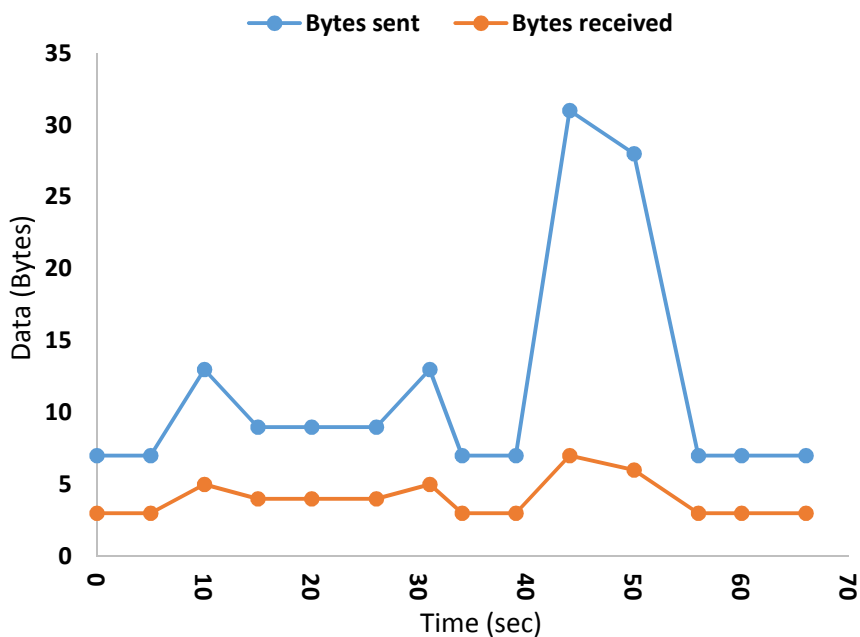


Figura 6.14. Tráfico de la red en la simulación de pruebas

En la Figura 6.15 se puede ver la captura generada por Wireshark del ancho de banda del servidor y la prueba del tiempo de respuesta durante la publicación de una imagen cargada en la red social. Este escenario implica la dedicación de los recursos del servidor de red a un nivel alto. El rendimiento óptimo de esta tarea es la clave para el correcto funcionamiento del sistema. Es posible analizar las consultas de los usuarios y las respuestas de datos del servidor, donde la longitud de cada paquete está marcada con el tiempo de respuesta del servidor. Puede darse el caso de que los datos sean imágenes o grandes conjuntos de datos. El servidor fue capaz de facilitar la navegación básica para muchos usuarios en la plataforma multimedia, donde muchos paquetes de remitentes son ACK, pero las comunicaciones del servidor estaban congestionadas al responder a big data, como imágenes, tablas de datos históricos y algunas publicaciones de usuarios. El análisis de la red se basó en el mensaje cargado con publicación de imágenes y la red del servidor tuvo que asignar recursos adicionales para cargar y guardar imágenes.

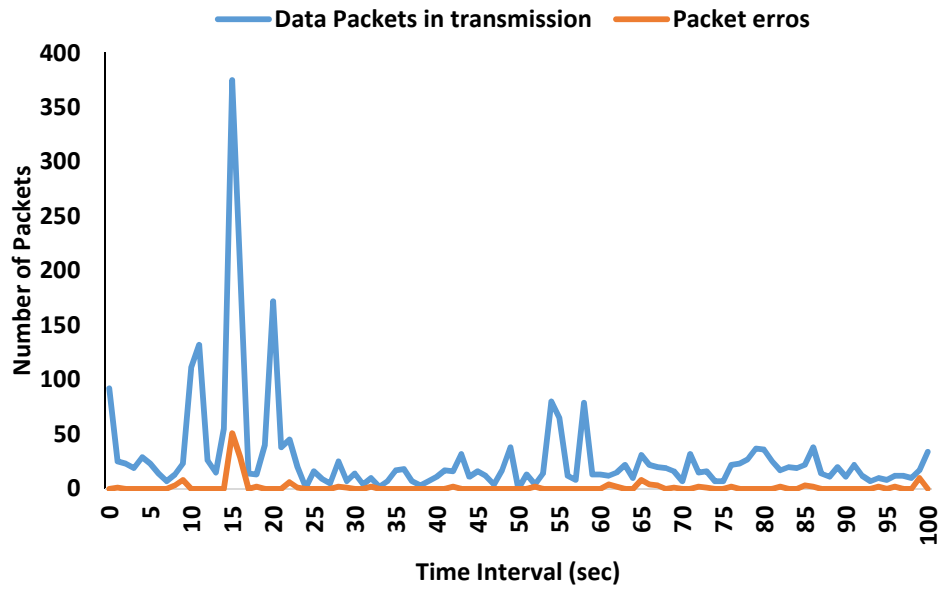


Figura 6.15. Análisis dl tráfico de la red del servidor

6.7 Comparativa de PLATEM con otras plataformas

Tecnología	Objetivo Clave	Módulo de procesamiento	Módulo de alarma y notificación	Datos de Almacenamiento	Protocolo de comunicaciones Protocolo abierto o privado	Publicaciones en redes sociales y datos abiertos
APOLLO	Control de crecimiento de cosecha y condiciones	SI Módulo de estimación VRI	SI	SI Monitor de control de crecimiento Estimación de cosecha	NO	NO
SMART AKIS	Información de almacenamiento	NO	NO	SI Plataforma flexible y adaptiva de tecnologías Smart farming	NO	SI
SIG AGRO ASESOR	Administrador de cosechas en SIG	SI módulos VRF & VRI	SI	SI	NO	SI
Agrivi	Monitor de tareas y análisis de actividades en cultivos	SI Estadio de cultivos & monitor de alerta de plagas	SI	SI Datos de cosecha y de gastos	NO	NO
Smart Water-Saving	Programación Inteligente de riego con sensores conectados	NO	NO	SI Datos de adquisición de humedad de suelo	SI Protocolo Privado	NO
PLATEM PA	Información de almacenamiento con inteligencia en VRF & VRI Datos Abiertos, Agricultores/técnicos en redes sociales	Motor de reglas de negocio Basado en datos de adquisición y datos históricos	Módulo de notificaciones en la plataforma multimedia	Historical data acquisition is represented in graphs and downloaded files	Protocolo de comunicaciones implementado bajo un protocolo abierto y estándar en dispositivos VRF & VRI	Agricultores y técnicos agrónomos acceso on-line en foros y publicaciones de cosechas, fallos, alertas y estimaciones de cosecha

Tabla 6.1 Comparativa de SFT con PLATEM

En la presente Tabla 6.1 podemos ver que de todas las tecnologías analizadas, el proyecto APOLLO es el más similar a nuestro diseño de propuesta de proyecto PLATEM PA.

Vamos a analizar más afondo esta tecnología y poder desarrollar novedades científicas/tecnológicas para dar así una mayor consolidación de PLATEM PA como sistema con mayor potencial de uso en comparación con lo existente, con propuestas altamente innovadoras en comunicaciones de ultra bajo consumo y protocolos de encaminamiento dinámico y en últimos modelos de motores de reglas de negocio aplicados a la plataforma multimedia. APOLLO cuenta con servicios auxiliares definidos como tareas específicas para recopilar todos los datos y generar informes. En un punto del proyecto se habla de “interactuar con otros”, pero no se especifica ninguna vinculación con sistemas de riego o maquinaria específica en agricultura por lo que simplemente informa al usuario.

6.7.1 Comparativa de PLATEM con APOLLO

APOLLO tiene como objetivo abrir el mercado de la agricultura de precisión poniendo a disposición de los agricultores, las asociaciones de agricultores y los consultores agrícolas servicios de modelos agronómicos

Los datos de Observación de la Tierra se utilizan en modelos agronómicos. El papel de los modelos agronómicos es traducir estos datos en información significativa para los agricultores. De esta manera, los agricultores reciben información que les ayuda a ser más eficientes en sus operaciones agrícolas. Por ejemplo, los agricultores pueden recibir información de APOLLO relacionada con el riego, como la hora y la cantidad de agua que deben aplicar. Además, pueden obtener información sobre el desarrollo de sus cultivos que les ayude a detectar a tiempo problemas como la infestación de plagas y de asesoramiento agrícola asequible y fácil de utilizar.

Dentro de esta línea PLATEM pretende crear modelos agronómicos a través del entrenamiento de datos y generar consignas ya encapsuladas capaces de ser reprogramadas por los controladores de riego a través de las redes de comunicaciones de bajo consumo desplegadas.

6.7.2 Comparativa de PLATEM con SmartAkis

SmartAkis es una red europea que difunde tecnologías y soluciones de Smart Farming (Agricultura Inteligente) entre los agricultores europeos y que acerca a profesionales de la

agricultura, la industria y la investigación para la identificación y desarrollo conjunto de soluciones de Smart Farming en respuesta a las necesidades de los agricultores.

PLATEM, entre otras cosas, es una red social de profesionales agrícolas que comparten entre ellos los datos y resultados obtenidos de sus parcelas, para generar aprendizaje entre ellos.

A diferencia de SmartAkis, PLATEM interactúa con los datos de adquisición y genera resultados y notificaciones a partir de ellos. En SmartAkis únicamente se difunde los tipos de tecnologías para que sean conocidas por el sector, pero no se interactúan ni se recopilan datos con ellas.

6.7.3 Comparativa de PLATEM con SIGAgro Asesor

El principal objetivo del proyecto sigAGROsedor es el desarrollo y puesta a punto de herramientas de apoyo a la decisión para el sector agrícola, que permitan crear una plataforma web de servicios on line para los agricultores, que de este modo podrán llevar a cabo sus actividades de un modo más eficiente, eficaz y competitivo, pero desde la base de la sostenibilidad ambiental y social.

Este sistema permite facilitar a nivel de Unidad de Gestión del Cultivo (UGC), toda la información técnica e incorporarla a las reglas de decisión de las herramientas, obteniéndose consejos precisos de manejo (variedades, fertilización, riego, tratamiento de plagas) en cultivos extensivos. La estructura SIG permitirá una definición dinámica de las UGC adaptándolas a las necesidades de cada usuario y posibilitando la integración de técnicas de agricultura de precisión intraparcelarias.

A diferencia de PLATEM, SIGAgro Asesor se basa en tecnología SIG o satelital para mostrar la información de las parcelas en una vista. Además según los valores que nosotros introducimos nos puede recomendar algunos datos para compensar riego o fertilización.

PLATEM es un sistema activo capaz de conectar con los sistemas de riego y fertirrigación, a parte de los sistemas de captura de datos, lo que permite una rápida acción ante cualquier cambio de intervalos o parámetros establecidos.

6.7.4 Comparativa de PLATEM con Agrivi

Agrivi permite planificar, supervisar y analizar fácilmente todas las actividades en cultivos. Labranza, siembra, fumigación, fertilización, riego y cosecha. Orientado a ser una plataforma ERP en el sector agrícola generando alarmas según se puedan cumplir algunos parámetros como riesgo de plagas o enfermedades, no interactúa con sistemas de riego o fertirrigación.

6.8 Conclusión

La plataforma multimedia tiene una función importante que es el intercambio de información a través de los muros con aportaciones de agrónomos, técnicos agrícolas y otros agricultores sobre dosis, plagas, restricciones de agua, etc. Además de aglutinar la parte de histórico de datos, tiene un apartado de operativa de riego con la que se puede ajustar las variables de riego oportunas. El objetivo de esta integración son las reglas exigidas por el usuario definidas en el sistema, que permiten una plataforma funcional simple y única para el manejo de datos de la agricultura inteligente en áreas de riego, tanto interiores (Pawloswki et al., 2009) como exteriores, para la fertilización, información del sistema de riego y aplicación correcta.

Como se puede observar los profesionales necesitan herramientas integradas y a la vez operativas en entornos móviles. La plataforma aparte de ser operativa por el usuario tiene un componente auto-decisivo, para tomar decisiones en ajustes de forma autónoma y de esta manera liberar al usuario en alguna toma de decisiones y consumos de tiempo en reprogramación de autómatas o umbrales de consigna.

La difusión de resultados entre usuario es una línea de mucho peso, donde se baraja un intercambio de información de forma automatizada, esto permitiría alimentar los modelos de predicciones en la fase de entrenamiento, de esa forma se comparan más datos y ayudaría a afinar los resultados de predicciones.

Finalmente, el trabajo presentado ha sido publicado en las siguientes referencias (Cambra et al., 2019).

7. Conclusions

7.1 Introduction

In this chapter, the conclusions of the study will be presented together with a portfolio of conference papers and journal publications that describe various phases of the research. Future lines of work that follow the conclusions will also be described.

In this thesis, the current options and the needs of intelligent irrigation monitoring and tele-management systems are described as the basis for the development and deployment of the proposed system: the PLATEM Tele-management Irrigation Platform.

7.2 Conclusions

The system notifies the farmer when the values have reached a precise threshold for the application of corrective measures. The information compiled by our WSN is presented through an easy-to-use web portal for management and visualization. Users can access the Web-based system through computer, tablet, or smartphone, provided they are equipped with a browser and an Internet connection. In summary, all the results confirm that the middleware and the intelligent decision engine is a reliable tool for data self-control and remote control of irrigation and water quality. In addition, through several systematic approaches, the data platform can process pest control options and aerial images of the state of the crops. Verification of the integration of new rules into algorithms in autonomous irrigation controllers with no human interaction is another aim. Studies will evaluate whether our intelligent sensor could be developed and applied to basic commercial systems currently on the market.

Finally, we discuss how these sensor information gathered can be used in agricultural environments were shown. We have developed applications for process data and after that shown in multimedia platform. In addition, a social network for professionals was proposed to increase the knowledge between them. Lastly, an intelligent system for training prediction using neural networks in Artificial Intelligence is presented.

7.3 Fulfillment of the objectives

In this section, the fulfillment of the objectives established in Chapter 1 will be described. In addition, we will detail some the difficulties that arose during the research work that forms the basis of this thesis.

The objectives set out in Chapter 1 were:

- Creation of the standard communications protocol for the different WSN.
- Selection of the best location for each calibrated sensor for optimal data collection.
- Creation of intelligent algorithms based neural networks to automate processes in the management of intelligent ferti-irrigation and irrigation systems for resource optimization and environmental sustainability.
- -Dissemination of data and exchange of opinions between social networks connected to the platform.

The work presented in this chapter has clearly fulfilled all the above objectives.

7.4 Difficulties found during the process

The main difficulties that arose in the course of this thesis are linked to its multidisciplinary characteristics and the need to integrate knowledge of agriculture and IT.

Those difficulties emerged in the area of agronomics and were resolved with the assistance of experts in the field of both hydraulics and agronomy. Some tests had to be developed indoors and included simulations, due to outdoor cultivation periods limited to only a few months and to climatic variables and localization problems.

The work of this thesis includes many topics ranging from sensors, through to data processing and visualization of results. The data-processing section requires further research to obtain powerful and competitive intelligent decision-making system for this sector. Thus far, the system has been restricted to basic decision-making.

7.5 Personal Contributions

As mentioned in the introduction, my links with the agricultural sector are deeply rooted in personal experience and the enjoyment of agricultural life.

My agronomic knowledge is linked to my farming work, and my experience in intensive cropping, and I have acquired knowledge of hydraulic irrigation systems throughout the past

few years of my professional career, both in hydraulics research groups and with companies that manufacture irrigation systems.

As may be seen from previous chapters, high investments of time and money have generated trial fields in agricultural exploitations, for which my deepest thanks to family generosity, and tests for the adaptation of the technology to real crops and real working practice. Many of the analyses are not only simulations, but are integrated into actual production systems with known yields.

This thesis has been financed with no external funding, so the efforts, both on the part of its directors and my own, to contrast the results with modern agronomic conditions and small-scale exploitations, firmly grounded in personal experience, is perhaps greater motivation than financing through scholarships and project grants.

I have thought it important to work on an integrated system, from sensor arrays to information processing and transmission of results, all the more so, as an important bottleneck is how to break through work on isolated and protected blocks of research, where transparency is not aided by privately marketed technologies that have arisen in isolation with no communication of protocols and innovations.

A current problem is communication protocols and the need to generate a standard protocol.

From the outset, the seriousness of the problem motivating the study is the challenge of designing an irrigation programmer that can converse with an intelligent platform connected to meteorological stations, satellite emissions, and weather stations.

There are currently many websites that market so-called precision agriculture platforms, although the question is to what extent is that precision communicated with lower layers?

The defense of this thesis is equatable with the encouragement and the creation of more open technological systems that communicate directly with each other, to move beyond the standardization of control variables that are marketed as brands dependent upon information gathered from multiple and in the final analysis open sources. If a device is not integrated into open platforms, access to intelligent interpretations of weather patterns and cropping yields will be isolated in separate applications until standardized and open communication protocols can be established.

7.6 Future work

The crucial avenue of future work will be the development of a standard communication protocol for irrigation devices such as ISOBus (ISOBUS 11783, 2016) for agricultural machinery.

In the first evaluation, the difficulties of manufacturers with separate intelligent irrigation controllers that apply private communication protocols to relay information, for instance, with public water-pumping stations has become evident. In future work, the design of a standard irrigation communication protocol in cooperation with major irrigation manufacturers will include new safe systems (Tornos et al. 2015), (Bagci et al. 2016).

Efforts will be focused on providing more accurate definitions of other parameters that may also affect water quality irrigation, in order to add them to our real-time monitoring systems. We also wish to verify the integration of new rules into algorithms for autonomous irrigation controllers with minimal human interaction. We will conduct a study to evaluate whether the intelligent sensor that has been developed could be a solution for the integration of basic commercial systems on the market.

The introduction of neural networks and data mining with minimal energy consumption and optimization of computing time will provide learning results from the decision engine for open access.

7.7 Publications derived from the PhD

The papers derived from the research presented in this thesis and closely related to its central objectives are as follows:

Journal papers:

- 1) Cambra Carlos; Herrero Álvaro; Sendra Sandra and Lloret Jaime. Model and training algorithm on crop irrigation demand on precision agriculture. Pattern Analysis and Applications, 2019. -In revision process. Impact Factor: 1.410 (2018).

- 2) Cambra Baseca, Carlos; Sendra, Sandra; Lloret, Jaime and Tomas, Jesus. A Smart Decision System for Digital Farming. *Agronomy* 2019, Volume 9, Number 5, Article number 216, DOI 10.3390/agronomy9050216. JCR category ank 19/89 (Q1). Impact Factor: 2.259 (2018).
- 3) Cambra Carlos, Sendra Sandra, Lloret Jaime, Lacuesta Raquel. Auto-calibrated pH Sensor for Water Irrigation in Hydroponic Smart Farming. *Sensors* 2018 Q2, 18, 1333; doi:10.3390/s18051333. Impact Factor: 3.031 (2018)
- 4) Cambra Carlos, Sendra Sandra, Lloret Jaime, Parra Lorena. Ad hoc Network for Emergency Rescue System based on Unmanned Aerial Vehicles. *Macrothink Institute TM, Network Protocols and Algorithms* ISSN 1943-3581 2015, Vol. 7, No. 4. Scientific Citation Indexing (SCI) for year 2016: 1.75.
- 5) Gárriz Ezpeleta Isabel, Lafarga Alberto, Gorriti Ion, Cambra Carlos. *Plataforma Europea de Agricultura de Precisión. Navarra Agraria* nº 224. 2017 con ISSN 0214-6401.
- 6) Cambra Carlos. *Tierras Agricultura* nº 240. Artículo: "Herramientas para ahorro energético en regadío". 2016. ISSN 1889- 0776.

Conference papers:

- 1) Cambra Carlos, R Díaz Juan, Lloret Jaime, Communication Ad Hoc protocol for intelligent video sensing using AR drones, The IEEE 9th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN 2013) SSPA Workshop 11-13 Dec.2013 Dalian, China. Page(s):449 - 453 Print ISBN: 978-0-7695-5159-3 INSPEC Accession Number: 14064156 Digital Object Identifier:10.1109/MSN.2013.115
- 2) Cambra-Baseca Carlos, R. Díaz Juan and Lloret Jaime. Communication Ad Hoc Protocol for Intelligent Video Sensing using AR Drones Libro/Artículo: "Deployment and Performance Study of Ad Hoc Network Protocol for Intelligent Video Sensing in Precision Agriculture". Carlos Cambra-Baseca, Juan R. Díaz and Jaime Lloret. Artículo incluido en Libro: *Ad-hoc Networks and Wireless*, Editorial Springer, ISBN 978-3-662-46337-3, (334633) Chapter 15. AdHocNow 2014 Benidorm (Spain) June 22nd to 27th, 2014.
- 3) Cambra Carlos, Sendra Sandra, Lloret Jaime, Garcia Laura. An IoT Service-Oriented System for Agriculture Monitoring. *IEEE International Conference on Communications Paris // France* Published in: *Communications (ICC)*, Paris-France 2017, ISSN: 1938- 1883,DOI: 10.1109/ICC.2017.7996640.

- 4) Cambra Carlos, Sendra Sandra, Jimenez Jose Miguel, Lloret Jaime “Red de Sensores Inalámbricos de Bajo Consumo Energético en Agricultura Hidropónica” JITEL 2017. 27-29 de Septiembre de 2017, Valencia, Spain. ISSN / ISBN: 978-84-9048-595-8
- 5) Cambra Carlos, Sendra Sandra, Garcia Laura, Lloret Jaime. “Low cost wireless sensor network for rodents detection”. WMNC 2017. 25-27 de Septiembre de 2017, Valencia, Spain Septiembre de 2017, ISSN / ISBN: ISSN: 2473-3644.

Bibliografía

- Agrivi, 2017. Available online at <http://www.agrivi.com/en/re> (Last access: February, 2017).
- Agroasesor, 2017. <https://www.agroasesor.es/es/plataforma-sigagroasesor.html> (Last access: December, 2017).
- Alvino, A., Marino, S. (2017). Remote Sensing for Irrigation of Horticultural Crops. *Horticulturae. Sensors*, 1333 16.
- Andaluz, V.H., Tovar, A.Y., Bedón, K.D., Ortiz, J.S., Pruna, E. (2016). Automatic control of drip irrigation on hydroponic agriculture: Daniela tomato production. In *Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Automatica (ICA-ACCA)*, Curico, Mexico; pp. 1–6.
- Andriyas, S., McKee, M. (2013). Recursive partitioning techniques for modeling irrigation behavior. *Environmental Modelling & Software*, 47, 207–217. doi:10.1016/j.envsoft.2013.05.011.
- Apollo Project, 2016. Available online at: <http://apollo-h2020.eu/> (Last access: January, 2018).
- Ardupilot, 2018. <http://ardupilot.org/planner/>. (Last access: April, 2018).
- Armesto A., Lafarga A., Goñi J., Orcaray L. (2017). “La HAD NITRO de sigAGROsesor” *Navarra agraria*, ISSN 0214-6401, Nº 220, pp. 26-37.
- Atzori, L., Lera, A., Morabito, G. (2010) The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15).
- Atzori L., Lera A., Morabito G. (2014). From "smart objects" to "social objects": The next evolutionary step of the internet of things, in *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 1, pp. 97-105. doi: 10.1109/MCOM.2014.6710070.
- Azfar S., Nadeem A., Basit A., (2015). Pest detection and control techniques using wireless sensor network: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, Vol. 3, No. 2. Pp.92-99.
- Bagci F. (2016). Energy-efficient Communication Protocol for Wireless Sensor Networks, *Ad Hoc and Sensor Wireless Networks*, Volume 30, Number 3-4. Pp. 301-322.
- Barmounakisa S., Kaloxylou A., Groumasa A., Katsikasa L., Sarrisa v., Dimtsaa K., Fournier F., Antoniou E., Alonistiotia N., Wolferte S. (2015). Management and control applications in

Agriculture domain via a Future Internet Business-to-Business platform. *Information Processing in Agriculture*. Volume 2, Issue 1, pp 51-63.
<https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.04.002>

Barrenetxea, G., Ingelrest, F., Schaefer, G., Vetterli, M. (2008). Wireless sensor networks for environmental monitoring: The sensor scope experience. In *Proceedings of the 2008 IEEE International Zurich Seminar on Communications*, Zurich, Switzerland, pp. 98–101.

Basso, M., Giarre, L., Groppi, S., Zappa, G. (2005). NARX models of an industrial power plant gas turbine. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 13(4), 599-604. doi: 10.1109/TCST.2004.843129.

Bishop, C. M. *Neural Networks for Pattern Recognition*. (1996). Oxford University Press.

Boronat Seguí F., Guerri Cebollada J. C., Lloret Mauri J., (2008). An RTP/RTCP based approach for multimedia group and inter-stream synchronization, *Multimedia Tools and Applications* 40 (2), Pp. 285-319.

Bradski G., Kaehler A. (2008). *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*, O'Reilly Media, Inc. Pp. 580.

Buckle A. (2017). Rat control impact on farm”, in *Farmers Academy website*. [On line Article] Available at: <https://www.fwi.co.uk/academy/lesson/rat-control-1-impact-on-far>.

Castle, M., Lubben, B. D., & Luck, J. (2015). Precision agriculture usage and big agriculture data (Cornhusker Economics). <http://agecon.unl.edu/cornhusker-economics/2015/precision-agricultureusage-and-big-agriculture-data>. Accessed 24 Jan 2017.

Canales M., Gállego J. R., Hernández-Solana Á., Valdovinos A. (2009). QoS provision in mobile ad hoc network with an adaptive cross-layer architecture. *Wireless Networks*, Volume 15, Issue 8, pp 1165-1187. DOI: 10.1007/s11276-008-0109-2.

Cambra C., Diaz J.R., and Lloret J., (2013). Communication Ad Hoc Protocol for Intelligent Video Sensing using AR Drones”, In *proc. of the IEEE Ninth International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN 2013)*, Dalian (China).

Cambra C., Díaz J.R., Lloret J. (2013b). Deployment and Performance Study of an Ad Hoc Network Protocol for Intelligent Video Sensing in Precision Agriculture.” *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 8629, Pp.165-175.

- Cambra C., Sendra S., Lloret J., L. Parra, (2015). Ad hoc Network for Emergency Rescue System based on Unmanned Aerial Vehicles", *Network Protocols and Algorithms*, Vol 7, No 4, Pp. 72-89.
- Cambra C., Sendra S., Jimenez JM., Lloret J. (2017b) Red de Sensores Inalámbricos de Bajo Consumo Energético en Agricultura Hidropónica. JITEL. 27-29 September 2017, Valencia, Spain. ISSN / ISBN: 978-84-9048-595-8.
- Cambra C., Sendra S., Garcia L., Lloret J. (2017). Low cost wireless sensor network for rodent detection. WMNC 2017. 25-27, Valencia, Spain, ISSN / ISBN: ISSN: 2473-3644.
- Cambra, C. (2016). Herramientas para el ahorro energético en regadío. *Tierras Agric*, pp 108–109. Printed edition. ISSN: 1889-0776.
- Cambra C., Sendra S., Lloret J., Garcia L. (2017c). An IoT Service-Oriented System for Agriculture Monitoring. *IEEE International Conference on Communications Paris // France* Published in: *Communications (ICC)*, Electronic ISSN: 1938-1883 INSPEC Accession Number: 17065902 DOI: 10.1109/ICC.2017.7996640 Publisher: IEEE.
- Cambra C., Sendra S., Lloret J., Tomas J. (2019). A Smart Decision System for Digital Farming. *Agronomy* 2019, 9(5), 216; <https://doi.org/10.3390/agronomy9050216>.
- Cambra C., Herrero A., Sendra S., Lloret J. (2019b) Model and training algorithm on crop irrigation demand on precision agriculture. *Pattern Analysis and Applications*, 2019. -In revision process
- Chalouf MA., Berek M., Krief F. (2011). Quality of Service and security negotiation for autonomous management of Next Generation Networks. *Network Protocols and Algorithms*, Vol 3, No 2, Pp. 54-86.
- Chen, M., Mao, S., Liu, Y. (2014). Big Data: a survey. *Mobile Network Appl* 19, 171–209.
- Chowdhury N., Hossai M., Islam S. (2013). Detection of Keys, Controlling Machines and Wireless Sensing Via Mesh Networking Through Internet. *Global Journal of Researches in Engineering Electrical and Electronics Engineering*. Vol. 13, No. 13.pp.
- Christensen, S., H.T. Sogaard, P. Kudsk, M. Norremark, I. Lund and E.S. Nadimi (2009). Site-specific weed control technologies. *Weed Research*, Vol. 49, Issue 3, 233-241.
- Crisnapati P.N., Wardana I.N.K., Aryanto I.K.A.A., Hermawan A. (2017) Hommons: Hydroponic management and monitoring system for an IOT based NFT farm using web technology. In

Proceedings of the 5th International Conference on Cyber and IT Service Management, Bali, Indonesia; Volume 2017, pp. 1–6.

Common Agricultural Policy (CAP) 2014/2020. (2016). Available at: http://ec.europa.eu/agriculture/policy-perspectives/policybriefs/05_en.pdf.

Conector26, 2019. <https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/0f1a/0900766b80f1a9e3.pdf>. (Last Access: June, 2019).

Copernicus, 2017. <https://www.copernicus.eu/en>. (Last Access: November, 2017).

Corrigan B. (2017). Rodent Control and Food Safety. In Pest Control Technology website. August 16, 2013. [On line Article]. Available at: <http://www.pctonline.com/article/pct0813-proactive-rodent-controlfood-safety/>.

Croft, M.M., Hallett, S.G., Marshall, M.I. (2017). Hydroponic production of vegetable Amaranth (*Amaranthus cruentus*) for improving nutritional security and economic viability in Kenya. *Renew. Agric. Food Syst*, 32, 552–561.

Davenport, T.H., Short, J.E. (1990). The new industrial engineering - information technology and business process redesign. *Sloan Management Review* 31, 11–27

De Mauro, A., Greco, M., Grimaldi, M., 2016. A formal definition of Big Data based on its essential features. *Libr. Rev.* 65, 122–135.

De Anda, J., Shear, H. (2017). Potential of Vertical Hydroponic Agriculture in Mexico. *Sustainability*, 9, 140.

Djellali B., Chouarfia A., Belarbi K., Lorenz P. (2015). Design of Authentication Model Preserving Intimacy and Trust in Intelligent Environments, *Network Protocols and Algorithms*, Vol 7, No 1. Pp. 64-83.

Dimo Systems, 2017. LoRa mouse traps. Available at: www.xygnal.com. (Last access: June, 2017).

D'Errico R., Rossini R., Maman M. (2011). A Performance Evaluation of Cooperative Schemes for Body Area Networks on Measure Time Variant Channels. In proceedings of the IEEE International Conference on Communication. Kyoto, Japan.

Europapress News, 2018. Available online: <http://www.europapress.es/andalucia/almeria-00350/noticiasuperficie-invernaderos-crece-105-ultimos-cuatro-anos-llegar-29596-hectareas-20150213102204.html>. (Last access: April, 2018).

- FarmtoFork, 2017. <http://www.rfid-f2f.eu/index2.asp>. (Last access: December, 2017).
- Felzenszwalb, P. F. Girshick, R. B., McAllester, D., Ramanan, D., (2009). Object Detection with Discriminatively Trained Part-Based Models, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 32, Issue 9.
- Ferentinos, K., Katsoulas, N., Tzounis, A., Bartzanasa, T., Kittasb, C. (2017). Wireless sensor networks for greenhouse climate and plant condition assessment. *Biosyst. Eng.* 153, 70–81.
- FFmpeg multimedia framework, 2014. available: <http://www.ffmpeg.org>. (Last access: November 2015).
- Fry A. (2005). Facts and Trends, Water. In World Business Council for Sustainable Development, Earthprint Ltd.
- Flynn Martina. (2017). BASF Company, website. [On line Article] Available at: http://www.pestcontrol.basf.es/agroportal/pc_es/es/professional_pest_control/_inv_news/Como_hacer_frente_a_las_dificultades_crecientes_en_el_control_de_roedores.html.
- Gail K. (2017). Rodent damage costing agriculture industry millions, In Western FarmPress website. [On line Article] Available at: <https://www.farmprogress.com/management/rodent-damage-costing-agriculture-industry-millions> (Last access: June 2019).
- Garcia-Sanchez A.J., Garcia-Sanchez F., Garcia-Haro J., (2011). Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and datamonitoring in precision agriculture over distributed crops”, *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 75, No. 2, Pp, 288–303.
- Garcia, M., Bri, D., Sendra, S., Lloret, J. (2010). Practical Deployments of Wireless Sensor Networks: a Survey, *Journal On Advances in Networks and Services*, Vol. 3, Issue 1&2, Pp. 170-185.
- Garcia, M., Coll, H., Bri, D., Lloret, J. (2008). Using MANET protocols in Wireless Sensor and Actor Networks. The Second International Conference on Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM 2008), Cap Esterel, France.
- Garriz, I., Gorroti, I., Cambra, C. (2017) Smart Agriculture European Platform. Navarra Agraria INTIA, 223, ISBN 0214-6401.
- Gill, S., Chana, I., Buyya, R. (2017). IoT based agriculture as a cloud and big data service: The beginning of digital India. *J. End User Comput*, pp1–23.

- Goethals B., Moens S., Vreeken J. (2011). MIME: A framework for interactive visual pattern mining. In Proceedings of the 17th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, KDD '11, pp. 757-760, New York, NY, USA. ACM.
- Haykin, S. (1994). Neural Networks: a Comprehensive Foundation Macmillan.
- Hellan S., Storvik F. (2016) Europe ISM Band rolthres Application Note ANO50. Available at: <http://www.ti.com/lit/an/swra146b/swra146b.pdf>.
- HDVIPER, 2013. High Definition Videoconferencing over IP Environment project. Available on-line at: <http://www.hdviper.org>. (Last access: June 2016).
- Ibayashi, H., Kaneda, Y., Imahara, J., Oishi, N.; Kuroda, M.; Mineno, H. (2016). A Reliable Wireless Control System for Tomato Hydroponics. Sensors, 16, 644.
- Ingram Dewayne, L. (2018). Understanding Irrigation Water Test Results and Their Implications on Nursery and Greenhouse Crop. Available online: https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1160&context=anr_reports.
- ISO Bus 11783. (2016). Agricultural Industry Electronics Foundation. Available at: <http://www.aef-online.org/en/about-isobus/what-is-isobus.html>.
- Janos, S., Martinovic, G., Matijevics, I. (2010). WSN Implementation in the Greenhouses Environment Using Mobile Measuring Station. Int. J. Electr. Comput. Eng. Syst. 1, 37–44.
- JBoss Drools, Available at: http://planet.jboss.org/post/the_jbossesb_drools_integration_in_the_jboss_soa_platform. (Last access: May, 2017)
- Kang, D. S., Griswold, N. C., and Kehtarnavaz, N., (1994). An Invariant Traffic Sign Recognition System Based on Sequential Color Processing and Geometrical Transformation, IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, pp. 88 – 93.
- Karim, L., Anpalagan, A., Nasser, N., Almhana, J., (2013). Sensor-based M2M Agriculture Monitoring Systems for Developing Countries: State and Challenges, Network Protocols and Algorithms, Vol 5, No 3. Pp. 68-869.
- Kawakami T., Fujita N., Yoshihisa T., Tsukamoto M. (2014). An Evaluation and Implementation of Rule-Based Home Energy Management System Using the Rete Algorithm, The Scientific World Journal, Vol. 2014, Article ID 591478, Pp. 1-8.

- Kehui X, Deqin X., Xiwen L. (2010) Smart water-saving irrigation system in precision agriculture based on wireless sensor network , *Trans. of CSAE*, vol. 26, no. 11, pp. 170-175.
- Kim, H.J., Kim, D.W., Kim, W.K., Cho, W.J., Kang, C.I. (2017). PVC membrane-based portable ion analyzer for hydroponic and water monitoring. *Comput. Electron. Agric*, 140, 374–385.
- Kliegr, T., Kuchar, J., Sottara, D., Vojr, S. (2014). Learning business rules with association rule classifiers. In *Proceedings of the 8th International Web Rule Symposium (RuleML14)*, Prague, Czech Republic, pp. 236–250.
- Kliegr T, Kuchar J. (2014). Learning business rules with association rule classifiers. In *Rule ML14. The 8th International Web Rule Symposium*. Springer.
- Koger, C.H., DR, S., Watson, C.E., Reddy K.N. (2003) Detecting late-season weed infestations in soybean (*Glycine max*). *Weed Technol* 17: 696-704.
- Krajník T., Vonásek V., Fiser D. and Faigl J. (2011). AR-Drone as a Platform for robotic Research and Education. *International Conference Robotics EUROBOT 2011*, Prague, Czech Republic.
- Labbe, F., Ruelle, P., Garin, P., & Leroy, P. (2000). Modelling irrigation scheduling to analyze water management at farm level, during water shortages. *European Journal of Agronomy*, 12, 55–67. doi:10.1016/S1161-0301(99)00043-X.
- Lacuesta R., Garcia M., Lloret J., Palacios G. (2011). Study and Performance of Ad Hoc Routing Protocols, chapter 4 of the book *Mobile Ad hoc Networks: Current Status and Future Trends*, CRC Press, Pp. 71-101.
- Leontaritis, I. J., & Billings, S. A. (1985). Input-output parametric models for non-linear systems Part I: deterministic non-linear systems. *International Journal of Control*, 41(2), 303-328. doi: 10.1080/0020718508961129.
- Liu, Y., and Xu, B., (2014). Energy-Efficient Distributed Multi-Sensor Scheduling Based on Energy Balance in Wireless Sensor Networks, *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*, Volume 20, Number 3-4. Pp. 307-328.
- Li, X., Cheng, X., Yan, K., Gong, P. (2010). A Monitoring System for Vegetable Greenhouses based on a Wireless Sensor Network. *Sensors*, 8963–8980.
- Lloret, J., Palau, C., Boronat, F., Tomas, J. (2008). Improving Networks Using Group-based Topologies, *Computer Communications*, Vol. 31, Issue 14, Pp. 3438-3450.

- Lloret J., Shu L., Lacuesta R., Chen M., (2012). User-Oriented and Service-Oriented Spontaneous Ad Hoc and Sensor Wireless Networks, *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*, Vol. 14, Issue 1-2, Pp. 1-8.
- Lloret J., Garcia M., Bri D., Sendra S. (2009). A Wireless Sensor Network Deployment for Rural and Forest Fire Detection and Verification, *Sensors*, Vol. 9 Issue 11, Pp. 8722-8747, , doi:10.3390/s91108722.
- Lloret J., Bosch I., Sendra S., Serrano A., (2011). A Wireless Sensor Network that use Image Processing for Vineyard Monitoring, *Sensors*, Vol 11, Issue 6, Pp. 6165-6196, doi:10.3390/s110606165.
- Lopes, P., Salvador, P., Nogueira, A. (2013). Methodologies for Network Topology Discovery and Detection of MAC and IP Spoofing Attacks, *Network Protocols and Algorithms*, Vol 5, No 3 (2013). Pp. 153-197.
- Lopez O., Rach M.M., Migallon M., Serrano J.J.(2012). Monitoring Pest Insects Traps by Means of Low Power Image Sensor Technologies, *Sensors*, 2012, Vol.12, pp.15801-15819.
- Lora Alliance. (2016). Available at: <https://www.lora-alliance.org/What-IsLoRa/Technology>.
- Macia E., Suarez A., Martin J., Sunderam V. (2007). Using OLSR for Streaming Video in 802.11 Ad Hoc Networks to Save Bandwidth, *International journal of Computer of Science* 33:1.
- Martinelli M., Ioriatti L., Federico V., Benedetti M., A. Massa, (2009). A WSN Based Solution for Precision Farm Purposes. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2009)*. Cape Town, (South Africa). Pp. 469-472.
- Mathworks. (2018). MATLAB. https://es.mathworks.com/solutions.html?s_tid=gn_sol. Last Access: May, 2019).
- MAVLink, 2014. Micro Air Vehicle Communication Protocol. At: <http://qgroundcontrol.org/mavlink/start>. (Last access: November, 2014).
- Micasense, 2019. <https://www.micasense.com/es/inicio>. (Last access: June, 2019)
- Misra S., Barthwal R., Obaidat M. S. (2012). Community detection in an integrated Internet of Things and social network architecture. 2012. *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Anaheim, CA, pp. 1647-1652. doi: 10.1109/GLOCOM.2012.6503350. G

- Morota, G., Ventura, R. V., Silva, F. F., Koyama, M., & Fernando, S. C. (2018). Machine learning and data mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture. *Journal of Animal Science*.
- Murase, H., Honami, N., & Nishiura, Y. (1995). A neural Network Estimation Technique for Plant Water Status Using the Textural Features of Pictorial Data Plant Canopy. *Acta Horticulturae*. doi: 10.17660/ActaHortic.399.30.
- Ning H., Wang Z. (2011). "Future Internet of Things Architecture: Like Mankind Neural System or Social Organization Framework?" in *IEEE Communications Letters*, vol. 15, no. 4, pp. 461-463. doi: 10.1109/LCOMM.2011.022411.110120.
- Nikolidakis S. A., Kandris D., Vergados D., Douligeris C. (2014) Energy efficient automated control of irrigation in agriculture by using wireless sensor networks. Computer Technology Institute, DAISy Research Unit, 26500 Rio Patras, Greece, Information & Communication Systems Engineering Department, Aegean University, Greece, Tyndall National Institute, Lee Maltings, Prospect Row, Cork, Ireland, Automated zone-specific irrigation with wireless sensor/actuator network and adaptable decision support. *Computers and Electronics in Agriculture* 105 20–33. *Computers and Electronics in Agriculture* 113 (2015) 154–163.
- Nordic Semiconductor, 2017. RF specialist in ultra-low power wireless communications. Available at: <http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01>. (Last access: May, 2017).
- Ntinis, G.K., Neumair, M., Tsadilas, C.D.; Meyer, J. (2017). Carbon footprint and cumulative energy demand of greenhouse and open-field tomato cultivation systems under Southern and Central European climatic conditions. *J. Clean. Prod.*, 142, 3617–3626.
- Open Source Computer Vision Library, 2014. At: <http://opencv.org/> (Last access: June, 2014).
- Ortiz A. M., Hussein D., Park S., Han S. N., Crespi N. (2010). The Cluster Between Internet of Things and Social Networks: Review and Research Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, no. 3, pp. 206-215. doi: 10.1109/JIOT.2014.2318835.
- Os, E., Blok, C., Voogt, W., Waked, L. (2016). Water quality and salinity aspects in hydroponic cultivation. *WUR Lib.* 403810. Available online: <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/403810> (accessed on 24 April 2018).
- Pandurang H., Rajan G., Prashant A. (2015) Web based automatic irrigation system using wireless sensor network and embedded Linux board. Conference: 2015 International Conference on

Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT). March 2015 DOI: 10.1109/ICCPCT.2015.7159327

Pawloski, A., Guzman, J., Rodriguez, F. (2009). Simulation of Greenhouse Climate Monitoring and Control with Wireless Sensor Network and Event-Based Control. *Sensors* 232–252.

Peña J.M., Torres J., de Castro A., Kelly M., (2013). Weed Mapping in Early Season Maize Fields Using Object-Based Analysis of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images, *PLOS ONE* DOI:10.1371/journal.pone.0077151.

Pix4D, 2018. <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software>. (Last Access: april, 2018)

Playán E., Salvador R., López C., Lecina S., Dechmi F., and Zapata N. (2013). Irrigation Controllers driven by solid-set Sprinkler and crop simulation models, In proc. of the 1st CIGR Inter-Regional Conference on Land and Water Challenges, Bari, Italy.

Qgroundcontrol, 2014. <https://docs.qgroundcontrol.com/en/>. (Last access: October, 2014).

Raymond E., Hunt W. Dean Hively, Fujikawa S.J., Linden D.S., Craig S. T. W. McCarty G. (2010). Acquisition of NIR-Green-Blue Digital Photographs from Unmanned Aircraft for Crop Monitoring”, *Remote Sensing*, Vol.2, No.1, Pp.290–305.

Remes B., Hensen D. , Tienen F., De Wagter C., van der Horst E., and Croon G. (2013). Paparazzi: how to make a swarm of Parrot AR Drones fly autonomously based on GPS, *International Micro Air Vehicle Conference and Flight Competition (IMAV2013)*, Toulouse, France.

Remy G., Senouci S. M., Jan F., Gourhant Y, (2013). SAR Drones: Drones for Advanced Search and Rescue Missions, *Les Journées Nationales des Communications dans les Transports (JNCT 2013)*, Nevers, France, May 29- 30, 2013.

Resh, H.M. (2016). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.

Rf24, 2019. <https://www.nordicsemi.com/Products/Low-power-short-range-wireless/nRF24-series>. (Last access: June30, 2019).

RF24Network Layer v1.0.7, 2017 <https://tmrh20.github.io/RF24Network/index.html>. (Last access: May 30, 2017).

- Rosati S., Krizélecki K., Traynard L. and Rimoldi B. Speed-Aware Routing for UAV Ad-Hoc Networks. Mobile Communications Laboratory, École Polytechnique Fédérale de Laussane (EPFL), Laussane, Switzerland.
- Ruiyu L., Changzhou, Y., D., Xuewu Z., Wenchao Z. (2008). A real-time prediction system of soil moisture content using genetic neural network based on annealing algorithm. Computer & Inf. Eng. College, Hohai University IEEE International Conference on Automation and Logistics (ICAL) 2781 – 2785.
- Ruiz-Garcia L., Barreir P., Robla J.I. (2008). Performance of ZigBee-Based wireless sensor nodes for real-time monitoring of fruit logistics. Journal of Food Engineering. Vol. 87, No.3, Pp. 405–415.
- Saha H., Mandal S., Mitra S. (2017). Comparative Performance Analysis between nRF24L01+ and XBEE ZB Module Based Wireless. I. J. Computer Network and Information Security. pp 36-44.
- Saha H. N., Banerjee S., Majumdar A., Dey R. (2015). Modified Ant Colony Optimization (ACO) based routing protocol for MANET, 6th International Conference and Workshop on Computing and Communication.
- Sánchez I, Zapata N, Faci JM, Martínez-Cob A. (2011). The spatial variability of the wind in a sprinkler irrigated district: Implications for irrigation management. Biosystems Engineering 109 (1): 65-76 (2011)
- Schwotzer T., (2002). Building Context Aware P2P Systems with the Shark Framework, First German Workshop on Experience management (GWEN'02), Berlin; Germany, pp. 131-138.
- Sigfox, 2016. Technical features. Available at: <https://www.sigfox.com/>. (Last access: November, 2016).
- Slaughter, D.C., D.K. Giles and D. Downey (2008). Autonomous robotic weed control systems: A review. Computers and Electronics in Agriculture, 61, 63-78.
- Sendra S., Llario F., Parra L., Lloret J. (2013). Smart Wireless Sensor Network to Detect and Protect Sheepsand Goats to Wolf Attacks. Recent Advances in Communications and Networking Technology. Vol.: 2, No.2, Pp.91-101.
- Sendra S., Lloret J., García M., Toledo J.F. (2011). Power saving and energy optimization techniques for Wireless Sensor Networks. Journal of Communications. Vol. 6, No. 6, Pp.439-459.

- Shark Framework, 2016. Shared Knowledge Framework, Sourceforge: <http://sourceforge.net/projects/sharkfw/>. (Last access: November, 2016)
- Shawn, W., Salleya, R., Sleezerb, O. (2016). A long-term analysis of the historical dry boundary for the Great Plains of North America: Implications of climatic variability and climatic change on temporal and spatial patterns in soil moisture. *Geoderma*, 274, 104–113.
- Skrabal R., Simunek M, Vojir S., Hazucha A., Marek T., Chudan D, Kliegr T. (2012). Association rule mining following the web search paradigm. In Peter A. Flach, Tijl Bie, and Nello Cristianini, editors, *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*, volume 7524 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 808-811. Springer Berlin Heidelberg.
- Smart-Akis, 2017. <https://www.smart-akis.com/index.php/network/what-is-smart-farming/> (Last access: December, 2017).
- SN74, 2019. <https://es.rs-online.com/web/p/circuitos-integrados-ic-de-contadores/0302902/>. (Last access: June, 2019).
- Soranz Ferrarezi, R., Testezlaf, R. (2014). Performance of wick irrigation system using self-compensating troughs with substrates for lettuce production. *J. Plant Nutr*, 39, 147–161.
- Suganthe C., Balasubramanie P. (2011). Improving QoS in Delay Tolerant Mobile Ad Hoc Network Using Multiple Message Ferries, *Network Protocols and Algorithms*, Vol 3, No 4, Pp. 32-53.
- Sundmaeker, H., Verdouw, C., Wolfert, S., Pérez Freire, L. (2016). Internet of food and farm 2020. In: Vermesan, O., Friess, P. (Eds.), *Digitising the Industry - Internet of Things Connecting Physical, Digital and Virtual Worlds*. River Publishers, Gistrup/Delft, pp. 129–151.
- Suwannarong K., Chapman R. S. (2015). Characteristics Associated with Contact with Rodents In, Around, and Outside Homes in Khon Kaen Province, Thailand, *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, Vol. 92. No.4. Pp. 784–790.
- Tarique M., Hossain A., Islam R., Hossain C. (2010). Issues of Long-Hop and Short-Hop Routing in Mobile Ad Hoc Networks: A Comprehensive Study, *Network protocols and Algorithms*, Vol 2, No 2. Pp. 107-131.
- Tie L., (2016). Research and Implementation of Connectivity between the 6LOWPAN Subset and IPV4 Internet Based on CONTIKI. In *proceedings of the 2016 International Conference on Computer, Mechatronics and Electronic Engineering*, Beijing, China.

- Treftz, C., Omaye, S.T. (2016). Hydroponics: Potential for augmenting sustainable food production in non-arable regions. *Nutr. Food Sci.* 46, 672–684.
- Tornos J. L., Salazar J. L., Piles J. J., (2015). Secure Trust Management with Source Routing Protocol for MANETs, *Network Protocols and Algorithms*, Vol 7, No 2. Pp. 42-59.
- Vazquez J.I., Ruiz-de-Garibay J., Eguiluz X., Rentería S., Ayerbe A. (2010). Communication architectures and experiences for web-connected physical Smart objects. 2010. 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), Mannheim, pp. 684-689. doi: 10.1109/PERCOMW.2010.5470521.
- Visser A., Dijkshoorn N., Van Der Veen M., Jurrianns R. (2011). Closing the gap between simulation and reality in the sensor and motion models of an autonomous AR Drone. *International Micro Air Vehicle conference and competitions 2011 (IMAV 2011)*, Harde, The Netherlands, September 12-15, 2011.
- Walzer K., Breddin T., Groch M. (2008). Relative temporal constraints in the Rete algorithm for complex event detection. *Proceedings of the second international conference on Distributed event-based systems*. 978-1-60558-090-6. Rome, Italy. Pp 147-155 doi: 10.1145/1385989.1386008.
- Wang Z., Lin G. W., Wang J. Q., Gao W. L., Chen Y. F., Q. L. Duan Q. L., (2014). Management of Big Data in the Internet of Things in Agriculture Based on Cloud Computing", *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 548-549, pp. 1438-1444.
- Wichthuber M., Ruckert J., Stingl D., (2012). Energy-Efficient Mobile P2P Video Streaming. *Proceedings of the 12th Conference on Peer-to-Peer Computing*, Tarragona, Spain.
- WiFi 2019. https://standards.ieee.org/standard/802_11aj-2018.html. (Last Access: June 2019).
- Wireshark, 2015. Network Analyzer. Available on-line at <http://wireshark.org>. (Last access: June, 2015).
- Wisecan Company, 2017. Available at: www.wisecan.dk, Denmark. (Last access: April, 2017).
- Yang, H., Taisheng, D., Rangjian, Q., Jinliang, C., Wang, F., Yang, L., Shaozhong, K. (2017). Improved water use efficiency and fruit quality of greenhouse crops under regulated deficit irrigation in northwest. *Agric. Water Manag.* No 179, pp 193–204.
- Yiltas-Kaplan D., Durukan-Odabasi S., Kirci P. (2016). An Interference-Aware Channel Assignment Scheme for Wireless Mesh Networks, Ad Hoc and Sensor Wireless Networks, Volume 30, Number 3-4. Pp. 183-199.

- Yeng, C., Yuling, S., Zhongyi, W. (2016). Connectivity of Wireless Sensor Networks for Plant Growth in Greenhouse. *Int. J. Agric. Biol. Eng. Beijing*, pp 89–98.
- Zapata N., Salvador R., Cavero J., Lecina S., Lopez C., Mantero N., Anadon R., and Playan E., (2013). Field test of an automatic controller for solidset sprinkler irrigation. *Irrigation Sciences*. Vol. 31, No.5, pp 1237-1249.
- Zhang C., Kovacs J. (2012). The application of small-unmanned aerial systems for Precision agriculture: a review. *Prec Agric* 13: 693–712.
- Zhang, Q., Yang, X.L., Zhou, Y.M., Wang, L.R., Guo, X.S. (2007). A wireless solution for greenhouse monitoring and control system based on ZigBee technology. *J. Zhejiang Univ.-Sci. A*, pp 1584–1587.
- Zhanlin Ji., Ganchev I., Xueji Z. (2014). A Cloud-Based Car Parking Middleware for IoT-Based Smart Cities: Design and Implementation. *Sensors* Volume 14, ISSN1424-8220. DOI 10.3390/s141222372.
- ZhongFu S., KeMing D., FeiXiang Z., and ShouYi Y. (2013). Perspectives of research and application of big data on smart agriculture. *Journal of Agricultural Science and Technology*, Vol. 15, No. 6, pp. 63-71.
- Zhurong C., Chao H., Jingsheng L., and Shoubin L. (2008). Protocol architecture for wireless body area network based on nrf24l01”, In proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics, China . pp. 3050– 3054.