

PROYECTO EN CURSO O TERMINADO

Universidad	Universidad Tecnológica de Pereira
Programa Académico	Ingeniería Electrónica
Nombre del Semillero	Semillero de investigación del programa de ingeniería electrónica
Nombre del Grupo de Investigación (si aplica)	Grupo de investigación en Ingeniería Electrónica
Línea de Investigación (si aplica)	Sistemas Embebidos
Nombre del Tutor del Semillero	Arley Bejarano Martínez
Email Tutor	abejarano@utp.edu.co
Título del Proyecto	Diseño e implementación de un prototipo de una red de sensores inalámbricos para cultivos de frutas utilizando <i>BeagleBone Black</i>
Autores del Proyecto	Andrés Castillo González
Ponente (1)	Andrés Castillo González
Documento de Identidad	1088305854
Email	acastillo@utp.edu.co
Ponente (2)	
Documento de Identidad	
Email	
Teléfonos de Contacto	3173773683
Nivel de formación de los estudiantes ponentes (Semestre)	Doceavo Semestre
MODALIDAD (seleccionar una- Marque con una x)	PONENCIA <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigación en Curso</li> <li>• Investigación Terminada (X)</li> </ul>
	PÓSTER <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propuesta de Investigación</li> </ul>
Área de la investigación (seleccionar una- Marque con una x)	• Ciencias Naturales
	• Ingenierías y Tecnologías (X)
	• Ciencias Médicas y de la Salud.
	• Ciencias Agrícolas
	• Ciencias Sociales
	• Humanidades
	• Artes, arquitectura y diseño

# **Diseño e implementación de un prototipo de una red de sensores inalámbricos para cultivos de frutas utilizando *BeagleBone Black***

Andrés Castillo González

## **RESUMEN**

Las redes de sensores inalámbricos es una tecnología innovadora de este siglo que han tenido grandes impactos en la sociedad y en el mundo en múltiples aplicaciones en la ingeniería en diferentes campos. En este trabajo se presenta el diseño de un prototipo de una red de sensores inalámbricos de bajo costo para cultivo, utilizando tarjetas de desarrollo Beaglebone Black integrando con sensores de temperatura, humedad relativa, humedad de suelo y cámaras USB comerciales. La información adquirida será transmitida por medio del protocolo WI-FI a un servidor central permitiendo obtener un registro y control del estado del cultivo en una base de datos, creada en MYSQL con sistema operativo base Linux. El diseño de este sistema presentó ser de bajo costo y con un buen desempeño, aunque se ha encontrado problema con pérdidas de datos entre el servidor central y los nodos.

## **PALABRAS CLAVE**

Red de Sensores inalámbricos, *Beaglebone Black*, WI-FI, nodos, sensores, cámara.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La agricultura Colombiana es una de las más importantes actividades para el desarrollo económico y social, ya que cuenta con múltiples ecosistemas que ofrecen diversas oportunidades de mercado. Durante la última década, las exportaciones colombianas se duplicaron debido al Tratado de Libre Comercio que se estableció entre Estados Unidos, generando una gran oportunidad de negocios para los agricultores colombianos [1]. Donde el valor de los productos se ha incrementado por la utilización de nuevos dispositivos y nuevas técnicas que se han desarrollado para facilitar la siembra y el riego de los cultivos en Colombia, pero aún siguen siendo las personas encargadas de monitorear, mantener y controlar el estado de forma manual y así evitando pérdidas mayores. En la actualidad, se han desarrollado áreas de la ingeniería como la agricultura de precisión, la cual tiene como filosofía el manejo óptimo de los cultivos, donde utiliza diferentes tipos de tecnología, por ejemplo las redes de sensores inalámbricas (WSN por sus siglas en inglés Wireless Sensor Networks) [2 3 8 9]. Una red consiste en la implementación de dispositivos distribuidos (nodos), espaciados y autónomos que posibilitan la adquisición de diferentes variables físicas como la temperatura, la humedad, entre otras. La información de las señales medidas se transmite a un servidor central con el fin de realizar un registro para monitoreo, control y el estado en diferentes áreas, como: monitoreo estructuras y construcciones, sistemas de defensa, aplicaciones biomédicas, control de fronteras, detección de terremotos, sistemas de control automático a nivel industrial, control de almacenes, detección de gases, entre otros [5 10 11 12]. Sin embargo, las redes de sensores presentan un alto consumo energético generado por la conexión de varios sensores y por el procesamiento de la información. Además, la fidelidad del canal de comunicación y el almacenamiento en tiempo real de la información,

Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira  
Correo: acastillo@utp.edu.co

generan errores en el proceso de fusión y de operación causando que los registros estén desincronizados [2]. Para el monitoreo y la detección temprana de enfermedades o plagas en el cultivo se han utilizado redes de cámaras inalámbricas [7]. No obstante, estas redes son costosas y necesitan una fuente de alimentación distinta. Debido a esto, el diseño e implementación de dichos sistemas representa un desafío [2 8 9].

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

### **2.1 Definición del problema**

Colombia es uno de los países con mayor biodiversidad del mundo, gracias a su clima tropical, permite el cultivo de diferentes frutos ofreciendo diversas oportunidades de mercadeo. En la actualidad, con la proliferación de tecnologías en procesamiento digital de señal, sistemas de instrumentación y control, se han desarrollado áreas de la ingeniería como la agricultura de precisión, la cual tiene como filosofía el manejo óptimo de un cultivo [2 3]. Una parte fundamental es la construcción de un sistema de monitoreo de cultivos por medio de una red de sensores inalámbricos. El desarrollo del hardware y el software en una red necesita varias consideraciones tales como el consumo energético, en el cual los nodos deben subsistir el mayor tiempo posible con baterías o con fuentes de energía alternativas para realizar el sensado y el procesamiento de los datos, también la fidelidad del canal de comunicación y almacenamiento en tiempo real, donde los nodos pueden generar errores en el proceso de fusión y de operación de los datos. Si no se tiene una óptima comunicación y el proceso es lento causa que los registros de los datos estén desincronizados. Además, se han utilizado cámara para el monitoreo para el monitoreo y la detección temprana de enfermedades o plagas en los cultivos en las redes, pero, no obstante, son costosas y necesitan una fuente de alimentación distinta [7]. En este trabajo se realizará el diseño y la implementación de un prototipo de una red de sensores para cultivos de fruta, utilizando tecnologías de bajo costo. Transmitiendo la información a un servidor central, obteniendo un registro y control del estado del cultivo, generando una base de datos para el usuario.

### **2.2 Justificación**

Uno de los problemas actuales en los cultivos son los factores climáticos que aumentan la producción de las enfermedades y las plagas causando impactos significativos en la economía en el sector agropecuario. Donde el usuario necesita realizar tipo control del estado de las plantas, pero la mayoría de los procedimientos se hace en forma empírica, sin ningún tipo de tecnología que permita obtener la información necesaria para el cuidado del cultivo. Además, no siempre estará presente en todo tiempo para realizar este tipo de control causando que la producción sea lenta, poco óptima y aumentada su costo. Actualmente se está desarrollando un plan llamado “Colombia siembra”, donde uno de los objetivos es fortalecer el desarrollo tecnológico y los servicios en el sector agropecuario, permitiendo mejorar la producción para el país y fomentar las exportaciones [21]. En este proyecto tiene como motivo mejorar la calidad del monitoreo en cultivos de frutas utilizando la proliferación de la tecnología, permitiendo obtener la información del estado del cultivo al usuario en forma rápida y óptima. Además en el grupo de Investigación de Ingeniería Electrónica necesita tener la base de datos del estado del cultivo para construir un

Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira  
Correo: acastillo@utp.edu.co

modelo de aprendizaje supervisado para la detección de enfermedades en los cultivos de fruta.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo General

Diseño e implementación de un prototipo de una red de sensores inalámbricos para cultivos de frutas utilizando *BeagleBone Black*

#### 3.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de instrumentación y medida de variables de temperatura, humedad relativa, humedad de suelo y captura de imágenes que haga parte de un nodo de una red de sensores inalámbricos.
- Diseñar una red de cuatro nodos distribuidos en un cultivo de frutas comunicados a un servidor central.
- Generar un sistema de administración de datos que permita la consulta de la información adquirida del cultivo.

### 4. REFERENTE TEÓRICO

#### 4.1 Red de sensores inalámbricos

Una red de sensores (*Wireless sensor networks*, WSN) es una red conformada por dispositivos con sensores que están distribuidos en un área específica (nodos). Para realizar el monitoreo e interacción de ciertos parámetros y cambios de uno o varios fenómenos físicos. Estos sistemas están interconectados de manera inalámbrica, enviando los datos adquiridos a un servidor central para luego realizar un análisis. Esta red contiene una alta gama de aplicaciones que contribuyen de manera potencial a la industria, la ciencia, el transporte, la seguridad y la infraestructura [1 2 3 6 7 8 9 10].

#### 4.2 Topologías de red

Se refiere a la configuración de los componentes hardware y su distribución para transmitir los datos. Para ciertas circunstancias puede ser óptima o inapropiada, dependiendo de la distribución configurada. Se divide en varias opciones, por ejemplo: Topología en Estrella, Topología en Malla, Topología híbrida Malla –Estrella y entre otras [2 6 8 9 10].

#### 4.3 Agricultura de precisión

La agricultura de precisión se basa en utilizar tecnologías de información espacial, tales como los sistemas de posicionamiento global y sistemas de información geográfica para mejorar las decisiones agronómicas de diferentes cultivos, permitiendo optimizar la productividad y al mismo tiempo reducir el impacto ambiental [4 7 8].

Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira  
Correo: acastillo@utp.edu.co

#### **4.4 BeagleBone Black**

Es un sistema embebido de tamaño de una tarjeta de crédito, bajo costo y bajo consumo eléctrico de la familia *BeagleBoard*. Fue diseñada con la filosofía de open source software y hardware para múltiples aplicaciones. Sus características son: una CPU ARM Cortex-A8 a 1 GHz, acelerador gráfico 3D, 512 MB de DDR3 RAM ,4 GB de almacenamiento interno, ranura para microSD, puerto USB, Ethernet, micro-HDMI y dos conectores de 46 pines GPIO (General Purpose Input/Output). Contiene un sistema operativo base Linux, por defecto Debian, pero se puede instalar otros sistemas. Además se controla con varios lenguajes de programación, como C++, Java, Python, entre otros [14].

#### **4.5 Sensor de temperatura y humedad DHT22**

EL sensor DHT22 es un dispositivo conformado por dos sensores: un sensor de humedad capacitivo y un termistor. Contiene de un circuito integrado básico en el interior que realiza la conversión de analógico a digital y envía estos datos en forma de señal digital. Este dispositivo tiene una excelente calidad y rápida respuesta [15].

Estos son sus principales características

Alimentación: 3.3v – 5.5v

Salida digital a través de un solo bus.

Tiempo de muestreo de 2 segundos.

Rango de valores desde -40°C hasta 80°C de temperatura.

Precisión:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  como máximo en condiciones adversas.

Rango de valores desde 0% hasta 100% de Humedad Relativa.

Precisión:  $\pm 2\%$  RH, a una temperatura de 25°C.

Tamaño: 38x20mm.

#### **4.6 Sensor de humedad de suelo SEN0114**

Este sensor de humedad puede leer la cantidad de humedad presente en el suelo que lo rodea. Es de baja tecnología, pero es ideal para el seguimiento de un jardín urbano.

Utiliza dos sondas para pasar corriente a través del suelo, y luego se lee la resistencia para obtener el nivel de humedad. Más agua hace que el suelo conduzca la electricidad con mayor facilidad, mientras que el suelo seco es lo contrario [16]. Estos son sus principales características

Fuente de alimentación: 3,3 V o 5 V

Señal de salida de voltaje: 0 ~ 4.2v

Corriente: 35mA

Tamaño: 60x20x5mm.

Rango de valores:

1. 0 ~ 1.5 v: suelo seco.
2. 1.5 v ~ 3.5 v : suelo húmedo.
3. 3.5 v ~ 4.2 v : en el agua.

#### **4.7 LifeCam HD-3000**

Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira  
Correo: acastillo@utp.edu.co

Esta cámara de alta definición (HD de 720p) con tecnología TrueColor que proporciona un vídeo de colores brillantes y vívidos, además, contiene formato de 16:9 que ofrece grabación de video y entrada de USB 2.0 [17].

#### **4.8 Adaptador USB Inalámbrico TLWN723N**

Es un adaptador USB con la tecnología inalámbrica 802.11 b / g / n, con tasas de transmisión de datos de hasta 150 Mbps permitiendo rápidas conexiones inalámbricas y fácil encriptación de seguridad inalámbrica WPA con presionar el botón WPS [18].

#### **4.9 Router Rompemuros 2014 3 Antenas**

Es una estación inalámbrica de Alta Potencia (1000mW de Potencia de transmisión), compatible con los estándares de la IEEE 802.11b, 802.11g y 802.11n estos en conjunto con sus tres antenas pueden alcanzar velocidades de transmisión de hasta 300Mbps. Con este router permite la conexión de la red de sensores con el servidor central de forma inalámbrica, además, este puede transmitir la señal inalámbrica a un distancia de aproximadamente más de 1 Km al aire libre [19].

#### **4.10 Solar charger ES500**

Es un cargador de panel solar portátil de 5000 mAh con dos salidas de USB de + 5V a 1 Amperio. Es resistente al agua, a prueba de golpes y ligero debido a su tamaño [20].

### **5. METODOLOGÍA**

La finalidad de este proyecto es diseñar e implementar un prototipo de una red de sensores inalámbricos para un cultivo de fruta utilizando un sistema embebido, porque este, reúne varios componentes que se ha posicionado en varias ramas de la ciencia con múltiples aplicaciones. Existen varios sistemas embebidos, la cual se escogió la *Beaglebone Black*, porque presenta mejor rendimiento en comparación con otros, como: alto desempeño, bajo costo, bajo consumo energético, alto procesamiento en tiempo real y entre otras.

Con este dispositivo se pretende darle funcionalidad y confiabilidad de la red de sensores inalámbricos al usuario, con el fin de garantizar una óptima de la información del estado del cultivo.

El desarrollo de este proyecto se realizará a través de una metodología estructurada que consta de los siguientes pasos.

- Para cumplir con el primer objetivo.
  - Realizar un algoritmo en lenguaje C++ para el funcionamiento del sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 para BeagleBone Black.
  - Realizar el acondicionamiento y el algoritmo en lenguaje C++ para el funcionamiento del sensor de humedad de suelo SEN114 en la BeagleBone Black.
  - Realizar un algoritmo en lenguaje C++ que permite la captura de imágenes con la cámara Microsoft Lifecam Hd-3000 en la BeagleBone Black.

- Configurar la BeagleBone Black para el adaptador USB inalámbrico TL-LINK WN723N.
  - Realizar un algoritmo que permite adquirir la información de todos los sensores en la BeagleBone Black.
- Para cumplir el segundo objetivo.
    - Diseñar 4 sistemas de instrumentación que presenten las mismas características del primer objetivo específico.
    - Realizar la comunicación con el servidor central y los nodos diseñados por medio del protocolo WI-FI utilizando una topología tipo estrella.
    - Realizar un protocolo que permita verificar la correcta transmisión de los datos entre los nodos y el servidor central.
    - Implementar la red de sensores inalámbricos en un cultivo de frutas.
  - Para cumplir con el tercer objetivo.
    - Realizar un algoritmo que permita adquirir la información del cultivo de frutas de manera ordenada que garantice identificar el ID de cada nodo y la información de cada sensor.
    - Generar una base de datos con la información adquirida y visualizar en un sitio web.

## 6. RESULTADOS

- Se diseñó el prototipo de la WSN con las BeagleBone Black. Donde se implementa una topología de red tipo estrella para la comunicación entre el servidor central y se realizó pruebas en el laboratorio adquiriendo de las variables de temperatura, humedad relativa, humedad de suelo y una imagen con algoritmos desarrollado en lenguaje C++.
- Se implementó este diseño en un cultivo de aguacates de una finca por Belén de Umbría. Donde se adquirió y generó la base de datos con información del ambiente e imágenes capturadas de varias plantas sanas y enfermas con *Phytophthora cinnamom*.
- Durante la adquisición de la información del cultivo, se encontraron algunos problemas. Uno de ellos es la distancia de transmisión del dispositivo TLWN723N, debido a que no es capaz de enviar la información a una distancia mayor de 20 metros. Otro problema que se presentó es el consumo energético, la BBB cuando empieza adquirir la información exige más potencia. El cargador solar no es capaz de administrar y llega un punto que reinicia la BBB causando pérdida de información. Pero, al pasar el tiempo, llega un punto que estos problemas no se presentan y el sistema funciona correctamente hasta que se descarga el cargador.
- La utilización del software MYSQL como gestor de base de datos, permitió de forma sencilla el guardado de los datos para la red de sensores inalámbricos, debido a su versatilidad con entornos bases Linux. Donde la información adquirida de un nodo se envía a la base de datos, donde guarda las variables de temperatura, humedad relativa,

humedad de suelo y la imagen capturada, en diferentes tablas.

- Uno de los objetivos del diseño de este prototipo es que fuese de bajo costo, debido a la utilización elementos comerciales que se adquieren fácilmente en un mercado electrónico o por vía internet.

## 7. DISCUSIÓN

La utilización de las WSN en sector agrícola ha ofrecido varios beneficios para los agricultores, permitiendo un control preciso del cultivo durante su desarrollo, mejorando su producto final. Pero, el diseño de estos dispositivos aún presenta un alto consumo energético por el procesamiento de la información y la cantidad de sensores, y problemas con la fidelidad del canal de comunicación y almacenamiento de los datos en tiempo real. En este proyecto se ha encontrado que la utilización de dispositivos de bajo costo y software libre, han permitido una posible solución a estos problemas de forma rápida y económica, donde se observó su funcionamiento en el cultivo de aguacates. Además, con la base de datos obtenida, se pretende mejorar este sistema para que pueda predecir si el cultivo presenta síntomas de enfermedades como la *Phytophthora cinnamom*.

## 8. CONCLUSIONES

- Se presentó el diseño de un prototipo de WSN en la agronomía, utilizando módulos *Beaglebone Black*, sensores y adaptadores de bajo costo y consumo energético. Donde se ha podido observar las facilidades que presenta este sistema para realizar la adquisición, el procesamiento de la información y la transmisión de los datos en tiempo real, debido a las características del hardware y software que contiene como sistema embebido.
- El sistema operativo base Linux permitió la configuración y el procesamiento de la información de forma rápida y sencilla para diseño del prototipo de la red. Obteniendo posibilidades de interconectar redes con grandes cantidades de nodos en un futuro.
- La integración de los diferentes componentes, como los sensores utilizados, que conforman este prototipo, se debe tener en cuenta las conexiones de los componentes a al BBB. Ya que una mala conexión, podría traer como consecuencia un daño o mal funcionamiento del sistema embebido.
- La base de datos en MYSQL provee una facilidad de configuración y manejo de los datos. Además permite observar la información por medio de la página web que trae incorporada
- La utilización de cargadores solares permitió que este sistema sean autónomo y de fácil implementación, pero se debe tener en consideración sus características eléctricas para realizar un mejor diseño de red.
- Los módulos inalámbricos TLWN723N se comprobaron que la transmisión se realiza sin ningún problema a una distancia menos de 20 metros con la presencia de obstáculos como árboles o plantas que hace parte del cultivo. El estándar que maneja este módulo ofrece una solución económica y eficiente en diferentes aplicaciones, este caso se utilizó para la comunicación con el servidor central.

## 9. IMPACTOS

**Social:** Con la base de datos obtenida, se podrá mejorar las condiciones del cultivo y la vida de los agricultores. Debido que esta información permite al agricultor observar el estado del cultivo de forma rápida y sencilla, alcanzando productos de mejor calidad para el comercio.

**Económico:** El diseño del prototipo de la red de sensores inalámbricos resultó ser de bajo costo, debido a los elementos que se utilizaron para este proyecto son de bajo precio y fácilmente encontrados en el mercado.

**Ambiental:** El consumo energético del prototipo de la red de sensores inalámbricos debe ser constante, con lo anterior, se utilizaron cargadores de panel solar, permitiendo un ahorro económico, reducción daño ambiental y otros beneficios al usar la energía solar.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

[1]J, Nuñez. El TLC con Estados Unidos y su impacto en el sector agropecuario Colombiano: Entre esperanzas e incertidumbres.[Online]. 2013, vol.1, no. 1. Available from Internet: <http://service.udes.edu.co/revistas/index.php/Lex-UNDES/article/P6.pdf> .ISSN: 2346-1578

[2]S. Ivanov, K. Bhargava and W. Donnelly, "Precision Farming: Sensor Analytics," in IEEE Intelligent Systems, vol. 30, no. 4, pp. 76-80, July-Aug. 2015.

[3] J. Cedeño, M. Zambrano and C. Medina, "Redes inalámbricas de sensores eficientes para la agroindustria", Prisma Tecnológico, vol. 5, no. 1, pp. 22-25, 2014.

[4] Lizarazo Salcedo, Iván Alberto, & Alfonso Carvajal, Oscar Alberto. (2011). Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite "Elaeis Guineensis" e híbrido O x G. *Revista de Ingeniería*, (33), 124-130. Retrieved March 21, 2017, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-49932011000100013&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932011000100013&lng=en&tlng=es).

[5] W.E. Calderón, "Diseño e implementación de un sistema genérico de monitoreo usando redes de sensores inalámbricos con el protocolo 6LoWPAN", Trabajo de grado para título Magister en Ingeniería, Departamento de Ingeniería de sistemas e industrial, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2014.

[6]López, J. A.; Garcia-Sanchez, A.-J.; Soto, F.; Iborra, A.; Garcia-Sanchez, F. & Garcia- Haro, J. "Design and validation of a wireless sensor network architecture for precision horticulture applications Precision Agriculture" ,Precision Agriculture 2011, Volume 12, Pages 280-295, ISSN 1573-1618, DOI 10.1007/s11119-010- 9178-1

[7] G. Nisha and J. Megala, "Wireless sensor Network based automated irrigation and crop field monitoring system," Advanced Computing (ICoAC), 2014 Sixth International Conference on, Chennai, 2014, pp. 189-194. doi: 10.1109/ICoAC.2014.7229707

[8]D. Archila Córdoba and F. Santamaría Buitrago, "ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES DE  
Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira  
Correo: acastillo@utp.edu.co

SENSORES INALAMBRICOS”, REVISTA DIGITAL TIA, vol. 2, no. 1, pp. 4- 14, 2013.

[9] C. Aranzazu Suescún and G. Moreno López, “REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS”, Revista Politécnica, no. 8, pp. 94-111, 2009.

[10] A. Degada and V. Savani, “Design and implementation of low cost, portable telemedicine system: An embedded technology and ICT approach,” 2015 5th Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE), Ahmedabad, 2015, pp. 1-6. doi: 10.1109/NUICONE.2015.7449650

[11] Aqeel-ur- Rehman, Abu Zafar Abbasi, Noman Islam, Zubair Ahmed Shaikh, A review of wireless sensors and networks applications in agriculture, Computer Standards & Interfaces, Volume 36, Issue 2, February 2014, Pages 263-270, ISSN 0920-5489, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csi.2011.03.004>.

[12] Tamoghna Ojha, Sudip Misra, Narendra Singh Raghuwanshi, Wireless sensor networks for agriculture: The state-of- the-art in practice and future challenges, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 118, October 2015, Pages 66-84, ISSN 0168-1699, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.011>

[13] F. Urbano, “Redes de sensores inalámbricos aplicadas a optimización en agricultura de precisión para cultivos de café en Colombia,” Journal de Ciencia e Ingeniería, vol. 5, n.º 1, pp. 46–52, 2013.

[14] BeagleBoard.org - bone, Beagleboard.org. [Online]. Available: <http://beagleboard.org/bone>.

[15] T. Lui, Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302), sparkfun. [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>.

[16] Moisture Sensor (SKU: SEN0114) - Robot Wiki, Dfrobot.com, 2016. [Online]. Available: [http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Moisture\\_Sensor\\_%28SKU:SEN0114%29](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Moisture_Sensor_%28SKU:SEN0114%29).

[17] Hardware de Microsoft, Hardware de Microsoft, 2016. [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/hardware/es-es/p/lifecam-hd-3000>.

[18] Mini Adaptador USB Inalámbrico N 150Mbps TL-WN723N - Bienvenido a TP- LINK, Tp-link.com. [Online]. Available: [http://www.tp-link.com/ar/products/details/cat-11\\_TL-WN723N.html](http://www.tp-link.com/ar/products/details/cat-11_TL-WN723N.html).

[19] Rompemuros 2014 3 Antenas Estación de Alta Potencia [Online] Available [http://www.3bumen.com/es/iproductos/ver/G2/95/rompemuros\\_2014\\_3\\_antenas/](http://www.3bumen.com/es/iproductos/ver/G2/95/rompemuros_2014_3_antenas/)

[20] SolarCharger Model ES500 (Online) Available: <https://download.chinavasion.com/download/CVACC-S89-N1.pdf>

[21] MINAGRICULTURA. Colombia Siembra[Online]. 2016, vol.1. Available from Internet: <http://colombiasiembra.minagricultura.gov.co/>

Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira  
Correo: [acastillo@utp.edu.co](mailto:acastillo@utp.edu.co)

Estudiante de Ingeniería Electrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira  
Correo: [acastillo@utp.edu.co](mailto:acastillo@utp.edu.co)