



Title: Desarrollo de un sistema inalámbrico escalable de medición de humedad del suelo en un cultivo de vid

Authors: ORTEGA-CORRAL, César, EATON-GONZÁLEZ, B. Ricardo, LÓPEZ-CRUZ, Florencio y DÍAZ-SANTANA ROCHA, Laura Rocío

Editorial label ECORFAN: 607-8695
BCIERMMI Control Number: 2020-04
BCIERMMI Classification (2020): 211020-0004

Pages: 21
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
143 – 50 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.
Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

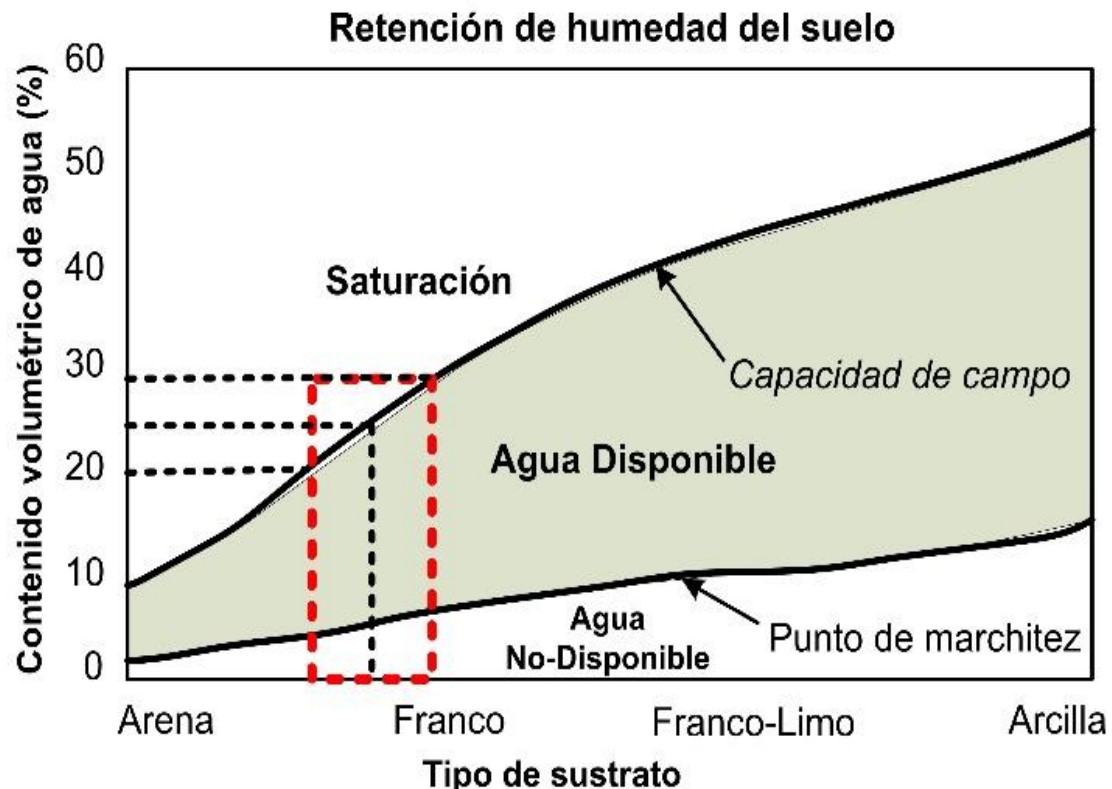
Resumen

Se presenta un sistema inalámbrico aplicado a la agricultura de precisión, se trata de nodos sensores que miden la humedad del suelo a diferentes profundidades en cultivos vitivinícolas, donde se aplica riego por goteo. La intención es implementar un sistema para facilitar el escalamiento, y crear una red de nodos (WSN, “Wireless Sensor Networks”), que se comuniquen por radiofrecuencia con una estación base (ET), para que se almacenen los datos localmente y que les de salida al Internet.

Contenido



- Antecedentes: humedad del suelo
- Tipos de sensores
- Tierra de cultivo y calibración de sensores
- AgroNodo: Nodo inalámbrico de sensores
- AgroBase - Estación Base de la red de sensores
- Pruebas iniciales de campo
- Corrección de fallas en los sensores
- Resultados: Gráficas de variabilidad hídrica
- Conclusiones



La cantidad de humedad del suelo depende de las cualidades de la tierra que lo constituye, de sus componentes o tipos del sustrato, tales como: arena, limo o arcilla; usualmente es una combinación de algunos de éstos sustratos. La textura óptima es la denominada textura franca, con igual porcentaje de arcilla, arena y limo..

Figura 1. Rangos del contenido hídrico del suelo contra tipo de suelo. Fuente (Zotarelli et. al., 2010)

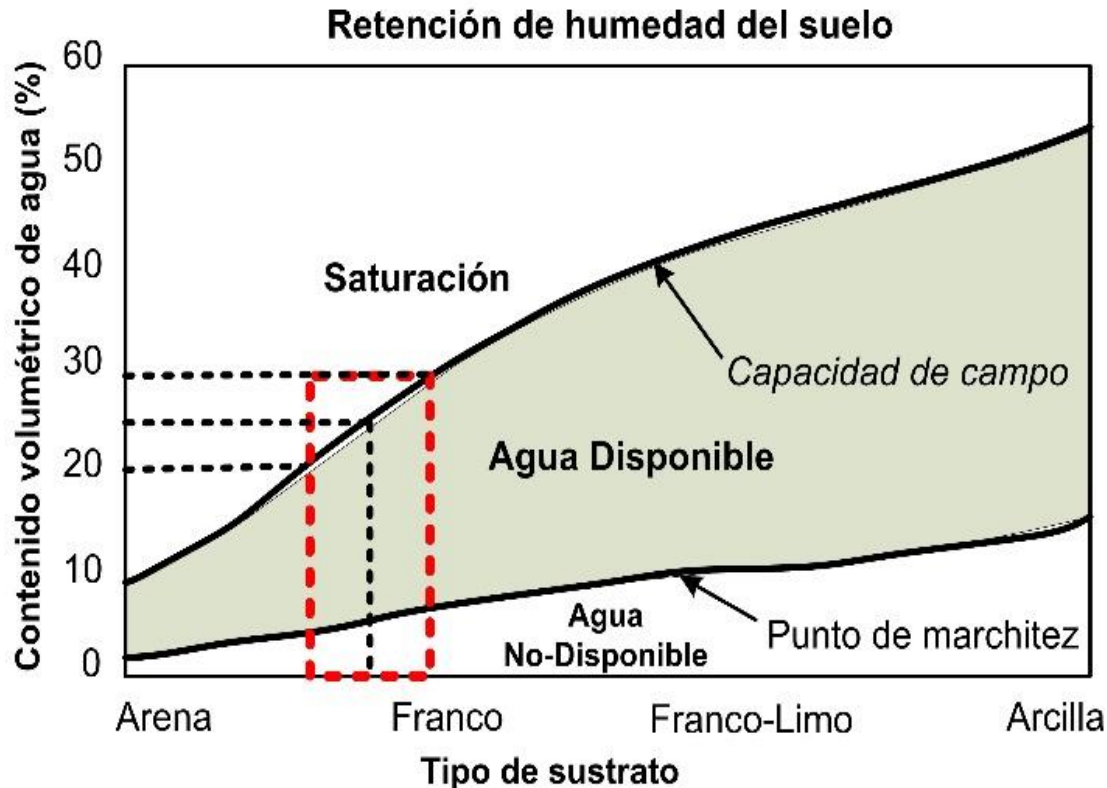


Figura 1. Rangos del contenido hídrico del suelo contra tipo de suelo. Fuente (Zotarelli et. al., 2010)

En la Figura 1, el área marcada por el recuadro con acotamiento rojo, indica una aproximación del tipo de suelo de la zona del Valle de Guadalupe, B.C.

Se refiere a un sustrato mezclado entre tierra franca y arena caliza. Lo que implica rangos de humedad de: (1) marchitez debajo de 7%, (2) agua disponible de 8% a 24%, al límite de la Capacidad de Campo, y (3) saturación del suelo de 25% en adelante.

Tipos eléctricos:

- Resistivos
- Capacitivos
- Reflecto-métricos del dominio del tiempo (TDR, “time domain reflectometric”)
- Reflecto-métricos del dominio del frecuencia (FDR, “frequency domain reflectometric”)

Selección de tecnología

Capacitive soil moisture SKU:SEN0193

Fue seleccionado porque aparentemente, cubierto por una pintura al parecer impermeable, al no estar las placas en contacto directo con el sustrato, son dispositivos más duraderos que los conductivos de placas de cobre, y diez veces menor en costo que los TDR o FDR.

Selección de tecnología

Capacitive soil moisture sensor

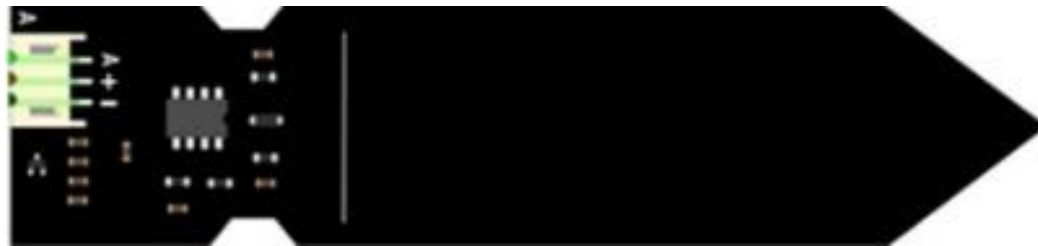


Figura 2. Sensor capacitivo SKU:SEN0193 que mide la capacitancia del suelo, y de ahí se infiere el contenido de humedad.

SKU:SEN0193

De muy bajo costo, sus placas tienen un recubrimiento impermeable delgado color negro, su electrónica la constituye un LM555 (Texas Instruments Inc., 2015), el cual produce una señal periódica cuadrada de voltaje que cambia con la proporción de humedad en el suelo donde se entierran las placas.

Referencia Vernier - LabQuest Soil Moisture Sensor



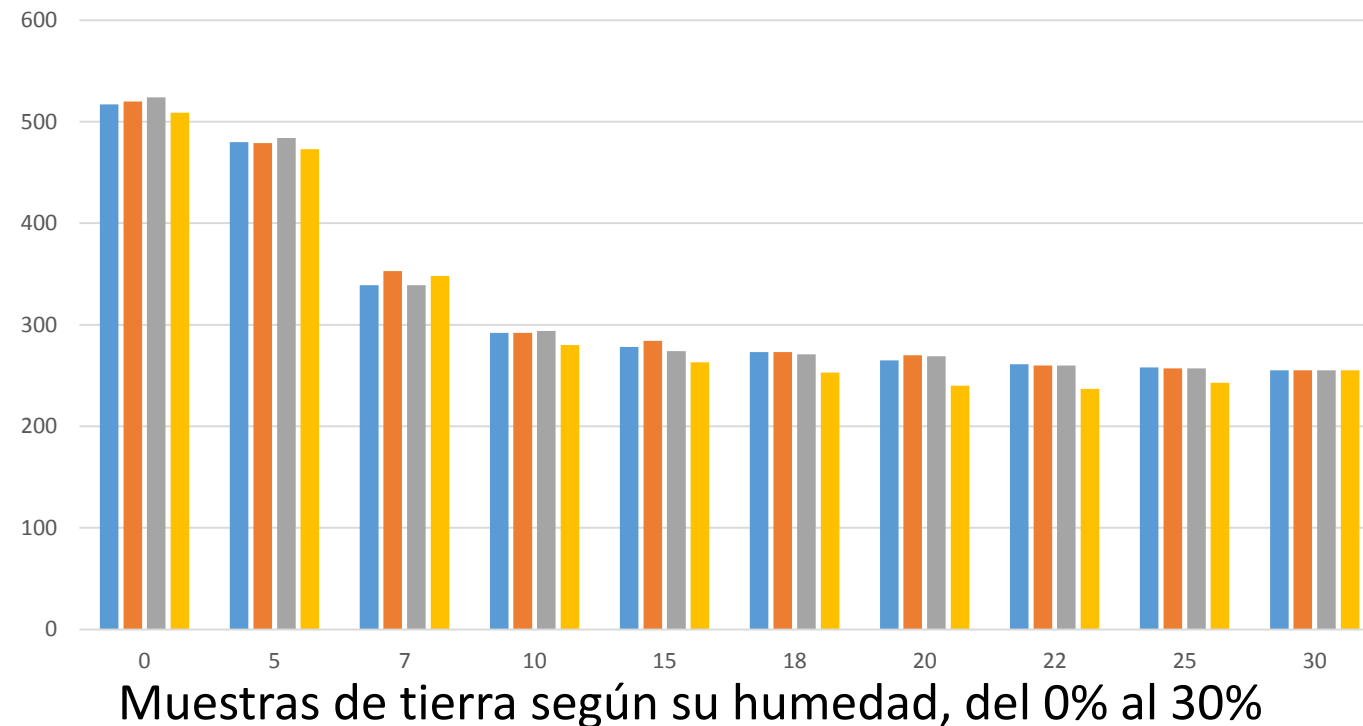
Figura 3. Sensor de humedad del suelo y plataforma LabQuest usado como referencia para calibrar sensores. Fuente: autoría propia

Caracterización de los Sensores

Capacitive soil moisture SKU:SEN0193

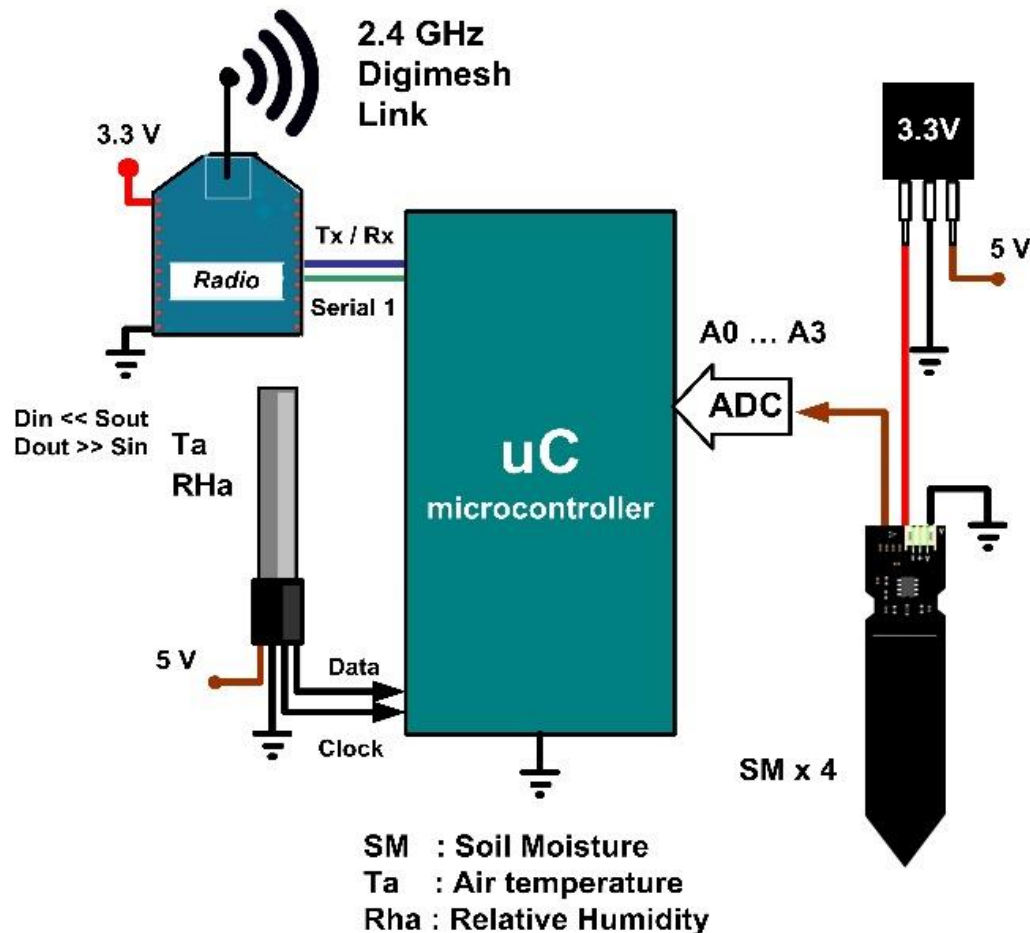
Tierra extraída del Valle de Guadalupe, se dejó secar hasta medir menos del 2% con el LabQuest SM sensor. A esa tierra se agregó un volumen medido de agua, tal que en el rango inferior fue una mezcla de 95% de tierra y 5% de agua, y el rango superior fue una mezcla de 70% de tierra y 30% de agua (que adquirió la textura de lodo).

Niveles del ADC de un Arduino vs humedad del suelo



Sensor 1: Azul, Sensor 2: Naranja, Sensor 3: Gris, Sensor 4: Amarillo

Nodo inalámbrico de sensores



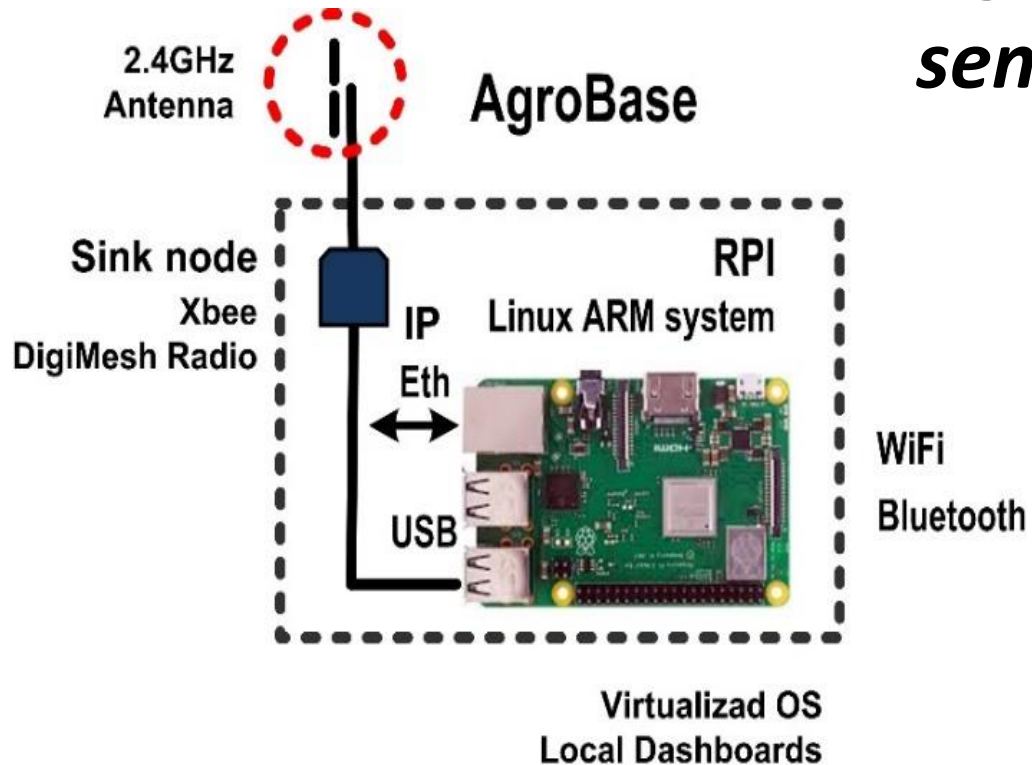
AgroNodo: *Nodo inalámbrico de sensores de humedad del suelo*

- Módulo microcontrolador **Arduino Mega**
- Sensor de Humedad Relativa y Temperatura del aire
- Cuatro sensores de humedad del suelo, para medir a diferentes profundidades
- Enlace inalámbrico en exteriores mediante DigiMesh a una Estación Base

Figura 4 Integración del nodo inalámbrico de sensores . Fuente: autoría propia

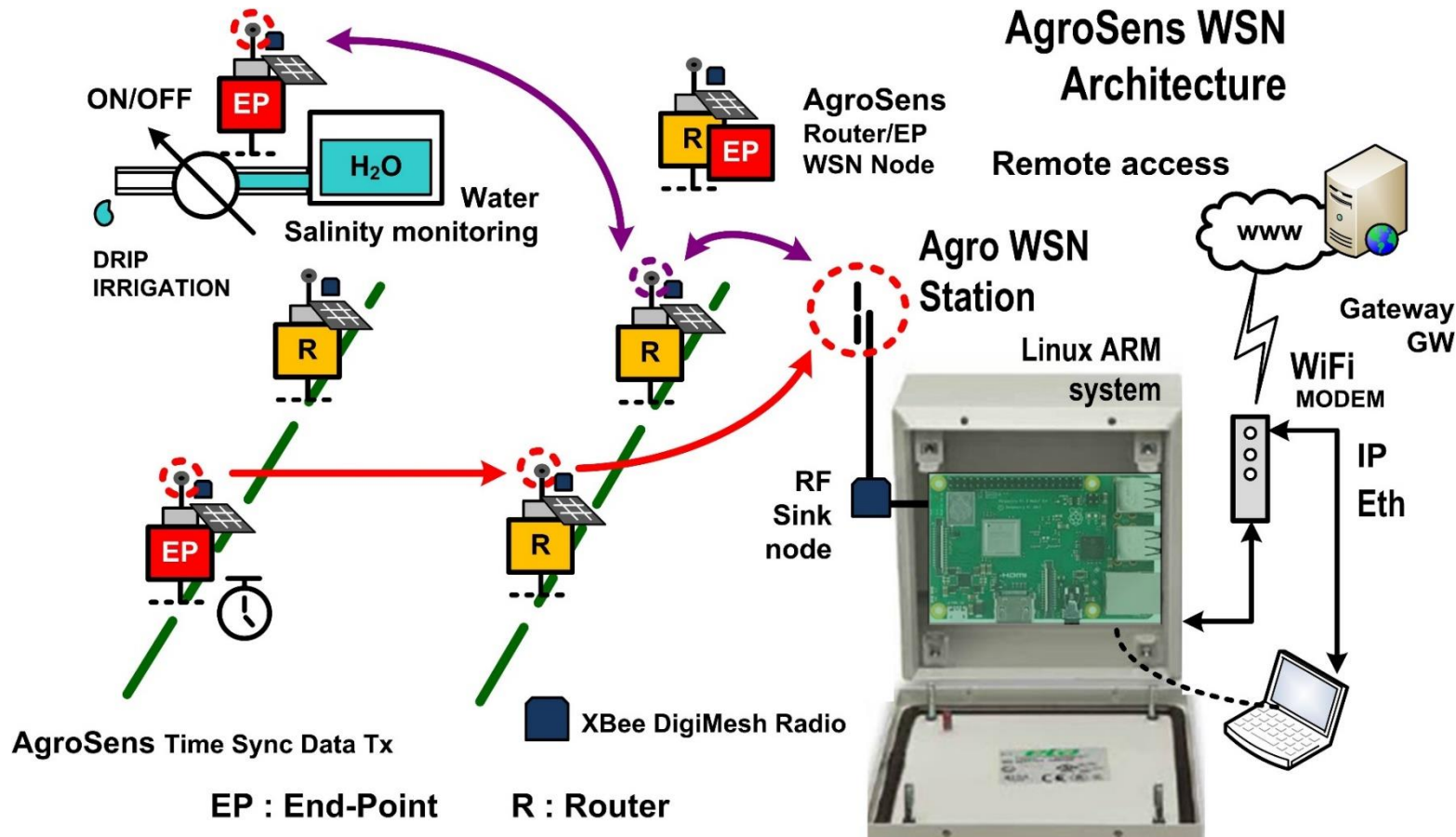
Estación base

AgroBase - Estación Base de la red de sensores de humedad del suelo



- En el centro está un Raspberry PI 3 Model B+, o RPI
- EL RPI funciona como servidor ligero y puesto en interfaz con un radio digital XBee Pro
- El XB Pro está habilitado con el protocolo DigiMesh para crear redes de nodos intermediarios para asegurar la entrega de paquetes
- Software desarrollado en Python captura en el RPI los mensajes JSON, codificados con los datos de los sensores de humedad del suelo, temperatura y humedad del aire.

Red inalámbrica de sensores



Los nodos sensores terminales o “end points”, EP, generan mensajes que contienen datos adquiridos periódicamente de sus sensores y que se destinan a la estación base

Los nodos cuando no son EP, son enrutadores o “routers”, R, sirven de puntos multi-salto en la red de nodos que se crea para asegurar que los mensajes logren su destino.

Figura 6 WSN de multi-saltos con salida al gateway Fuente: autoría propia.

Muestreo y envío en los EP

- Los mensajes de los Agro-Nodos se codifican usando el conocido protocolo JSON (“JavaScript Object Notation”), mediante el cual se pueden estructurar los datos para facilitar su extracción del mensaje.
- Para evitar hacer cálculos después del muestreo, el software de los nodos sensores SEN0193 incorporan un vector denotado por **SM[i]**, el cual representa un arreglo de valores de conversión analógica a digital contra valores medidos con la referencia calibrada Vernier LabQuest de los cuatro sensores.

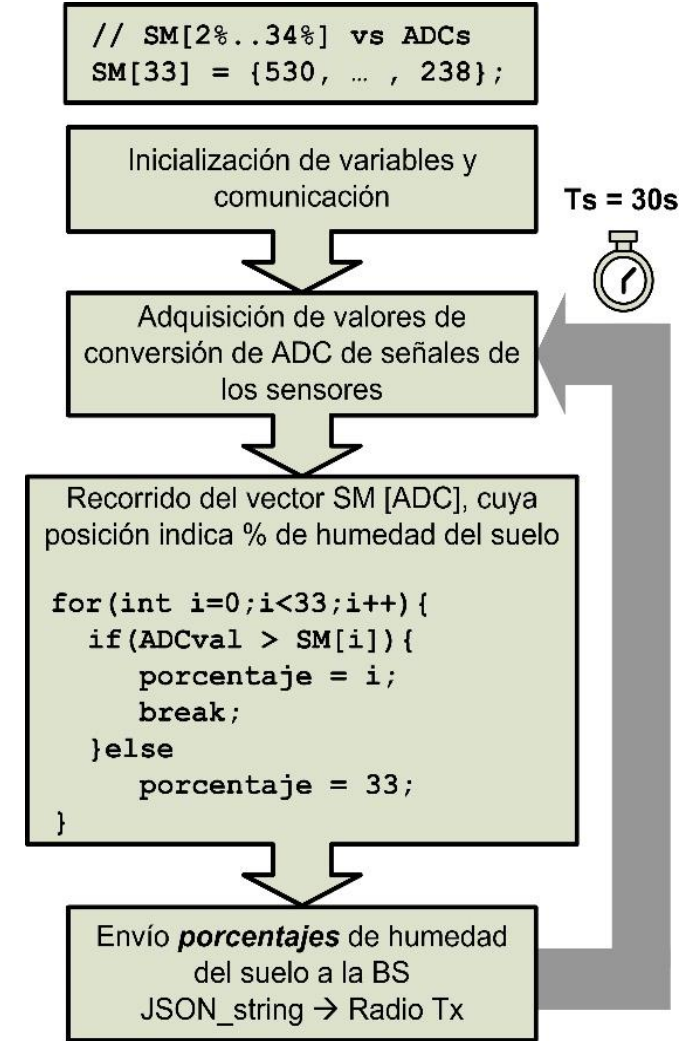


Figura 7. Diagrama a bloques del algoritmo del nodo. Fuente: autoría propia

Algoritmos de la Estación Base

- La estación base envía cada 30 segundos un mensaje de sincronía en un esquema TDM (“Time División Multiplexing”),
- Cada nodo en la red envía su mensaje de mediciones en el turno TDM que le corresponde para evitar colisión de envíos conforme crezca la WSN.
- Por otro lado, cuando la Estación Base recibe un mensaje de algún AgroNodo, éste pasa por un proceso de decodificación de acuerdo al protocolo JSON.
- Los datos se almacenan en Base de Datos MySQL (Maria DB)

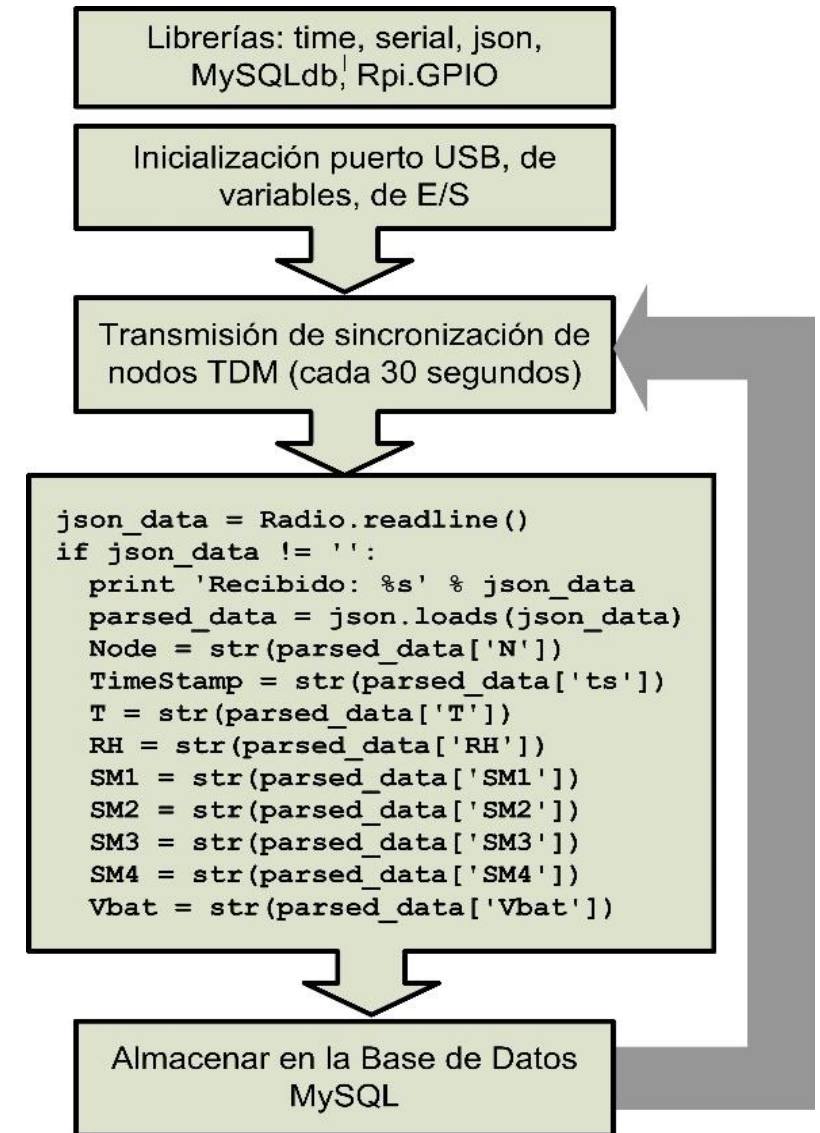


Figura 8. Diagrama a bloques del algoritmo la Estación Base. Fuente: autoría propia

Implementación



Figura 9 Nodo de sensores con su respectivo panel solar. Fuente: autoría propia

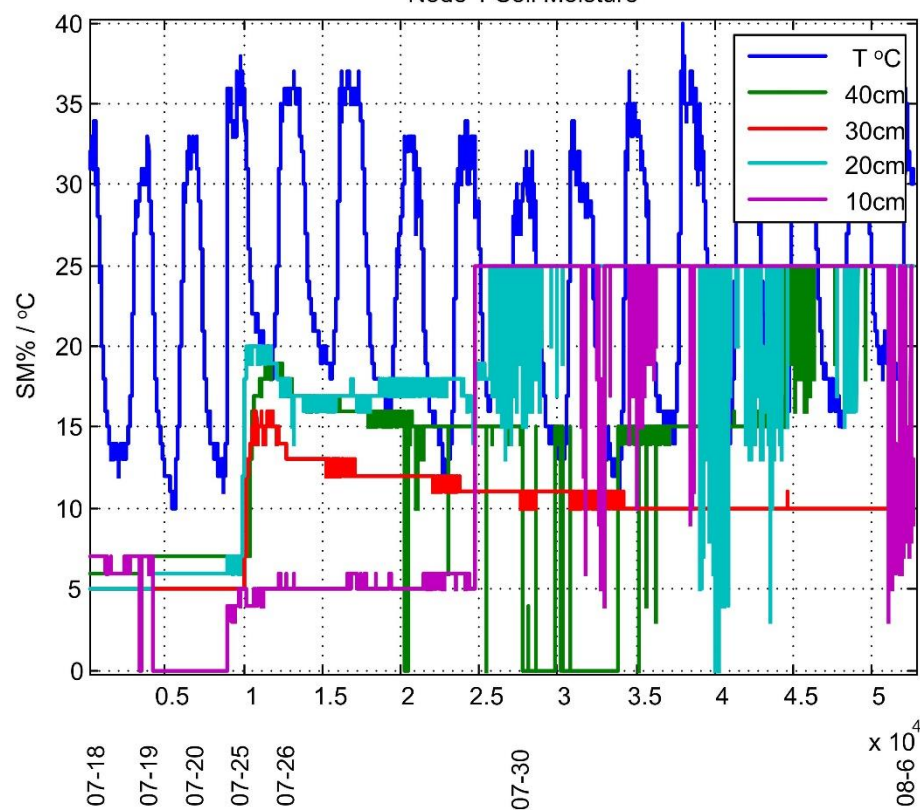
AgroNodo: *Nodo inalámbrico de sensores de humedad del suelo*

En el Viñedo El Mogor, del Valle de Guadalupe, Baja California. Se instaló un AgroNodo, y colocaron los sensores de humedad del suelo a cuatro profundidades:

- 10 cm
- 20 cm
- 30 cm
- 40 cm

Implementación

Node 1 Soil Moisture



AgroNodo: *Nodo inalámbrico de sensores de humedad del suelo*

Las mediciones iniciales usando los sensores SEN0193 registraron valores inestables desde saturación hasta en cero, como se observa en la Figura 10; lo cual dio una indicación que los sensores SEN0193 fueron afectados adversamente por la humedad

Figura 10. Mediciones de temperatura y de humedad del suelo a cuatro profundidades, se dañaron tres sensores de humedad del suelo. Fuente: autoría propia

Pruebas iniciales de campo

Sensores dañados

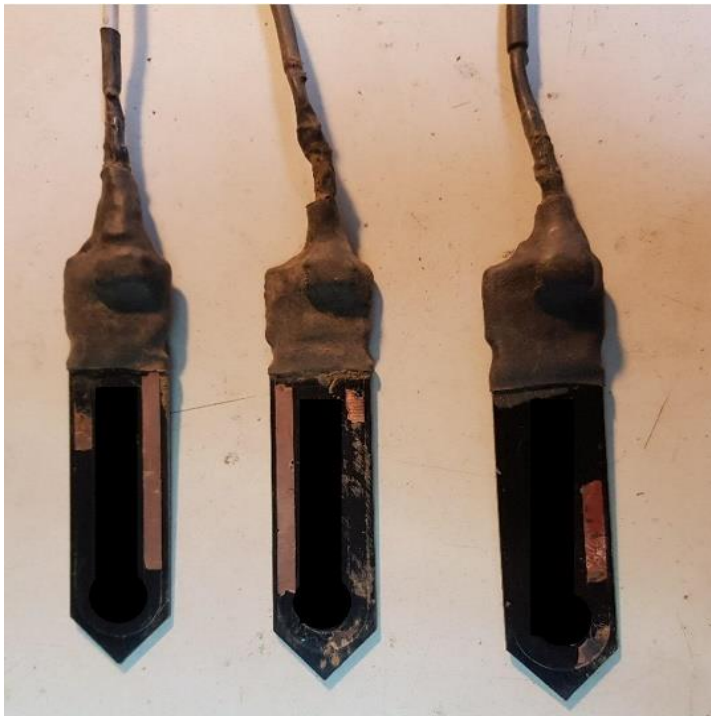


Figura 11. Sensores SEN0193 dañados, la humedad permeó su recubrimiento de pintura. Fuente: autoría propia



Figura 12. Propuesta de mejora, sensor CSM cubierto por hule. Fuente: autoría propia

Se procedió en re-calibrar usando tierra preparada previamente con diferentes contenidos de humedad. Aunque el rango se redujo, fue posible precisar valores discretos en pasos de 1% cercano a la zona de saturación (de 25% a 33%).

Resultados

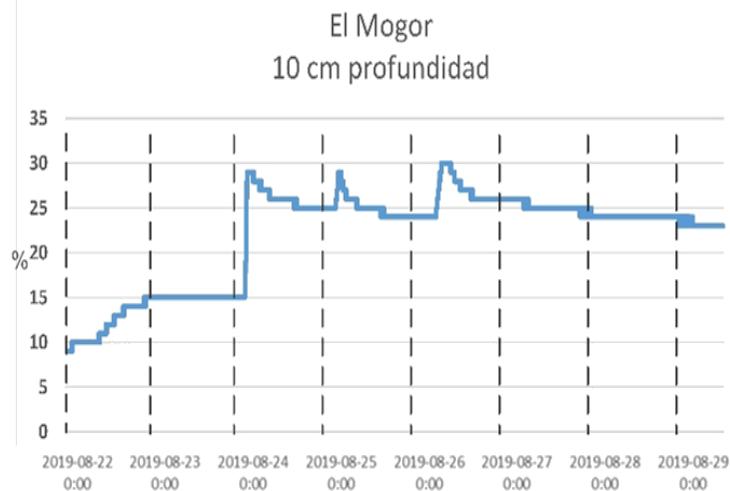


Figura 13. Humedad del suelo a 10cm de profundidad.



Figura 15. Humedad del suelo a 30cm de profundidad.

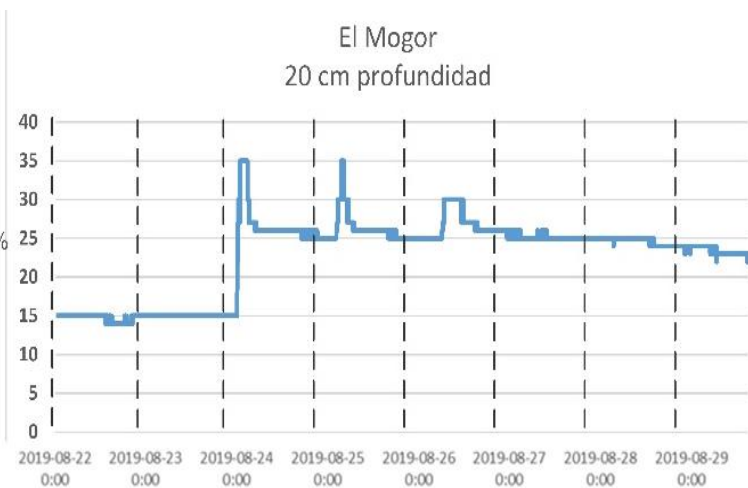


Figura 14. Humedad del suelo a 20cm de profundidad.

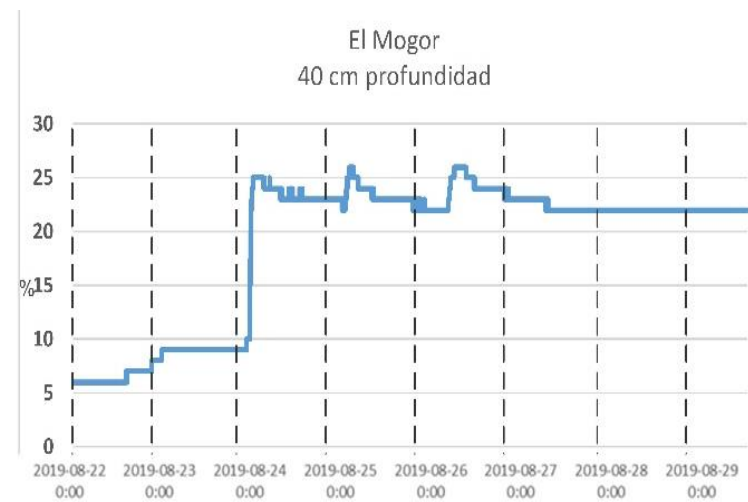


Figura 16. Humedad del suelo a 30cm de profundidad.

La re-instalación en Viñedos El Mogor fue el 22 de agosto del 2019. En las Figura 13 a la Figura 16 se muestran los valores de humedad del suelo de ocho días; dónde se logró medir de manera remota el riego por goteo, a diferentes profundidades:

En general se observa que la humedad que se filtró se retiene en buena medida a otras profundidades, pues sólo bajó 5% por día a 30cm y 40cm de profundidad, y se mantuvo así en el margen entre saturación y de capacidad de campo

Conclusiones



- Fue posible la medición de la humedad del suelo de manera remota y a través de la red de nodos establecida, se concluye que la implementación del sistema es posible y es escalable.
- Los sensores capacitivos de bajo costo no están hechos para operación prolongada bajo condiciones de exceso de humedad y peso por la tierra.
- Recubrir al sensor capacitivo mitiga o hasta anula la sensibilidad del sensor ante diferentes proporciones de humedad del suelo, por lo que es una posible solución sólo si se usa un recubrimiento adecuado.

Referencias

Arduino (2020). Arduino MEGA 2560 <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>.

Brillante, L., Mathieu, O., Bois1, B., Van Leeuwen, c, & Lévêque, J.. (2015). The use of soil electrical resistivity to monitor plant and soil water relationships in vineyards. *SOIL*, 1, 273–286, 2015. www.soil-journal.net/1/273/2015/. doi:10.5194/soil-1-273-2015.

Bonamente, E., Scrucca, F., Asdrubali, F., Cotana, F. & Presciutti, A.. (2015). The Water Footprint of the Wine Industry: Implementation of an Assessment Methodology and Application to a Case Study. *Sustainability Open Access Journal*. 12190-12208;

Bongiovanni, R., Lowenberg-DeBoer, J. (2004). Precision Agriculture and Sustainability. *Journal Precision Agriculture* 5(4):359-387. DOI: 10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa

Dalton, F.N., Van Genuchten, M.Th.. (1986). The time-domain reflectometry method for measuring soil water content and salinity. Elsevier Pub. *Geoderma Journal*. Volume 38, Issues 1–4, September 1986, Pages 237-250.

Del Toro-Guerrero, F.J., Vivoni, E.R., Kretzschmar, T, Runquist, S.H.B., & Vázquez-González, R.. (2018). Variations in Soil Water Content, Infiltration and Potential Recharge at Three Sites in a Mediterranean Mountainous Region of Baja California, Mexico. *Water*, Open Access Journal (ISSN 2073-4441).

Digi International Inc. (2009). XBee®/XBee-PRO® RF Modules. Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol.

Digi Intl. (2016). XBee/XBee-PRO DigiMesh 2.4. Radio Frequency (RF) Module User's Guide.

Kaur, K., Mahajan, R., Bagai, D. (2016). A Review of Various Soil Moisture Measurement Techniques. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. ISSN (Online): 2319-8753. ISSN (Print): 2347-6710

Mackenzie, D.E., Christy, A.G.. (2005). The role of soil chemistry in wine grape quality and sustainable soil management in vineyards. *Water Science and Technology*. Vol. 51, No 1 pp 27–37.

Referencias

Medellín-Azuara, J., Mendoza-Espinosa, L., Pells, C., & Lund, J.R.. (2013). Pre-Feasibility Assessment of a Water Fund for the Ensenada Region Infrastructure and Stakeholder Analyses. The Nature Conservancy.

More, S.N., Nighot, M. (2016). A Review of Wireless Sensor Network for Agriculture. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. Volume: 4 Issue: 6. ISSN: 2321-8169.

Newhouse, K., Wan, A., Wightman, S. (2014). Lessons from the 2014 Drought: Water Conservation and California Vineyards. Dow Sustainability Fellowship White Paper. University of Michigan School of Natural Resources and Environment.

Radi, Murtiningrum, Ngadisih, Muzdrikah, F. S., Nuha, M.S, Rizqi, F.A.. (2018) Calibration of Capacitive Soil Moisture Sensor (SKU:SEN0193). 4th International Conference on Science and Technology (ICST), Yogyakarta, Indonesia.

Raspberry PI (2020). Raspberry Pi 3 Model B+ <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>

Shahzadi, R. et al. (2016). Internet of Things based Expert System for Smart Agriculture. (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 7, No. 9, 2016.

Shortt, R., Verhallen, A., & Fisher, P. (2011). Monitoring Soil Moisture to Improve Irrigation Decisions. FactSheet Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Ontario, Canada. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/11-037.htm>

Texas Instruments Inc. (2015). LM555 Timer Data Sheet. SNAS548D, Texas Instruments Incorporated.

Vernier Software and Technology. (2017) Vernier LabQuest™ Reference Guide Version 1.1.

Zotarelli, L., Dukes, M.D., Morgan, K.T. (2010) Interpretation of Soil Moisture Content to Determine Soil Field Capacity and Avoid Over-Irrigating Sandy Soils Using Soil Moisture Sensors. AE460 University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences: Gainesville, FL.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)