



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE  
COMUNICACIÓN**

**ARTÍCULO CIENTÍFICO**

**TEMA:**

**DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES (WSN) CON TECNOLOGÍA 802.15.4,  
BASADO EN EL CONCEPTO AGRICULTURA DE PRECISIÓN PARA EL  
CONTROL Y MONITOREO DE CULTIVOS DE HORTALIZAS BAJO  
INVERNADERO EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**AUTORA: JENNY ALEXANDRA PALACIOS ECHEVERRÍA**

**DIRECTOR: MSC. EDGAR ALBERTO MAYA OLALLA**

**Ibarra-Ecuador**

**2017**

# Diseño De Una Red De Sensores (WSN) Con Tecnología 802.15.4, Basado En El Concepto Agricultura De Precisión Para El Control Y Monitoreo De Cultivos De Hortalizas Bajo Invernadero En La Granja La Pradera De La Universidad Técnica Del Norte

*Autores – Jenny Alexandra PALACIOS ECHEVERRÍA, Ing Edgar Alberto MAYA OLALLA, MSc.*

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Avenida 17 de Julio 5-21 y José María Córdova, Ibarra, Imbabura

[japalacios@utn.edu.ec](mailto:japalacios@utn.edu.ec), [eamaya@utn.edu.ec](mailto:eamaya@utn.edu.ec)

**Resumen.** *Un invernadero es una estructura cubierta de vidrio o plástico, destinado a la horticultura, que tiene la capacidad de cultivar plantas en climas no apropiados para su desarrollo. En la actualidad, se utiliza sistemas de riego automático para el ahorro de agua y dinero, principalmente basados en redes de sensores inalámbricas (WSN – Wireless sensor network). Dichas redes constan de un nodo sensor, un Gateway, una estación base y la red inalámbrica.*

*Particularmente, la granja La Pradera de la Universidad Técnica del Norte posee un invernadero que representa un valor agregado significativo para la carrera de Ingeniería Agropecuaria, dado que permite poner en práctica conceptos teóricos sobre la calidad y el desarrollo de los cultivos.*

*La granja La Pradera no cuenta con una WSN ni con un sistema de riego automatizado, propiamente dicho, y por tanto los cultivos carecen de un entorno para su adecuado desarrollo y crecimiento, además, el sistema pre-existente resulta costoso en términos de dinero y del recurso hídrico.*

*Con el propósito de contribuir a la mejora de las condiciones mencionadas anteriormente, el presente proyecto consiste en aplicar conceptos de agricultura de precisión en una WSN para optimizar el control de un sistema de riego por goteo y el monitoreo de agentes ambientales involucrados en un cultivo de hortalizas bajo invernadero de la granja “La Pradera”, con el fin de lograr un mejor aprovechamiento del agua de riego y obtener un sistema de almacenamiento de datos de los parámetros a ser estudiados y constituir una base de conocimiento para realizar la predicción de dichos parámetros.*

## Palabras Claves

Red, WSN, IEEE 802.15.4, Zigbee, sensores, computación en la nube.

**Abstract.** *A greenhouse is a structure covered with glass or plastic, intended for horticulture, which has the ability to grow plants in climates not suitable for development. Today, automatic irrigation systems are used to save water and money, being mainly based on wireless sensor networks (WSN). These networks consist of a sensor node, a Gateway, a base station and the wireless network.*

*In particular, “La Pradera” farm from the Universidad Técnica Del Norte has a greenhouse that represents a significant added value for the agricultural engineering career, since it allows to put into practice theoretical concepts on the quality and development of crops. La Pradera farm has no a WSN nor an automated irrigation system, and therefore the crops lack a proper environment for their development and growth, in addition, the pre-existing system is expensive in terms of both money and water resource consumption.*

*In order to contribute to the improvement of the aforementioned conditions, this project –founded on concepts of precision agriculture within a WSN context- is aimed to optimize the control of a drip irrigation system and the monitoring of environmental agents involved in a crop vegetables in the greenhouse of the farm “La Pradera”. This is done to achieve a better use of the irrigation water and design a system for data storage of the parameters to be studied. As well, a knowledge base to carry out the prediction of these parameters is formed.*

## Keywords

Network, WSN, IEEE 802.15.4, Zigbee, sensors, cloud computing.

## 1. Introducción

En los últimos años, en la granja La Pradera, propiedad de la Universidad Técnica del Norte, ubicada en el sector de

Chaltura del Cantón Antonio Ante, se ha percibido una preocupación sobre la gestión de los cultivos de hortalizas para lograr producciones satisfactorias. Las plantaciones agrícolas existentes dentro del invernadero viven con temperaturas no apropiadas y sin un control de la disponibilidad de agua de riego; al no tener un mayor rendimiento de cada parcela. La granja La Pradera existe, con el fin de proveer una infraestructura de estudio en el área agrícola a estudiantes de Ingeniería Agropecuaria, pudiendo aplicar sus conocimientos en cultivos de hortalizas, verduras y plantaciones frutales dentro invernaderos y fuera de ellos, dando así un realce al crecimiento como carrera e institución del saber.

En la actualidad la granja La Pradera, cuenta con cultivos agrícolas de distintas especies, los cuales han presentado bajo aprovechamiento del suelo al no poder predecir los constantes cambios de luminosidad, temperatura ambiente, humedad relativa, humedad de suelo y la cantidad CO<sub>2</sub>, que son los principales factores que intervienen en los cultivos y los que pueden llevar una mala calidad de producción en proporciones no adecuadas. El proceso utilizado actualmente para el riego, es un goteo manual y obsoleto, el cual se realiza de forma empírica y sin metodología en base a los requerimientos del cultivo.

La agricultura de precisión tiene como fin mejorar el rendimiento de las plantaciones utilizando tecnología moderna basada en sensores, permitiendo así tener un almacenamiento de datos y accediendo a los mismos de manera que ayuden al agricultor a ver los cambios.

El tener una metodología adecuada para controlar el riego, monitorear los agentes ambientales que intervienen en el proceso de crecimiento de una planta, y poseer un registro de la información de las plantaciones, se podrá satisfacer las necesidades de los cultivos, lo que conlleva a mantener técnicas de cuidado de cultivos en base a la agricultura de precisión, que se apoya en el uso de tecnologías de la información para obtener el máximo rendimiento de cada plantación. Sosteniéndose en una solución basada en una serie de sensores, dispositivos y una aplicación informática permite obtener información detallada del cultivo, impactando directamente en la calidad de los productos así como en los procesos que se realizan.

## 2. Conceptos Básicos.

### 2.1 Red de Sensores (WSN).

La tecnología ha permitido crear de una red de sensores adaptándose a la posibilidad de sostener ideas innovadoras mediante el almacenamiento de información relevante transmitiendo de un dispositivo a otro y así poder visualizarla de manera flexible y sencilla.

Una red de sensores está formada por un conjunto de sensores (nodos) que tienen una tarea en común por cumplir,

con la ayuda de comunicación inalámbrica que permita comunicar con un nodo central. Los dispositivos de conforman una red de sensores tienen como fin controlar diversas características del entorno en que se vaya a trabajar, como: Humedad, temperatura, movimiento. [1]

#### Elementos de una Red de Sensores

En la Figura 1, se observa una red de sensores que se constituye de cuatro elementos fundamentales:

- Nodos Sensor.
- Gateway.
- Estación Base.
- Red Inalámbrica.

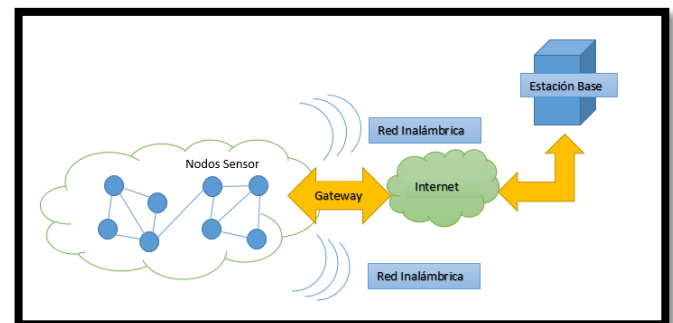


Figura 1. Arquitectura de una Red de Sensores.

#### Nodo Sensor

El nodo sensor es una de las partes principales de una WSN. El hardware de un nodo sensor incluye generalmente cuatro partes, cada uno de los elementos posteriormente definidos: La administración de la energía y el poder módulo, un sensor, un microcontrolador, y un inalámbrico transmisor-receptor. El módulo de potencia ofrece la energía confiable necesaria para el sistema. El sensor es el vínculo de un nodo WSN que puede obtener el estado del medio ambiente y el equipo. Un sensor es el encargado de recoger y transformar las señales, como la luz, la vibración y la química señales en señales eléctricas, y luego se transfieren ellos al microcontrolador. El microcontrolador recibe los datos desde el sensor y, en consecuencia, los procesa. El transceptor inalámbrico (RF módulo) transfiere los datos, de forma que la realización de la comunicación se puede lograr. Es importante que el diseño de todas las partes de un nodo WSN debe tener en cuenta las características de nodos WSN de pequeño tamaño y potencia limitada. [2]

#### Gateway

Es un equipo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas completamente diferentes a todos los niveles de comunicación. La traducción de las unidades de información reduce mucho la velocidad de transmisión a través de estos equipos.

### Estación Base

Recolector de datos basado en un ordenador común donde toda la información va a parar a un equipo que se almacena en una base de datos, desde donde los usuarios acceden remotamente y observan el compartimiento de los datos. [2]

### Red Inalámbrica

La comunicación se logra mediante el uso de un dispositivo inalámbrico que recibe y envía datos vía radio para comunicarse con otros dispositivos que se encuentren dentro del rango establecido. Los sensores usan la banda ISM, que son no licenciadas y respetan reglas, utilizando las frecuencias desde 433MHz hasta 2.4GHz.

## 2.2 Topología

Una topología es una descripción general esquemática de la disposición de una red, incluyendo sus nodos y líneas de conexión. Hay dos maneras de definir la geometría de la red: La topología física y la topología lógica. La topología física de una red es la disposición geométrica real de las estaciones de trabajo. Hay varias topologías físicas comunes, como son: Bus, estrella, malla, árbol, entre otras. [2]

### Topología Tipo Estrella.

En esta configuración, cada nodo se conecta a un dispositivo de red central, como un concentrador, conmutador o computadora. El dispositivo de red central actúa como un servidor y los dispositivos periféricos actúan como clientes como se indica en la Figura 2.

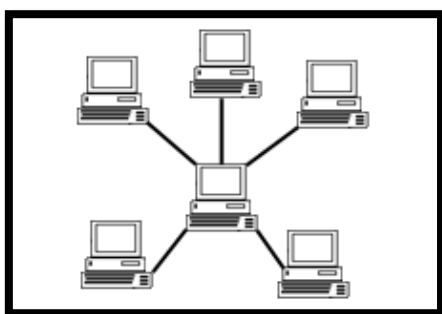


Figura 2. Topología tipo Estrella.

### Topología Tipo Malla.

La Figura 3, es una configuración de red en la que cada ordenador y la red está interconectada con los otros, lo que permite para la mayoría de las transmisiones sean distribuidas, incluso si una de las conexiones se encuentra fuera de servicio.

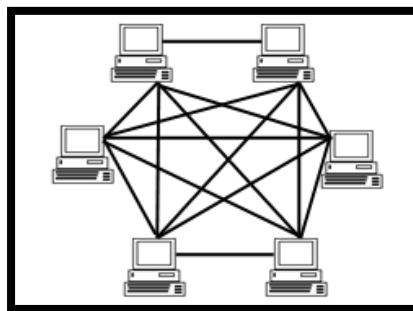


Figura 3. Topología tipo Malla.

### Topología Híbrida Estrella - Malla.

Este tipo de topología se observa en la Figura 4, una las cualidades de las dos topologías antes mencionadas, la simplicidad y el bajo consumo de una topología en estrella y la posibilidad de cubrir una gran extensión y organizar los fallos de la topología en malla.

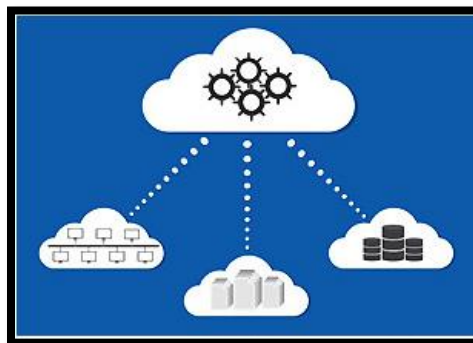


Figura 4. Topología Híbrida Estrella - Malla.

## 2.3 Internet de las Cosas.

Internet de las cosas (IoT), a veces referido como Internet de los objetos, cambiará todo, incluidos el mismo mundo. Se debe tener en cuenta el impacto de la Internet que ha tenido en la educación, la comunicación, los negocios, la ciencia, gobierno, y la humanidad. Claramente, la Internet es uno de las más importantes y de gran alcance creaciones en toda la historia humana.

Se debe considerar que la IoT representa la próxima evolución de Internet, teniendo un gran salto en su capacidad de reunir, analizar y distribuir datos que se pueden convertir en información, conocimiento, y, por consecuencia, en sabiduría. [3]

## 2.4 Estándar IEEE 802.15.4.

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

establezcan por medio de la política. [4] En la Tabla 1 se detalla las principales características del estándar.

CARACTERÍSTICAS	DETALLES
Rango de transmisión de datos	868 MHz: 20kb/s; 915 MHz: 40kb/s; 2.4 GHz: 250 kb/s.
Cobertura	10-20m
Tiempo de retardo	Menos de 15ms
Canales de trabajo	868/915 MHz: 11 canales.  2.4 GHz: 16 canales.
Frecuencias de Trabajo	Dos PHY: 868/915 MHz y 2.4 GHz.
Canal de acceso	CSMA-CA

Tabla1. Norma IEEE 802.15.4.

## 2.5 Agricultura de Precisión.

Agricultura de Precisión, se basa en el reconocimiento espacial y temporal de la variación en la producción de cultivos. La variación se explica en el manejo de la plantación con el objetivo de aumentar la productividad y reducir los riesgos ambientales.

En un estudio de la Agricultura de precisión en los países desarrollados, pone en relieve las siguientes ventajas a los agricultores:

- Mejora de la eficiencia: tecnologías avanzadas, incluyendo maquinaria, herramientas e información, ayuda a los agricultores para aumentar la eficiencia del trabajo, la tierra y la hora en la agricultura.
- Reducción de los costes de producción: la aplicación de exacta de cantidades en el momento oportuno reduce el coste de insumos agroquímicos en la producción de cultivos.
- Una mejor toma de decisiones en la gestión agrícola: maquinaria agrícola, equipos y herramientas de ayuda los agricultores a obtener información precisa, la cual es procesada y analizada para la toma de decisiones adecuada.

### Parámetros de Estudio.

#### Humedad de Suelo

Se denomina humedad del suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno. Su medición exacta se realiza gravimétricamente, pesando una muestra de tierra antes y después del secado. Esta es de gran importancia debido a que el agua constituye un factor determinante en la formación, conservación,

fertilidad y productividad del mismo, así como para la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas.

#### Humedad Relativa

La humedad relativa es única por cada tipo de cultivo, es la cantidad de agua contenida en el aire, se encuentra relacionada a la humedad existente en el suelo y a la temperatura ambiente, siendo de esta última inversamente proporcional, esto quiere decir que si la temperatura aumenta la humedad relativa disminuye, al no poseer una cantidad correcta vital de humedad en las plantas se produce la baja de fotosíntesis.

La humedad promedio dentro de un invernadero para un cultivo de hortalizas es de 55% a 70%. [5]

#### Temperatura Ambiente

La temperatura existente en las plantas influye directamente con el proceso de la fotosíntesis, crecimiento y desarrollo de las mismas; de forma que es el parámetro más importante del control climático dentro de un invernadero.

La temperatura ideal para el proceso vital de hortalizas dentro de un invernadero se encuentra en los rangos de 15°C a 25°C. [5]

#### Cantidad de CO<sub>2</sub>

La cantidad de CO<sub>2</sub> se presente en el tejido vegetal por medio del proceso de fotosíntesis, su concentración óptima para que exista este proceso es de 800 a 1000 ppm. [6]

El anhídrido carbónico de la atmosfera es la materia prima que no puede faltar en la función de producir clorofila en las plantas. Dentro de los invernaderos los niveles de este gas son muy variados ya que tiene una estrecha relación con la luminosidad, la ventilación, la humedad y temperatura; esto dependerá mucho del tipo de cultivo que se vaya a realizar.

#### Luminosidad

La radiación solar es la fuente principal de energía para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, al tener una gran influencia en la producción y reproducción de las plantaciones. Dentro de un invernadero cuando la cantidad de luz aumenta, se logra aumentar la temperatura, la humedad relativa y la cantidad de CO<sub>2</sub>, teniendo un proceso de fotosíntesis óptimo.

El nivel promedio de luz con las que necesitan sobrevivir los cultivos de hortalizas dentro de un invernadero esta entre los 10000 a 40000 lux. [5]

## 2.6 Cultivo de Tomate Riñón

Las características de un cultivo de tomate riñón se presenta a continuación:

- Familia: Solanaceae
- Especie: *Lycopersicon esculentum* Mill
- Raíz: Generalmente se extiende superficialmente sobre un diámetro de 1.5 m y alcanza más de 0.5 m de profundidad; sin embargo, el 70% de las raíces se localizan a menos de 0.20 m de la superficie. [7]
- Tallo principal: Velos tallos son ligeramente angulosos, semileñosos, de grosor mediano y con tricomas (pilosidades), simples y glandulares. Eje con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando las hojas, tallos secundarios e inflorescencias. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales. [7]
- Hojas: Las hojas son compuestas e imparipinnadas, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternada sobre el tallo. [7]
- Flor: La flor del tomate es perfecta. Consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo dispuestos de forma helicoidal y de igual número de estambres que se alternan con los pétalos. Los estambres están soldados por las anteras y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y evitan la polinización cruzada. El ovario es bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias denominadas comúnmente como “racimos”. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas. [7]
- Fruto: baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. [7]

cantidad fija de agua a los campos, directamente sobre los cultivos con un alto aspersores de presión. La cantidad del agua puede ser estrechamente controlada, lo cual es un gran beneficio.

- Riego por goteo: El riego por goteo, funciona como su nombre sugiere. El agua se suministra cerca de la zona de las raíces de las plantas, gota a gota. Este método puede ser el más eficiente con respecto al cuidado del agua, si se gestiona adecuadamente, ya que la evaporación se reduce al mínimo. En la moderna la agricultura, el riego por goteo es a menudo combinado con una cobertura de plástico, además la reducción de la evaporación, y es también un medio de suministro de fertilizantes.

### 3. Diseño de Hardware y Software.

#### 3.1 Situación actual del Invernadero.

El área de trabajo, en este caso un invernadero, se encuentra ubicado en el Cantón de Antonio Ante, en la parroquia San José de Chaltura justo en las instalaciones de la granja “La Pradera”. Para la demostración de la presente labor, se toma en cuenta un invernadero ubicado dentro de la granja muy cerca a las oficinas, que tiene una extensión de 323 m<sup>2</sup>, dedicados exclusivamente al cultivo de hortalizas, como se encuentra en la Figura 5.



Figura 5. Dimensiones del invernadero.

#### 2.7 Riego

El riego es el proceso el cual se llevó agua a tierra firme a través de medios artificiales, tales como tuberías, mangueras o zanjas.

##### Tipos de Riego

- Riego por superficie: En el riego de superficie, el agua se mueve sobre y a través de la tierra por simple gravedad para mojar e infiltrarse en el suelo. El riego de superficie se puede dividir en surco, o cuenca de irrigación
- El riego por aspersión: El riego por aspersión es otro popular método, las tuberías dispersan una

#### 3.2 Requerimientos para el Diseño de la WSN.

Para lograr cumplir con las expectativas de la producción del invernadero, y obtener una solución factible, se busca un diseño de la red de sensores que se adapte a las características del lugar de trabajo. Con el diseño se procederá a recolectar datos de los distintos agentes definidos previamente, a cargo de los nodos sensores capaces de monitorear, procesar y comunicarse inalámbricamente a un nodo central.

El diseño de una WSN requiere de características que se deben cumplir para lograr el objetivo de implementarla, tomando en cuenta los siguientes:

- Cada uno de los nodos sensores sea capaz de medir las 5 variables ya definidas.
  - Cada nodo sensores tenga una cobertura inalámbrica de 100m<sup>2</sup>.
  - Que exista una comunicación entre todos los nodos sensores y nodo central
  - Los datos deben encontrarse en tiempo real, ser almacenados y fácilmente de interpretarlos.
  - Que sea de fácil instalación.
  - Que el sistema sea de fácil manejo, bajo costo, y totalmente autónomo.
- La WSN: Etapa que comprende la topología tipo malla, los nodos sensores, el nodo central y la transmisión de datos IEEE 802.15.4.
  - Sistema de control: Se trata del sistema de riego controlado.
  - Computación en la nube: Comprende el Gateway y la plataforma PAAS.

### 3.3 Descripción General del Sistema

El sistema consta de un nodo central y varios nodos remotos, el nodo central se representa como Gateway entre la red de sensores y la estación central que puede ser una PC, una red LAN o la Internet. El nodo central tiene como función almacenar toda la información recolectada por cada uno de los nodos sensores, y que el encargado del invernadero tomar esa información e interpretarla para que pueda tomar las decisiones del trato del cultivo. Los nodos sensores recogen las variables que vienen del cultivo, para posteriormente enviar al nodo central por medio de la ayuda de la comunicación Zigbee.

Los nodos sensores constan de una unidad de adquisición de datos con sus sensores, una unidad de procesamiento y envío de datos. Su trabajo es adquirir las variables y enviarlas a la estación base.

La estación base es una interfaz entre la red LAN y la comunicación inalámbrica y tiene como función recibir la información tomada de cada nodo sensor.

Uno de los principales requerimientos para el diseño del sistema es que todos los nodos sensores tengan comunicación entre sí, es decir que exista redundancia de comunicación, la topología elegida para cumplir esa característica es de tipo malla, su principal objetivo es que todos los dispositivos estén comunicados permitiendo que la comunicación nunca se interrumpa por todas sus conexiones existentes.

Uno de los objetivos del presente diseño el tener un sistema controlado de riego, que permita el suficiente suministro de agua, con la cantidad necesaria de humedad que permita el crecimiento óptimo de la planta y el ahorro de agua.

### 3.4 Arquitectura

La arquitectura del sistema se subdivide en tres etapas primordiales que son:

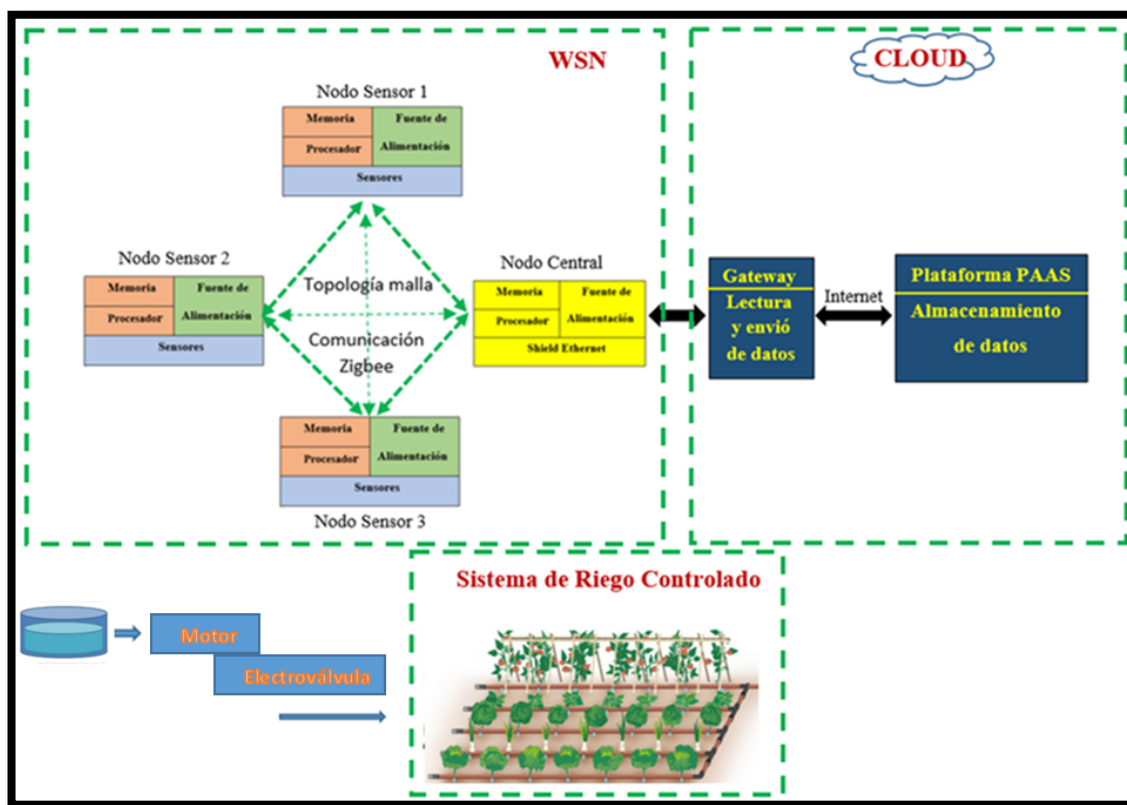


Figura 6. Arquitectura del Sistema de Monitoreo y Control.

### 3.5 Hardware del Sistema.

De acuerdo a las especificaciones y requerimientos del invernadero, el hardware del sistema está compuesto por tres nodos sensores, los cuales permitirán medir y obtener información de los principales parámetros de la agricultura de precisión como son la humedad de suelo, la temperatura ambiental, la humedad relativa, la luminosidad y la cantidad de CO<sub>2</sub> de la zona en la que se encuentra el cultivo; un nodo central o Gateway, se encarga de recolectar de forma inalámbrica la información enviada desde los nodos sensores a través de Ethernet, los datos recolectados hacia la plataforma PaaS y controlar el riego a través de una electroválvula.

#### Elección de Componentes

Arduino UNO



Figura 7. Placa Arduino UNO.

PARÁMETRO	CONDICIÓN TÉCNICA
Microcontroladores	ATmega328
Tensión de funcionamiento	5V

Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines de entrada y salida digitales	14 (de los cuales 6 proporcionan PWM)
Pines de entrada analógica	6
Pines de entrada y salida DC	40 mA
Pin 3.3V para DC	50 mA
Memoria Flash	32 KB ( Atmega328 ) de los cuales 0,5 KB utilizado por el gestor de arranque
SRAM	2 KB ( Atmega328 )
EEPROM	1 KB ( Atmega328 )
Velocidad del reloj	16 MHz

Tabla2. Características de la placa Arduino UNO.

Arduino MINI – PRO

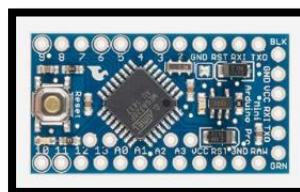


Figura 8. Placa Arduino Mini - PRO.

Para el desarrollo de cada uno de los nodos sensores se hará uso de la placa electrónica basada en el ATmega 328 Arduino Mini Pro, la cual cuenta con 14 pines de entradas y salidas digitales, 6 entradas analógicas y un botón de reinicio.



La placa Arduino Mini Pro no tiene zócalos pre-instalados, lo que permite el uso de algunos tipos de conectores, posee 6 pines al costado de la placa para poder ser conectado a un cable FTDI y proporcionar alimentación USB y su comunicación.

#### Arduino Ethernet Shield



Figura 9. Arduino Ethernet Shield.

El Arduino Ethernet Shield se encuentra formado por el chip Wiznet W5100 como se indica en la Figura 9, siendo de mucha utilidad capaz de conectarse a la red IP. Su infraestructura permite conectarse con el Arduino UNO y Arduino Megas sin uso de dispositivos extras, provee de cuatro conexiones simultáneamente.

Arduino Ethernet Shield cuenta con un conector Ethernet RJ45, un lector de tarjeta Micro SD, un botón de reset y leds indicadores cuya información se detalla a continuación:

- PWR: indica que la placa y la Shield están alimentadas.
- LINK: indica la presencia de un enlace de red y parpadea cuando la Shield envía o recibe datos.
- FULLD: indica que la conexión de red es full dúplex.
- 100M: indica la presencia de una conexión de red de 100 Mb/s (de forma opuesta a una de 10Mb/s).
- RX: parpadea cuando la Shield recibe datos.
- TX: parpadea cuando la Shield envía datos.

#### Módulo Xbee S2C

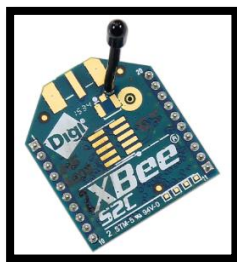


Figura 10. Módulo Xbee S2C.

Los módulos Xbee S2C de radio frecuencia utilizados para la comunicación inalámbrica de todos los nodos como se indica en la Figura 18, soportan topologías de multipunto y malla, además de las que incluyen la serie 1, conjuntamente en las frecuencias de 2,4GHz y 900MHz. Su fabricante Digi International cumple con el estándar IEEE 802.15.4, aumentando su potencia con respecto a la serie 1, con una

antena wire y con un alcance de 60 metros en interiores y 1200 metros en exteriores con línea de vista.

Los módulos Xbee de la Serie 1 y Serie 2 poseen similar pin-out, pero no se puede comunicar entre ellos. La serie 2c mejora en el protocolo de salida de energía y datos, permitiendo una comunicación fiable y simple soportando inclusive redes punto a punto y multi-punto. Para su correcta configuración se debe cargar el firmware apropiado y aprovechar de manera óptima su funcionamiento.

#### Sensor de Humedad de Suelo YL-69 - YL-38

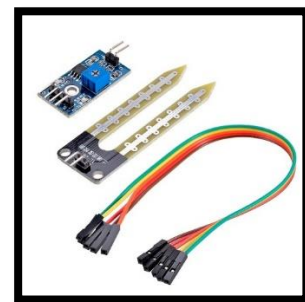


Figura 11. Sensor de Humedad de Suelo YL-38 y Sonda YL-69

El conjunto YL-69 YL-38 se encarga de la lectura de humedad reciente en el suelo, muy apto para trabajos dentro de un invernadero.

El sensor YL-38 trabaja con un módulo comparador LM393, su función es identificar el nivel de resistencia para adquirir la cantidad de humedad, el suelo que contenga más agua es mucho mejor conductor de la electricidad; el cual dispone de un potenciómetro para ajustar el umbral de la salida digital, además posee dos pines para alimentación VCC (de 3,3v a 5v), GND y una salida analógica. Para lograr pasar corriente a través del suelo se utiliza las sondas del sensor YL-69, como se indica en la Figura 11.

#### Sensor de Temperatura Ambiente y Humedad Relativa DHT11



Figura 12. Sensor Temperatura Ambiente y Humedad Relativa DHT11

La Figura 12 muestra el sensor DHT11, cuenta con un sensor de temperatura y humedad que posee una salida de señal digital calibrada, su tecnología complejo permite que la señal obtenida sea exclusiva y asegura una alta fiabilidad y estabilidad a largo plazo. Este sensor incluye una medición

de humedad de tipo resistivo ofreciendo una gran calidad dando una respuesta rápida y con poca interferencia.

También hay un chip muy básico dentro que realiza la conversión análogo a digital y da como resultado una señal digital con la temperatura y la humedad. La señal digital es bastante fácil de leer utilizando cualquier microcontrolador.

#### Sensor de Luminosidad BH1750

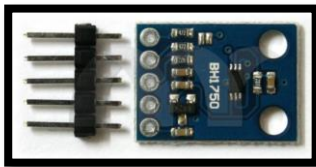


Figura 13. Sensor de Luminosidad bh1750

El chip BH1750FVI es la base de un módulo sensor digital que mide la luminosidad como se observa en la Figura 13, posee un conversor análogo-digital de 16bits, entregando un valor directamente en lux sin la necesidad de realizar conversiones de voltaje para obtener datos mejor estructurados, mejorando así la función de un sensor de luz basado en una LDR. La respuesta de salida digital se interpreta con la ayuda del bus I2C con la posibilidad de seleccionar 2 Address. El sensor es ideal para medir el flujo de luminosidad por metro cuadrado de un ambiente.

#### Sensor de Medición de Dióxido de Carbono (CO2) MQ-135



Figura 14. Sensor CO2 MQ-135

El sensor MQ-135 permite el control de calidad de aire, adecuado para la detección de gases peligrosos como NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, el alcohol, el benceno, el humo, CO<sub>2</sub>, etc. Este sensor no proporciona valores absolutos, sino que simplemente proporciona una salida variada que debe ser supervisado y se compara con valores de umbral.

El valor de la resistencia de MQ-135 es distinta para diversos tipos y diversas concentraciones de gases. Por lo tanto, cuando se usa este ajuste de los componentes, la sensibilidad es muy necesario.

Posee dos pines para alimentación VCC (2,5V a 5V), GND, un pin para una salida análoga y un pin para una salida digital; en total cuatro pines, como se muestra en la Figura 14.

### 3.6 Diseño de la Red de Sensores Inalámbrica.

La red de WSN se construye básicamente de tres nodos sensores y un nodo central o Gateway que actúa como medio para la comunicación de los módulos sensores y la estación base, permitiendo que los datos extraídos por los nodos sean transmitidos a la nube con el uso de la plataforma PaaS, como se detalla en la Figura 15.

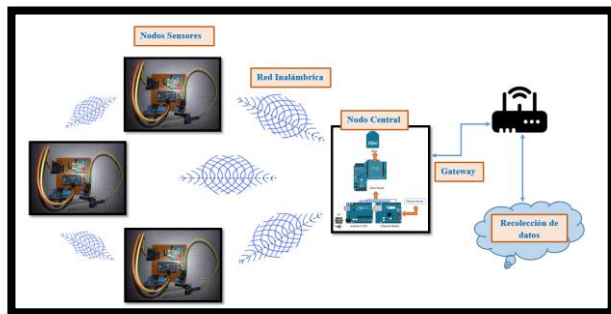


Figura 15. Diseño de la WSN, detallando cada uno de los elementos que se encuentra conformada.

El propósito del sistema de riego controlado, teniendo un rango estimado de las magnitudes adecuadas para la dar el suministro de agua que necesite el invernadero.

En el sistema se mide la humedad de suelo, temperatura ambiente, humedad relativa, luminosidad y cantidad de CO<sub>2</sub>, que son parte de los parámetros más sobresalientes que se encuentra en el concepto de Agricultura de Precisión, dando la facilidad para que los estudiantes de la granja lleven un registro de datos mediante el uso de una interfaz hacia un escenario ubicado en la nube.

La variable primordial para llevar a cabo el control del sistema de riego, es la humedad de suelo, que luego del proceso de sensado se transmite al nodo principal y da un signo de respuesta para activar el sistema.

Los demás parámetros a analizarse tienen con función dar una respuesta del comportamiento del cultivo que servirá como ayuda a los estudiantes y docentes que se encuentran laborando en la granja y a su carrera, dando información obtenida de todas las variables, almacenándolas en una base de datos.

Como parte de aviso que el invernadero necesita de suministro de agua y dar la respuesta de activación al sistema de riego, se envía un correo al encargado del invernadero como alerta de la falta de líquido vital en la plantación, y que el personal pueda estar informada del suceso.

### 3.7 Diseño del Software

La programación de las placas de Arduino utilizadas en el presente proyecto es basado en el lenguaje C, siendo propietario del IDE de Arduino. La recolección de datos y envío hacia el nodo central se lo realiza por medio de los Arduino Mini-Pro, y el almacenamiento de los mismos en el nodo central con la ayuda del Arduino UNO, adaptándose a

un Shield Ethernet para el despachó hacia internet y almacenamiento en la nube.

### Visualización

Para lograr el monitoreo por parte de la o las personas encargadas del invernadero, Ubidots será la plataforma que ayude a este presente trabajo, como primer paso se debe crear una cuenta ingresando a su página oficial <https://ubidots.com>, dando un clic en SIGN UP como se indica en la Figura 16.



Figura 16. Captura de pantalla de página principal de Ubidots.

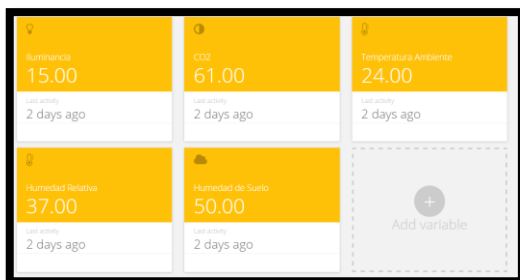


Figura 17. Captura de pantalla de la visualización de los datos.

## 4. Implementación y Pruebas.

### 4.1 Pruebas en invernadero de Granja La Pradera

El invernadero que se encuentra en la granja La Pradera ubicada en la parroquia rural de Chaltura, tiene una extensión de 323 m<sup>2</sup> cultivado con tomate.

Como se investigó en el fundamento teórico se debe cumplir con los valores óptimos del cultivo de hortalizas bajo un invernadero siendo estos los siguientes:

- Humedad Relativa: 55% a 70%
- Temperatura Ambiente: 15°C a 25°C
- Cantidad de CO<sub>2</sub>: 800ppm a 1000ppm
- Luminosidad: 10000 a 40000 lx
- Humedad de Suelo: 0 – 30 seco, 31 a 70 húmedo, 71 a 100 agua.

### Lectura del sensorado

Los sensores correctamente calibrados recolectan los datos de cada parámetro a monitorear, los módulos xbee permite la comunicación con el nodo central, el cual se encarga de subir a la plataforma de ubidots y almacenar la información adquirida, las figuras puestas a continuación se observa los datos de las medidas monitoreadas incluyendo fecha y hora.

5015-10-14 12:11:38-0200	60
5015-10-14 12:11:28-0200	14
5015-10-14 12:15:18-0200	18
5015-10-14 12:15:40-0200	55
DATE	VALUE

Figura 18. Datos de la variable Iluminancia

### 4.2 Instalación de la Red de Sensores.

Los tres módulos sensores se ubicaron cada uno en partes estratégicas para lograr cubrir toda el área del terreno, los nodos han sido cubiertos por cases hechos en acrílico resistente, sobrepuestos en bases hechas de madera se encuentran 2 metros sobre el suelo como se observó en la simulación para lograr mejor recepción de datos y evitar tener contacto directo con el suelo; además que cada planta de tomate llevo a la altura de 1m con 70cm, será la estatura apropiada para recolectar los datos.

- Ubicación Nodo Sensor 1: En la Figura 19 se observa una recopilación de distintos algunos del case que guarda a los elementos del nodo 1, además de la alimentación que se trata de una batería de litio y de su respectivo panel solar para cargarlo cuando se acabe el tiempo de duración; incluyendo la foto de la base que que sostiene al nodo.



Figura 19. Instalación Nodo Sensor 1

Los demás nodos sensores se instalaron de manera similar al nodo sensor 1, en sus ubicaciones destinadas.

- El módulo central se ubicó en la residencia de los estudiantes donde se encuentra el cuarto de telecomunicaciones, con un case de protección donde tendrá agujeros para la entrada de adaptador de alimentación y del cable Ethernet a conectar al router inalámbrico que provee el internet a la granja. El módulo se encuentra muy cerca al rack donde está el router que provee el internet a la granja. La computadora del administrador le permite observar el monitoreo de los datos recolectados de los nodos sensores que se alberga en la nube por medio de la ayuda de la plataforma de Ubidots.



Figura 20. Instalación Nodo Central

### 4.3 Pruebas Previas a la Instalación del Riego del Goteo en Ambientes Diferentes.

Para evaluar el objetivo de lograr optimizar el recurso del riego en un cultivo de hortalizas, se realizaron pruebas previas a la instalación del proyecto en distintos ambientes para lograr obtener diferentes comportamientos de las plantas y sacar conclusiones al respecto.

#### Aplicación de agua con ayuda de riego con manguera

La primera prueba de distribución de riego se dio con la utilización de una manguera que por 5 minutos se lograba una base de 4 litros en la cantidad de plantas ubicadas en un surco. Logrando de manera visual alcanzar que el cultivo reciba la humedad adecuada. La Figura 21 y 22 muestra la manguera y la base en litros.



Figura 21. Manguera para la distribución de riego.



Figura 22. Base de agua en litros

El primer surco donde se suministró agua con la ayuda de una manguera, su ubicación era muy accesible a la vista de la luz solar, sus temperaturas llegaron a 30 grados centígrados en un horario de 10am. Al no ser la temperatura adecuada el cultivo no formo el repollo, tomando un aspecto nada similar al normal como se observa en la Figura 23.



Figura 23. Deformación de la forma de la planta

- En el primer surco su distribución de agua se lo realizó con la ayuda de una manguera, y en horarios de 10am, 4pm y 7pm del día, logrando así obtener distintos tipos de datos al respecto de cada uno de los agentes monitoreados. Con respecto a la temperatura se obtuvo en el primer horario rangos hasta 30 grados Centígrados, teniendo como humedad relativa en 24%, la luz se encontraba en 18000 lx, CO2 en 200ppm y su humedad de suelo estaba dentro del porcentaje óptimo. Con el pasar de la tarde se observaba que su temperatura, luz, CO2 bajaban los rangos y su humedad relativa subía, por consecuencia daba que la humedad del suelo es cada vez más alta. Logrando así recuperar todo la humedad pérdida por la luz solar ser recuperada en la noche ayudándose de los cambios de los demás parámetros.

#### Negación de agua

La segunda dosis de aplicación de agua al cultivo fue de negar del líquido vital de 7 días para observar el comportamiento. Las plantas dejaron de desarrollar follaje cayendo en el denominado estrés hídrico, dando como consecuencias que la raíz se malogre secándose, que las hojas pierdan el color natural, entre otros como se puede observar en la Figura 24.



**Figura 24.** Consecuencias de falta de agua

- En el surco que no se dio agua por 7 días, tenía un caso particular que la cantidad de luz era muy poca ya que se encontraba en un lugar difícil de llegar, tanto que logró soportar dichos días sin agua teniendo un rango de humedad de suelo dentro del rango de humedad óptima, su temperatura se mantenía entre los 22 grados centígrados durante todo el día y por la noche era menor, su humedad relativa era muy alta y su cantidad de CO<sub>2</sub> similar a los demás surcos.

#### **Aplicación de agua con sistema de riego por goteo**

Con la activación manual del sistema de riego por goteo, se realizó de igual manera el método visual, le determino que se consumió 3 litros por 15 minutos. Se redujo un litro al consumo anterior que fue con el uso de la manguera.

Con este método de aplicación se logró mejoría en la producción del cultivo pero no de la manera esperada, su tiempo de espera de crecimiento fue muy lento y de menor tamaño.



**Figura 25.** Uso del riego por goteo

- El surco fue distribuido por goteo su temperatura se capturo en 26 grados centígrados al encontrarse en el horario de las 10am, pero la cantidad de luz que lograba captar era mucho menor que con el riego por manguera llegaba a 3000 lx, defecto su humedad relativa era mucho mayor llegando a 30%, su cantidad de CO<sub>2</sub> llegaba a 600ppm y

su humedad de suelo era muy parecida al primer surco.

Por la noche se capturó datos y su temperatura a 19 grados centígrados, teniendo una cantidad de luz totalmente nula, una humedad relativa de 55% y como consecuencia una humedad de suelo como si hubiera sido suministrada en ese momento del líquido vital.

#### **Aplicación de agua con el proyecto propuesto**

El método aplicando todo el proyecto de control y monitoreo en el cultivo de lechuga para posteriormente hacerlo en el invernadero de tomates usando la red WSN.

Se comprobó el uso del agua aplicando al cultivo de lechuga los 3 litros por 15 minutos para lograr cubrir que el suelo se encuentre húmedo.

De igual manera en el caso del sistema automático no se activa debido a que se registra una excesiva humedad impidiendo que la electroválvula comience a funcionar. El sistema se activara cuando la cantidad de humedad sobrepase su rango óptimo para el cultivo con las previas alertas.

En la Figura 26, se observa como con el adecuado suministro de líquido vital sin existir desperdicio la planta tiene un follaje normal, su repollo se está formando normalmente, su color es verdosa brillante.



**Figura 26.** Lechuga con el suministro correcto

En la Granja La Pradera se realizó las pruebas con el cultivo de tomate y se observó que su comportamiento fue como en los otros cultivos previamente realizados, la aplicación del líquido fue por una hora hasta lograr que los 20 centímetros que conforma la raíz se encuentre húmedos, con un total de 30 litros.

El sistema permite cumplir con la optimización del recurso del agua, economizando su utilización y mejorando su producción, obteniendo frutos de calidad con peso óptimo y sus flores cumpliendo con sus características descritas en el fundamento.



Figura 27. Frutos del cultivo



Figura 29. Red de distribución de agua

#### 4.4 Instalación de Riego por Goteo

##### Materiales para la instalación

- Suministro de agua.
- Un regulador de presión: Es muy útil conectarlo a la salida grifo para que disminuya la presión a la que sale el agua del grifo (la presión que necesitan los goteros es menor, así se protege la instalación).
- Red de distribución: tuberías con goteros integrados o un conjunto de tubos sin goteros en los que realizaremos orificios donde sea necesario.
- Piezas auxiliares como llaves, codos para unir los tubos en curvas o ángulos, etc.

##### Instalación

El regulador de presión de agua como se describió permite disminuir la presión para lograr suministrar agua con el método de riego por goteo, se ubica en grifo o toma de agua como indica la Figura 28.



Figura 28. Grifo con electroválvula

La red de distribución de lo realiza con manguera PVC por donde el agua se dirige a cada una de las plantas de tomate, se hace el uso de codos para las curvaturas como se indica en la Figura 29.



Figura 30. Mangueras de agua de riego

La ubicación de cada electroválvula fue en cada sector que se encuentran ubicados los nodos sensores como se indica en la Figura 31.

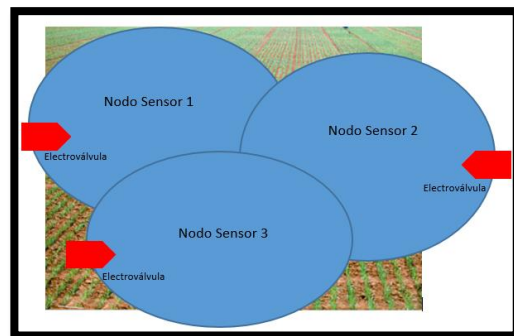


Figura 31. Ubicación de cada electroválvula en el sector de cada nodo sensor.

## 5. Análisis Costo Beneficio

El análisis costo – beneficio es una técnica que se utiliza para comparar los costos totales de un proyecto a punto del beneficio que se pueda tener, con el fin de obtener el mejor enfoque y aprovechar las oportunidades del negocio.

El presente proyecto se desarrolla en consideración de gastos involucrados con la implementación del prototipo, incluyendo los gastos de ubicarlo en toda el área

previamente estudiada siendo la granja La Pradera, por consiguiente, se procede a detallar el beneficio que se obtendrá para justificar si el proyecto es factible.

Costos de Equipos	705
Costos de Infraestructura	125
Costos de Ingeniería	850
Costos de Software	0
Costos de Mantenimiento	50
TOTAL \$	1730

**Tabla3.** Resumen de Costos

### **Beneficios**

A continuación se detallan los beneficios que obtiene de implementar el diseño de un sistema de control y monitoreo en un cultivo de hortalizas dentro de un invernadero.

- El presente proyecto consistió en la implementación de una Red de sensores en un cultivo de hortalizas en el caso tomate riñón, se basa en el concepto de agricultura de precisión que permite desplegar redes inalámbricas para monitorear parámetros previamente descritos que influyen en la calidad de los cultivos sin necesidad de invertir mayormente en infraestructura.
- La utilización de este diseño permite al agricultor o persona encargada de los cultivos mejorar en la toma de decisiones basándose en los datos numéricos de los distintos parámetros que se haya tomado en cuenta.
- Este tipo de investigaciones consigue mejorar la eficiencia de la siembra, también es posible el cálculo del rendimiento.
- Si los agricultores ven resultados y se consiguen unos precios que puedan estar satisfechos tanto técnicos como agricultores, esta metodología podría ser muy atractiva para todos, siendo de la forma de conseguir resultados más eficientes, tanto en el uso de abonos y fertilizantes, como en la lucha contra las plagas, reduciendo costes y mejorando la gestión de los recursos, y generando un nuevo nicho de mercado.
- La principal razón por la que se utiliza el método de riego por goteo es el ahorro del líquido vital que es el agua, este proceso como su nombre lo dice abastece de agua al cultivo gota a gota, lo que permite un ahorro exclusivo del agua, permitiendo como consecuencia ahorro económico y dando así ayuda al medio ambiente que tanto lo necesita.
- La granja La Pradera paga por el consumo de agua en sus cultivos 50/l/s/ha/año, con el sistema se tiene un 30% de ahorro, reduciendo a 35/l/s/ha/año mensualmente.

## **6. Conclusiones.**

Para conocer cuáles eran los principales parámetros a ser sensados en un cultivo de hortalizas dentro de un invernadero, se realizó una investigación de los principales agentes que se involucran en el crecimiento de una planta, la misma que permitió entender que dichos agentes repercuten de vital importancia en su evolución como ser vivo y la relación estrecha que existe entre uno y otro.

El invernadero ubicado en la parroquia de Chaltura tiene un área de extensión de 323m<sup>2</sup>, la comunicación entre los nodos sensores se realiza por medio de los módulos xbee de serie 2, con su nueva versión tipo c, teóricamente alcanzan rangos hasta 1200m en un área libre de obstrucciones como es el caso.

La comunicación entre los nodos sensores y el nodo central se hizo muy eficiente con las pruebas que se realizó del alcance de cada uno, al existir tanta cercanía entre todos los nodos y sin obstáculos que impidan su línea de vista se logra cubrir todo el espacio del invernadero a ser monitoreado.

La red de sensores está desarrollada con el fin de monitorear los agentes previamente identificados, para obtener un registro de datos y permitir que a futuro el agricultor o encargado del invernadero pueda tomar decisiones para mejorar la producción con respecto a la información recolectada.

El diseño de una red de sensores representa una de las tecnologías que destaca su uso en la agricultura de precisión, tomando en cuenta que para implementar soluciones de monitoreo en distintas zonas de cultivo, que no requieran infraestructura ya que se encuentran formadas principalmente de nodos inalámbricos y con fuentes autónomas de energía.

Ubidots como plataforma web ha sido de gran utilidad en el presente proyecto, al permitir almacenar datos e interpretarlos, gracias a esta herramienta el tiempo y el dinero será ahorrado al máximo.

En las primeras pruebas realizadas con los sensores ubicados en la proto, con respecto al sistema de control se observó que el cultivo puede vivir alrededor de 10 días sin riego en un ambiente con variables distintas a las que debe cumplir para su desarrollo, como consecuencia causo daño en su calidad del producto.

El riego por goteo ha permitido el ahorro de un 30% de agua alrededor de 30 litros se utiliza por cada vez que se necesite regar, de forma que se convierte en una de sus principales ventajas para su implementación ayudando así al impacto del calentamiento global optimizando recursos.

Luego de realizar un levantamiento de toda la información involucrada en el desarrollo del proyecto, investigar el funcionamiento de todos los dispositivos integrados en el sistema y realizar las pruebas de campo del prototipo desarrollado, se logró capturar datos sobre los parámetros ambientales como: humedad de suelo, humedad relativa,

temperatura ambiente, luminosidad y CO<sub>2</sub>; destacando además del buen desempeño de la red con respecto al consumo de energía que poseen paneles solares.

La agricultura de precisión está teniendo en la actualidad un impacto en la producción agrícola alrededor del mundo. Es claro que los principios de este concepto son los mismos para todos los cultivos pero la implementación depende del tipo de cultivo y país que lo realiza.

## Agradecimientos.

Se expresa un especial reconocimiento a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) de la Universidad Técnica del Norte, y a sus autoridades; por la apertura brindada para desarrollar este proyecto en sus instalaciones

## Referencias Bibliográficas.

- 1] [ J. Capella, Redes Inalámbricas de sensores: Una nueva arquitectura eficiente y robusta basada en jerarquía dinámica de grupos, Valencia: Universitat Politècnica de Valencia, 2011.
- 2] [ Integrantes del Grupo de Investigación EDMANS, REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES: TEORÍA Y APLICACIÓN PRÁCTICA, Logroño: Universidad de la Rioja, 2009.
- 3] [ D. Evans, «<https://www.cisco.com>,» Abril 2011. [En línea].
- 4] [ D. Gascón, «Libelium World,» Abril 2009. [En línea]. Available: <http://www.libelium.com/802-15-4-vs-zigbee/>.
- 5] [ N. Iglesias, «<http://inta.gob.ar/>,» 2009. [En línea]. Available: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_produccion-de-hortalizas-bajo-cubierta\\_2006.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_produccion-de-hortalizas-bajo-cubierta_2006.pdf).
- 6] [ P. Lorenzo, «publicacionescajamar,» Julio 2012. [En línea]. Available: <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/publicaciones-periodicas/cuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea/3/3-536.pdf>.
- 7] [ CENTA, «<http://www.centa.gob.sv/>,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Tomate.pdf>.
- 8] [ O. Rosas, J. Flores, M. Meléndez y R. Cabrera, «EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO BAJO

DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA A PARTIR DE LA APLICACIÓN DE QUEMAS PRESCRITAS,» *Scientia CUCBA*, p. 7, 2006.

- 9] [ R. F. Martínez, J. O. Meré, F. J. de Pisón Ascacibar, A. G. Marcos y F. A. Elías, Redes Inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica, Publicaciones Universidad de la Rioja, 2009.
- 10] [ micropik, 2013. [En línea]. Available: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>.
- 11] [ saber.patagoniatec, 2016. [En línea]. Available: <http://saber.patagoniatec.com/sensor-digital-de-luz-bh1750/>.
- 12] [ dreamgreenhouse, 2016. [En línea]. Available: <http://www.dreamgreenhouse.com/datasheets/MQ-135/index.php>.

## Sobre los Autores.



Jenny A. PALACIOS ECHEVERRÍA. Nació en Cotacachi el 20 de noviembre de 1991. Realizó sus estudios primarios en la Escuela “Sarance”. Los estudios secundarios los realizó en la Unidad Educativa “Sagrado Corazón de Jesús Hermanas Bethlemitas” donde finalizó en el año 2009, obteniendo el título de Bachiller en la Especialización Físico Matemático. Actualmente, está realizando su proceso de titulación en Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, Universidad Técnica del Norte – Ecuador.



Edgar A. MAYA OLALLA. Nació en Ibarra – Ecuador el 22 de abril del año 1980. Ingeniero en Sistemas Computacionales, Universidad Técnica del Norte – Ecuador en 2006. Actualmente es docente en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra – Ecuador, obtuvo la Maestría en Redes de Comunicación en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito – Ecuador







**NORTH TECHNICAL UNIVERSITY**

**FACULTY OF ENGINEERING IN APPLIED SCIENCE**

**ENGINEERING CAREERS IN ELECTRONICS AND NETWORKS**

**COMMUNICATION**

**SCIENTIFIC ARTICLE**

**THEME:**

**DESIGNING A SENSOR NETWORK (WSN) WITH TECHNOLOGY 802.15.4,  
BASED ON AGRICULTURE CONCEPT FOR PRECISION CONTROL AND  
MONITORING OF VEGETABLE CROPS UNDER GREENHOUSE IN THE  
PRAIRIE FARM TECHNICAL UNIVERSITY NORTH**

**AUTHOR: JENNY ALEXANDRA PALACIOS ECHEVERRÍA**

**DIRECTOR: MSC. EDGAR ALBERTO MAYA OLALLA**

**Ibarra-Ecuador**

**2017**

# Designing a Sensor Network (WSN) 802.15.4 technology, based on the concept Precision Agriculture Control and Monitoring vegetable crops in greenhouses In La Granja La Pradera Technical University Del Norte

*Authors - Jenny Alexandra PALACIOS ECHEVERRÍA, Ing Edgar Alberto MAYA OLALLA, MSc.*

Faculty of Engineering of Applied Science, Technical University of North 17th Avenue from July 5 to 21, and José María Córdova, Ibarra, Imbabura

[japalacios@utn.edu.ec](mailto:japalacios@utn.edu.ec), [eamaya@utn.edu.ec](mailto:eamaya@utn.edu.ec)

**Abstract.** *A greenhouse is a structure covered with glass or plastic, intended for horticulture, which has the ability to grow plants in climates not suitable for development. Today, automatic irrigation systems are used to save water and money, being mainly based on wireless sensor networks (WSN). These networks consist of a sensor node, a gateway, a base station and the wireless network.*

*Of particular technique in "La Pradera" farm from the North University has a greenhouse That Represents a significant added value for the agricultural engineering career, since it allows to put into practice theoretical concepts on the quality and development of crops. Prairie farm has not WSN nor an automated irrigation system, and THEREFORE the crops lack a proper environment for their development and growth, in Addition, the pre-existing system is expensive in terms of money and water resource both consumption.*

*In order to contribute to the improvement of the aforementioned conditions, this project -founded on concepts of precision agriculture Within WSN context- is aimed to optimize the monitoring of a drip irrigation system and the monitoring of environmental agents Involved in a crop vegetables in the Greenhouse of the farm "La Pradera". This is done to achieve a better use of the irrigation water and design a system for data storage of the parameters to be studied. As well, to carry out knowledge base to the prediction of these parameters is formed.*

## Keywords

Network, WSN, IEEE 802.15.4, Zigbee, sensors, cloud computing.

## 7. Introduction

In recent years, the farm La Pradera, owned by the Technical University of the North, located in the area of Chaltura Canton Antonio Ante, has been perceived a

concern about managing vegetable crops to achieve satisfactory yields. Existing agricultural plantations in the greenhouse live with no proper temperature control without the availability of irrigation water; not having a higher yield of each plot. Farm La Pradera exists, in order to provide an infrastructure study in agriculture students of Agricultural Engineering, can apply their knowledge in vegetable crops, vegetables and fruit plantations in greenhouses and outside them, thus giving a boost to growth as a career and institution of learning.

Currently the farm La Pradera, has crops of different species, which have brought under land use unable to predict the constant changes in light, environment, relative humidity, soil moisture and the amount CO<sub>2</sub> temperature, which are the main factors affecting crops and can lead to poor quality of production not suitable proportions. The process currently used for irrigation, is a manual and obsolete drip, which is performed empirically without methodology based on crop requirements.

Precision agriculture aims to improve the performance of plantations using modern technology based sensors, allowing to have a data storage and accessing them in ways that help the farmer to see the changes.

Having an appropriate methodology to control irrigation, monitor environmental agents involved in the process of plant growth, and have a record of information of plantations, you can meet the needs of crops, leading to maintain crop care techniques based on precision agriculture, which relies on the use of information technology to get the most out of every plantation. Holding in a based on a series of sensors, devices and the software application can details crop, directly impacting the quality of products and processes that are made solution.

## 8. Basic concepts.

### 8.1 Sensor Network (WSN).

Technology has created a network of sensors adapted to the possibility of supporting innovative ideas by storing relevant information transmitted from one device to another so you can view it flexible and easily.

A sensor network consists of a set of sensors (nodes) that have a common task to fulfill, with the help of wireless communication that allows to communicate with a central node. The devices comprise a sensor network are designed to control various characteristics of the environment in which they will work, such as humidity, temperature, movement.[1]

#### Elements of a Sensor Network

In Figure 1, a sensor network that is constituted of four elements is observed:

- Sensor nodes.
- Gateway.
- Base Station.
- Wireless network.

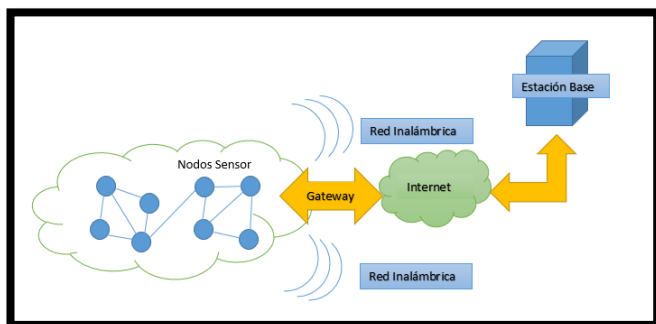


Figure 2. Architecture of a sensor network.

#### Sensor node

The sensor node is one of the main parts of a WSN. The hardware of a sensor node generally includes four parts, each of the elements defined below: The power management and power module, a sensor, a microcontroller and a wireless transceiver. The power module provides reliable energy required for the system. The sensor is the link of a WSN node can obtain the state of the environment and equipment. A sensor is responsible for the collection and processing signals, such as light, vibration and chemical signals into electrical signals, and then they are transferred to the microcontroller. The microcontroller receives data from the sensor and, consequently, processes. The wireless transceiver (RF Module) transfers data, so that the performance of communication can be achieved. It is important that the

design of all parts of a WSN node must take into account the characteristics of WSN nodes of small size and limited power.[2]

#### Gateway

It is a team that can interconnect networks with completely different architectures and protocols at all levels of communication. The translation of information units greatly reduces the transmission rate through these devices.

#### Base station

Data collector based on a common computer where all the information goes to a team that is stored in a database, where users access remotely and observe the sharing of data.[2]

#### Wireless network

Communication is achieved by using a wireless device that receives and sends data via radio to communicate with other devices that are within the set range. The sensors use the ISM band which are unlicensed and respect rules, using frequencies from 433MHz to 2.4GHz.

### 8.2 Topology

A topology is a schematic overview of the layout of a network, including the nodes and connecting lines. There are two ways to define the geometry of the network: The physical topology and logical topology. The physical topology of a network is the actual geometric arrangement of workstations. There are several common physical topologies, such as: Bus, star, tinsel, tree, among others. [2]

#### Star topology type.

In this configuration, each node is connected to a core network device, such as a hub, switch or computer. The core network device acts as a server and peripheral devices act as clients as shown in Figure 2.

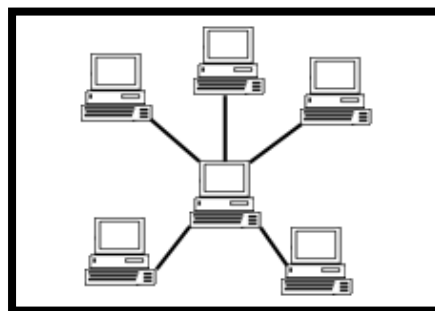


Figure 2. Star topology type.

Wire mesh topology.

Figure 3 is a network configuration in which each computer and the network is interconnected with others, allowing for most transmissions are distributed, even if one of the connections is out of service.

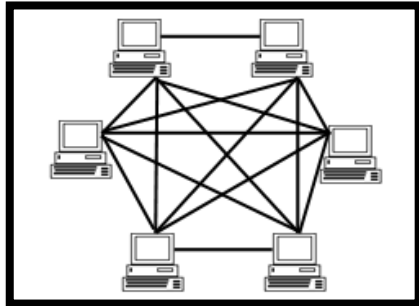


Figure 3. Mesh topology type.

**Hybrid topology Star - Mesh.**

This type of topology shown in Figure 4, combines the qualities of the above two topologies, simplicity and low consumption of a star topology and the ability to cover a large area and organize failures mesh topology.



Figure 4. Hybrid star topology - Malala.

**8.3 Internet of Things.**

Internet of Things (IoT), sometimes referred to as the Internet of Things will change everything, including the same world. It should take into account the impact of the Internet has had on education, communication, business, science, government, and humanity. Clearly, the Internet is one of the most important and powerful creations throughout human history.

It considers that the IoT represents the next evolution of the Internet, taking a big leap in its ability to collect, analyze and distribute data that can be converted into information, knowledge, and consequently in wisdom. [3]

**8.4 IEEE 802.15.4.**

This standard defines a communication layer at level 2 of the OSI (Open System Interconnection). Its main objective is to allow communication between two devices. It

was created by the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), an entity that the main task is to establish standards for technological advances can have a common platform standards established by the policy. [4] In Table 1 the main characteristics of the standard is detailed.

CHARACTERISTICS	DETAILS
Range data transmission	868 MHz: 20kb / s; 915 MHz: 40kb / s; 2.4 GHz: 250 kb / s.
Coverage	10-20m
Delay time	Less than 15ms
Working channels	868/915 MHz: 11 channels. 2.4 GHz: 16 channels.
Working frequencies	Two PHY: 868/915 MHz and 2.4 GHz.
Access channel	CSMA-CA

Table 1. IEEE 802.15.4.

**8.5 Precision farming.**

Precision agriculture is based on the spatial and temporal variation in recognition of crop production. The variation is explained in plantation management in order to increase productivity and reduce environmental risks.

In a study of precision agriculture in developed countries, it highlights the following advantages to farmers:

- Improved efficiency: advanced technologies, including machinery, tools and information, helps farmers to increase the efficiency of labor, land and time in agriculture.
- Reducing production costs: the application of exact amounts at the right time reduces the cost of agrochemical inputs in crop production.
- Better decision-making in agricultural management: agricultural machinery, equipment and tools to help farmers to obtain accurate information, which is processed and analyzed for making appropriate decisions.

**Study parameters.**

**Soil Moisture**

It is called soil moisture to the amount of water per volume of land there on land. Its exact measurement is performed gravimetrically, by weighing a soil sample before and after drying. This is very important because water is a determining factor in the formation, conservation, fertility and productivity thereof, as well

as germination, growth and development of cultivated plants.

### **RH**

The relative humidity is unique for each crop, is the amount of water contained in the air is related to the moisture in the soil and at room temperature, being the latter inversely, this means that if the temperature increases the relative humidity decreases, does not possess a vital right amount of moisture in plants low photosynthesis occurs.

The average humidity in a greenhouse for growing vegetables is from 55% to 70%. [5]

### **Room temperature**

The temperature in plants directly influences the process of photosynthesis, growth and development of the same; so that is the most important climate control within a greenhouse setting.

The ideal vegetable vital process temperature inside the greenhouse is in the range of 15 ° C to 25 ° C.[5]

### **Amount of CO<sub>2</sub>**

The amount of CO<sub>2</sub> present in the plant tissue through the process of photosynthesis, its optimal concentration for this process there is 800 to 1000 ppm.[6]

Carbon dioxide from the atmosphere is the raw material that can not fail in the function of producing chlorophyll in plants. Within this greenhouse gas levels they are varied since it has a close relationship with the light, ventilation, temperature and humidity; this will depend on the type of crop to be performed.

### **Brightness**

Solar radiation is the main source of energy for growth and development of crops, having a great influence on the production and reproduction of plantations. In a greenhouse when the amount of light increases, the temperature increase is achieved, the relative humidity and the amount of CO<sub>2</sub>, having an optimum photosynthesis process.

The average level of light they need to survive vegetable crops inside a greenhouse is between 10,000 to 40,000 lux. [5]

## **8.6 Tomato Crop Kidney**

The characteristics of a tomato crop kidney is shown below:

- Family: Solanaceae
- Species: *Lycopersicon esculentum* Mill
- Root: Generally surface extends over a diameter of 1.5 m and reaches more than 0.5

m; however, 70% of the roots are located within 0.20 m from the surface.[7]

- Main stem: Veils stems are slightly angular, semi-ligneous, medium thickness and trichomes (pili), simple and glandular. Axis with a thickness ranging from 2 to 4 cm at the base, on which are developed leaves, stems and inflorescences side. In the distal part is the apical meristem, where new leaf and flower primordia are initiated. [7]
- Leaves: The leaves are composed and imparipinnadas with peciolados leaflets lobed and jagged edge, in number of 7 to 9 and coated glandular hairs. The leaves are arranged alternately on the stem. [7]
- Flower: The flower is perfect tomato. Contains 5 or more sepals, petals of equal number of yellow arranged helically and equal number of stamens alternating with petals. The stamens are welded by the anthers and form a staminal cone surrounding the ovary and prevent cross pollination. The ovary is bi or plurilocular. The flowers are grouped in inflorescences commonly referred to as "clusters". The first flower is formed at the meristem and the other are arranged laterally below the first, about the main axis. Inflorescences every 2-3 leaves develop in the axils.[7]
- Fruit: berry bi or plurilocular that can reach a weight ranging from a few milligrams and 600 grams. It consists of the pericarp, the placental tissue and seeds. [7]

## **8.7 Irrigation**

Irrigation is the process water which was mainland through artificial means such as pipes, hoses or trenches.

### **Types of Irrigation**

- Surface irrigation: surface irrigation, water moves over and through the earth by gravity to wet and infiltrate the ground. Surface irrigation can be divided into furrow irrigation or watershed
- Sprinkler irrigation: sprinkler irrigation is another popular method, the pipes fixed water dispersed fields directly on crops with high pressure sprinklers amount. The amount of water can be tightly controlled, which is a great benefit.
- Drip irrigation: Drip irrigation, works as its name suggests. Water is supplied near the root zone of plants dropwise. This method may be more efficient with respect to the care of water, if properly managed, since evaporation is minimized. In modern agriculture, drip irrigation is often combined with plastic mulch also reducing

evaporation, and is also a means of fertilizer supply.

## 9. Hardware and Software design.

### 9.1 Greenhouse current situation.

Work area, in this case a greenhouse, is located in Canton Antonio Ante, in the parish San José de Chaltura right on the premises of the farm "La Pradera". For the demonstration of this work, taking into account a greenhouse farm located within close proximity to the offices, which has an area of 323 m<sup>2</sup>, dedicated exclusively to growing vegetables, as found in Figure 5.



Figure 5. Greenhouse dimensions.

### 9.2 Requirements for the design of WSN.

In order to meet the expectations of greenhouse production and obtain a feasible solution looking for a design of the sensor network that suits the characteristics of the workplace. With the design will proceed to collect data from the various agents previously defined by the sensor nodes capable of monitoring, process and communicate wirelessly to a central node.

Designing a WSN requires features that must be met to achieve the goal of implementing it, taking into account the following:

- Each of the sensor nodes is capable of measuring the 5 variables already defined.
- Each sensor node has a wireless coverage 100sqm.
- There is a communication between all sensor nodes and central node
- The data must be in real time, be stored and easily interpreted.
- It is easy to install.
- The system easy to use, inexpensive, and completely autonomous.

### 9.3 System Overview

The system consists of a central node and multiple remote nodes, the central node is represented as a gateway between the sensor network and the central station which can be a PC, a LAN or the Internet. The central node has the function of storing all the information collected by each of the sensor nodes and the greenhouse manager take that information and interpret it so you can make treatment decisions cultivation. Sensor nodes collect variables coming crop, later sent to the central node through the help of the Zigbee communication.

Sensor nodes consist of a data acquisition unit with sensors, a processing unit and sending data. Your job is to acquire the variables and enviarlas0 to the base station.

The base station is an interface between the LAN and wireless communication and functions to receive information taken from each sensor node.

One of the main requirements for the design of the system is that all sensor nodes are communicating with each other, ie there is redundancy communication topology chosen to fulfill this feature is mesh-like, its main objective is that all devices are communicated allowing communication is never interrupted by all existing connections.

One of the objectives of this design having a controlled irrigation system, which allows sufficient water, with the required amount of moisture to allow optimal plant growth and water saving.

### 9.4 Architecture

The system architecture is divided into three main stages:

- WSN: Step topology type comprising mesh, the sensor nodes, the central node and the data transmission IEEE 802.15.4.
- Control system: It is controlled irrigation system.
- Cloud Computing: Includes the Gateway and PAAS platform.

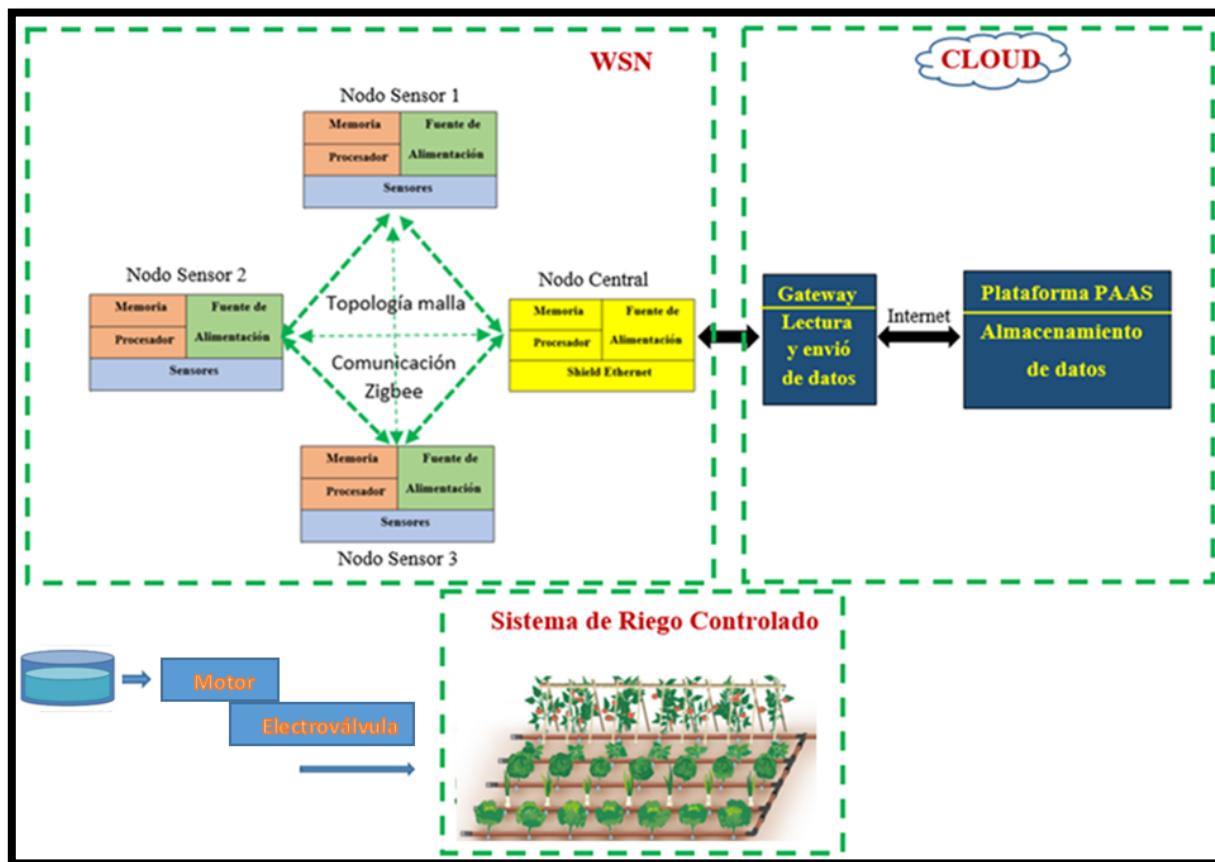


Figure 6. System Architecture Monitoring and Control.

## 9.5 System hardware.

According to the specifications and requirements of the greenhouse system hardware consists of three sensor nodes, which will allow measuring and information of the main parameters of precision agriculture, such as soil moisture, ambient temperature, humidity relative brightness and the amount of CO<sub>2</sub> in the area where the crop is; a central node or Gateway, is responsible for collecting information wirelessly sent from the sensor nodes via Ethernet, the data collected to the PaaS platform and control irrigation via a solenoid valve.

### Choosing Components

#### Arduino UNO



Figure 7. Arduino UNO.

PARAMETER	TECHNICAL CONDITION
microcontrollers	ATmega328
Operating voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input voltage (limit)	6-20V
Pin digital input and output	14 (of which 6 provide PWM)
Analog input pins	6
Input pins and output DC	40 mA
Pin 3.3V to DC	50 mA
Flash memory	32K (Atmega328) of which 0.5 KB used by the bootloader
SRAM	2KB (Atmega328)
EEPROM	1KB (Atmega328)
Clock Speed	16 MHz

Table2. Features Arduino UNO.

#### Arduino MINI - PRO

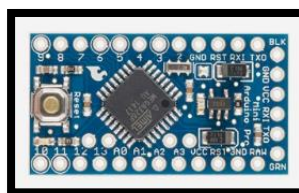


Figure 8. Arduino Mini - PRO.



For the development of each of the sensor nodes will use electronic board based on the ATmega 328 Arduino Mini Pro, which has 14-pin digital inputs and outputs, 6 analog inputs and a reset button.

Arduino Mini Pro does not have pre-installed sockets, allowing the use of some types of connectors, has 6 pins on the side of the plate to be connected to a FTDI USB cable and power supply and communication.

#### *Arduino Ethernet Shield*



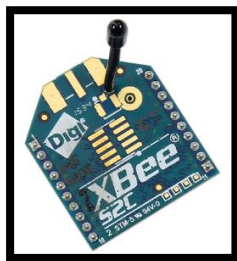
**Figure 9.** Arduino Ethernet Shield.

The Arduino Ethernet shield is formed by Wiznet W5100 chip as shown in Figure 9, being very useful able to connect to the IP network. Its infrastructure can connect to the Arduino and Arduino UNO Megas without using extra devices, it provides four connections simultaneously.

Arduino Ethernet Shield has an RJ45 Ethernet, a card reader Micro SD, a reset button and indicator LEDs connector whose information is detailed below:

- PWR: it indicates that the board and shield are powered.
- LINK: indicates the presence of a network link and flashes when the shield sends or receives data.
- FULLD indicates that the network connection is full duplex.
- 100M: indicates the presence of a network connection 100 Mb / s (as opposed to a 10Mb / s).
- RX: flashes when the shield receives data.
- TX: flashes when the shield sends data.

#### *S2C XBee Module*



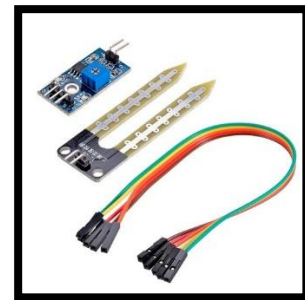
**Figure 10.** S2C XBee module.

XBee S2C radio frequency modules used for wireless communication of each node as shown in Figure 18, support multipoint and mesh topologies, in addition to including the series 1 together at frequencies of 2.4GHz and 900MHz. Digi International manufacturer complies

with the IEEE 802.15.4 standard, increasing its power over the series 1 with a wire antenna with a range of 60 meters indoors and 1200 meters outdoors in line of sight.

XBee modules Series 1 and Series 2 have like pin-out, but can not communicate with each other. 2c series improvement in power output protocol and data, enabling reliable and simple communication networks including supporting point to point and multi-point. For proper configuration you must load the appropriate firmware and make optimal use of its operation.

#### *Soil Moisture Sensor YL-69 - YL-38*



**Figure 11.** Sensor Soil Moisture Probe YL-38 YL-69

The set YL-69 YL-38 is responsible for reading recent soil moisture, very suitable for work inside a greenhouse.

The sensor YL-38 works with a LM393 comparator module, its function is to identify the resistance level to acquire the amount of moisture, soil containing more water is a much better conductor of electricity; which features a potentiometer for adjusting the threshold of the digital output, also has two pins for VCC (5v 3.3v), and an analog output GND. To achieve current through the soil the sensor probes YL-69 is used, as shown in Figure 11.

#### *Sensor Ambient Temperature and Relative Humidity DHT11*



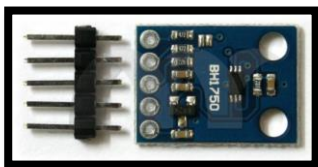
**Figure 12.** Sensor Ambient Temperature and Relative Humidity DHT11

Figure 12 shows the DHT11 sensor comprises a temperature and humidity sensor having a calibrated digital signal output, the complex technology allows the signal obtained is unique and ensures high reliability and long term stability. This sensor includes a humidity measuring resistive offering high quality and give a quick response with little interference.

There is also a very basic chip within performs analog to digital conversion and results in a digital signal with

temperature and humidity. The digital signal is quite easy to read using any microcontroller.

*Light sensor BH1750*



**Figure 13.** Light sensor bh1750

The BH1750FVI chip is based on a digital sensor module that measures the brightness as shown in Figure 13, it has an analog-digital converter 16 bits, giving a value in lux without the need to convert voltage to obtain data better structured, thereby improving the function based on a LDR light sensor. The digital output response is interpreted using the I2C bus with the ability to select 2 Address. The sensor ideal for measuring the flow of light per square meter of an environment.

*Sensor Measuring Carbon Dioxide (CO2) MQ-135*



**Figure 14.** CO2 Sensor MQ-135

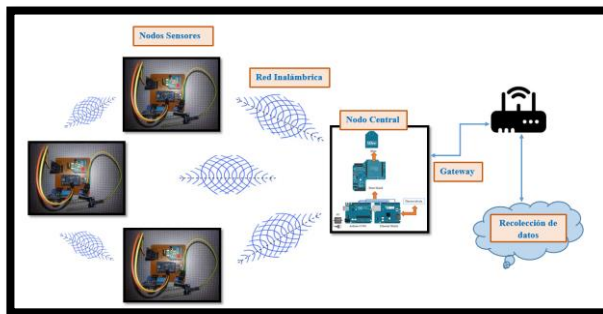
The MQ-135 sensor allows the control of air quality, suitable for detection of dangerous gases as NH3, NOx, alcohol, benzene, smoke, CO2, etc. This sensor does not provide absolute values, but simply provides a varied output should be monitored and compared with threshold values.

The resistance value of MQ-135 is different for various types and concentrations of gases. Therefore, when the adjustment of the components used, the sensitivity is necessary.

Has two pins for VCC (2.5V to 5V), GND, a pin to an analog output and a digital output for pin; total four pins, as shown in Figure 14.

**9.6 Design of Wireless Sensor Network.**

The network WSN is constructed basically of three sensor nodes and a central or Gateway node acting as a means for communicating the sensor modules and the base station, allowing the data extracted by the nodes are transmitted to the cloud using PaaS platform, as detailed in Figure 15.



**Figure 15.** WSN design, detailing each of the elements is formed.

The purpose of controlled irrigation system, having an estimated suitable for giving the water supply need greenhouse magnitudes range.

In the system soil moisture, ambient temperature, relative humidity, light and amount of CO2, which are part of the most salient parameters found in the concept of precision agriculture is measured, giving the facility for students farm with a data record using an interface to a stage located in the cloud.

The primary variable for performing control of irrigation, the humidity of soil and then the sensing process is transmitted to the master node and response gives a sign to activate the system.

Other parameters to be analyzed have to feature a response behavior of the crop that will serve as helps students and teachers who are working in the farm and his career, giving information from all variables, storing them in a database.

As part warning that the greenhouse needs water supply and give the activation response to the irrigation system, an email to the manager of the greenhouse and alert the lack of vital fluid in the plantation is sent, and that staff can be informed event.

**9.7 Design Software**

Programming Arduino boards used in this project is based on the C language, owning Arduino IDE. Data collection and sent to the central node is performed via the Arduino Mini Pro, and storing them in the central node using the Arduino UNO, adapting to a Shield Ethernet for dispatch to internet cloud storage.

*Display*

To achieve the monitoring by the responsible persons or greenhouse, Ubidots will be the platform to help this present work, as a first step you must create an account by entering their official website <https://ubidots.com>. Giving a click SIGN UP as shown in Figure 16.



Figure 16. Screenshot of Ubidots home page.

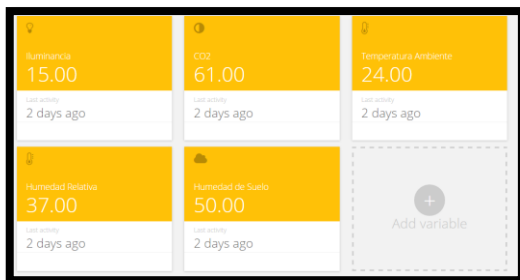


Figure 17. Screenshot of the display data.

## 10. Implementation and testing.

### 10.1 Greenhouse test Farm Meadow

The greenhouse is located on the farm La Pradera located in the rural parish of Chaltura, it has an area of 323 square cultivated tomato.

As investigated in the theoretical foundation must meet optimum values growing vegetables under greenhouse these being the following:

- Relative Humidity: 55% to 70%
- Ambient temperature: 15° C to 25 ° C
- Amount of CO<sub>2</sub>: 800ppm to 1000ppm
- Luminosity: 10000-40000 lx
- Soil Moisture: 0-30 dry, wet 31 to 70, 71 to 100 water.

#### Reading sensing

Properly calibrated sensors collect data for each parameter to monitor, modules XBee enables communication with the central node, which is responsible for up to the platform ubidots and store the acquired information, the figures placed below the data observed of monitored measures including date and time.

2017-01-14 12:11:38 -0200	60
2017-01-14 12:11:28 -0200	14
2017-01-14 12:15:18 -0200	18
2017-01-14 12:15:40 -0200	55
DATE	VALUE

Figure 18. Variable illuminance data

### 10.2 Installing the Sensor Network.

The three sensor modules were placed each in strategic parts to achieve cover the entire land area, the nodes have been covered by cases made resistant acrylic, overlaid on bases made of wood are 2 meters above the ground as observed in simulation to achieve better data reception and avoid direct contact with the ground; besides each tomato plant reached the height of 1m 70cm, height will be appropriate to collect data.

- Location Node Sensor 1: In Figure 19 a compilation of different some of the case that holds the elements of node 1, as well as food that is a lithium battery and its respective solar panel to charge observed when finished the duration; including the photo of the base holding the node.



Figure 19. Node Installation Sensor 1

Other sensor nodes nstalaron similar to the sensor node 1, in their intended locations.

- The central module was located in the residence for students where the telecommunications room is with a case of protection which have holes for the input power adapter and Ethernet cable to connect the wireless router which provides the internet to the farm.

The module is very close to the rack where the router which provides the internet to the farm is. Administrator's computer allows you to

observe the monitoring data collected from the sensor nodes which is housed in the cloud through the help of Ubidots platform.



Figure 20. Installation Node Central

### 10.3 Preinstallation Drip Irrigation in different environments testing.

To assess the objective of optimizing the use of irrigation in growing vegetables, pre-installation project in different environments in order to obtain different behaviors of plants and draw conclusions tests were performed.

#### Application of irrigation water using hose

The first test distribution irrigation was given with the use of a hose for 5 minutes was achieved a base of 4 liters in the number of plants in a groove. Achieving visually achieve that the crop receives adequate moisture. Figure 21 and 22 shows the hose and the base in liters.



Figure 21. Hose for irrigation distribution.



Figure 22. Water-based liters

The first furrow where water was supplied with the help of a hose, its location was very accessible to the sight of sunlight, temperatures reached 30 degrees Celsius on a

schedule 10am. Not being suitable cultivation temperature not formed cabbage, taking a look nothing like normal as shown in Figure 23.



Figure 23. Deforming the shape of the plant

- In the first furrow water distribution it was made with the help of a hose, and at times 10am, 4pm and 7pm the day, achieving obtain different types of data about each of the monitored agents. With respect to temperature was obtained in the first time ranges up to 30 degrees Centigrade, with the relative humidity 24%, the light was at 18,000 lx, 200ppm CO<sub>2</sub> and soil moisture was within the optimum percentage. Over the afternoon it was observed that temperature, light, CO<sub>2</sub> down ranges and relative humidity up, consequently giving the soil moisture is higher and higher. Thus achieving recover all moisture loss by sunlight be retrieved at night helping of changes in other parameters.

#### Denial of water

The second application rate of water to the crop was denying the vital liquid 7 days to observe the behavior. Plants stopped developing foliage in the so-called falling water stress, resulting in consequences root rots the drying, the leaves lose natural color, etc. as shown in Figure 24.

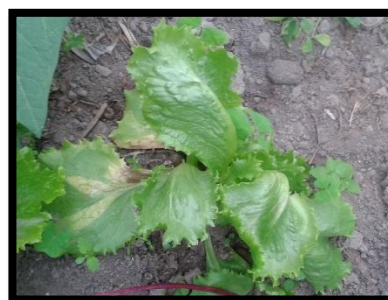


Figure 24. Consequences of lack of water

- In the groove that no water was given for 7 days, I had a particular case that the amount of light was very low as it was in a difficult place to reach, that managed support said days without water having a range of soil moisture

within the range of optimum moisture, its temperature was maintained between 22 degrees centigrade during the day and night was lower its relative humidity was very high and its quantity similar to the other grooves CO<sub>2</sub>.

#### Application of water with drip irrigation system

With manual operation of drip irrigation system, was performed likewise the visual method, we determined that three liters was consumed for 15 minutes. A liter a previous consumer was using the hose was reduced.

With this application method improvement was achieved in crop production but not as expected, their waiting time was very slow growth and smaller.



Figure 25. Use drip irrigation

- The groove was distributed by dropping its temperature is captured at 26 degrees Celsius when in the hours of 10am, but the amount of light that could capture was much lower than the irrigation hose arrived at 3000 lx, I default relative humidity was much higher reaching 30%, the amount of CO<sub>2</sub> reached 600ppm and soil moisture was much like the first furrow. Night temperature data and 19°C was captured, having an amount of light totally void, a relative humidity of 55% and result in soil moisture as having been supplied at the time of the vital liquid.

#### Application of water to the proposed project

The method by applying the entire project control and monitoring in the lettuce crop later do in the greenhouse tomatoes using the WSN network.

Water use by applying to growing lettuce 3 liters for 15 minutes to ensure that the soil cover is moist was checked.

Similarly in the case of the automatic system not activated because excessive moisture is recorded preventing the electrovalve starts operating. The system is activated when the moisture exceeds the optimum range for culturing with previous alerts.

In Figure 26, seen as an adequate supply of liquid without exist wasted vital plant has a normal foliage, the cabbage is forming normally, its color is bright green.



Figure 26. Lettuce with the correct supply

In Granja La Pradera testing was performed with the tomato crop and noted that his behavior was like the other crops already carried out, the liquid application was for an hour to get 20 centimeters that forms the root be wet with a total of 30 liters.

The system enables compliance with the optimization of water resources, improving utilization and economizing production, obtaining quality fruit with optimum weight and flowers fulfill its characteristics described in the foundation.



Figure 27. Fruit crop

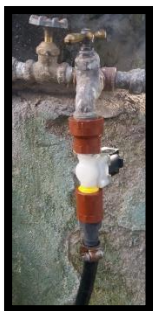
## 10.4 Installing Drip Irrigation

### Installation materials

- Water supply.
- A pressure regulator: It is very useful to connect it to the tap output to decrease the pressure that leaves the tap water (the pressure needed dripper is less well protected installation).
- Distribution network: Pipes integrated drippers or set of tubes without drippers which will make holes where necessary.
- Auxiliary parts such as keys, elbows for connecting the tubes in curve or angle etc.

**Installation**

The pressure regulator of water as described allows reducing the pressure for supplying water to the drip irrigation method, it lies in tap or water intake as shown in Figure 28.



**Figure 28.** With solenoid valve

The distribution network is done with PVC hose through which water is directed to each of tomato plants, the use of elbows for curves is as shown in Figure 29.

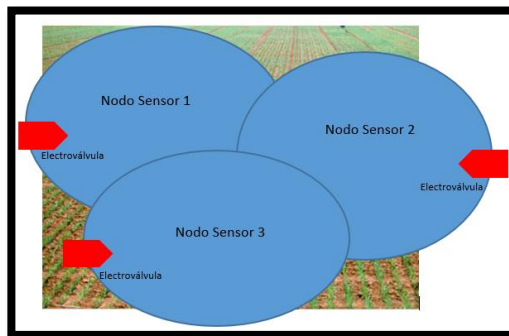


**Figure 29.** Water distribution network



**Figure 30.** Irrigation water hoses

The location of each valve was in each sector are located sensor nodes as shown in Figure 31.



**Figure 31.** Location of each valve in the area of each sensor node.

**11. Cost benefit analysis**

The cost - benefit analysis is a technique used to compare the total costs of a project about the benefit that may have, in order to obtain the best approach and take advantage of business opportunities.

This project is developed in consideration of expenses involved with the implementation of the prototype, including the costs of placement in the entire area previously studied being the farm La Pradera, therefore proceeds to detail the benefits to be obtained to justify if the project feasible.

<b>Equipment costs</b>	<b>705</b>
<b>Infrastructure costs</b>	125
<b>Engineering costs</b>	850
<b>Software costs</b>	0
<b>Maintenance costs</b>	fifty
<b>TOTAL \$</b>	1730

**Table3.** Cost Summary

**Benefits**

Then the benefits to implement the design of a control system and monitoring a vegetable cultivation in a greenhouse are detailed.

- This project was the implementation of a network of sensors in a vegetable cultivation in the case tomato kidney, it is based on the concept of precision agriculture allowing deploy wireless to monitor parameters previously described networks influencing the crop quality without investing mostly in infrastructure.
- The use of this design allows the farmer or person in charge of crops improve decision making based on numerical data of various parameters has been taken into account.

- This kind of research gets improve the efficiency of planting, it is also possible to calculate performance.
- If farmers see results and prices that can be both technical and farmers satisfied are achieved, this methodology could be very attractive to all, being how to achieve more efficient results both in the use of fertilizers, as in pest control, reducing costs and improving resource management, and creating a new market niche.
- The main reason why the method of drip irrigation is used is saving the vital fluid is water, this process as its name says it supplies water to the cultivation drop by drop, allowing a unique water saving, consequently allowing economic savings and giving helps the environment that need it.
- Farm La Pradera pay for water consumption on their crops 50 / 1 / s / ha / year, the system has a 30% savings, reducing to 35 / 1 / s / ha / yr monthly.

## 12. Conclusions.

To learn what the main parameters to be sensed in a crop of vegetables inside a greenhouse, an investigation of the main agents involved in plant growth was performed, the same that allowed understood that these agents affect vital in its evolution as a living and close relationship between the two.

The greenhouse located in Parish Chaltura has an extension area 323m<sup>2</sup>, communication between the sensor nodes is by means of xbee series modules 2 with its version type c theoretically reach ranges up to 1200m in a free area obstructions such as.

Communication between the sensor nodes and the central node was very efficient with the tests conducted the reach of everyone, as there is so much closeness between all nodes without obstacles to its line of sight it is able to cover the entire space of gases to be monitored.

The sensor network is developed in order to monitor the previously identified agents to obtain a data record and allow for future greenhouse farmer or manager can make decisions to improve production with respect to the information collected.

The design of a sensor network is one of the technologies that highlights its use in precision agriculture, taking into account that to implement monitoring solutions in different growing areas, existing infrastructure and which are formed mainly from wireless nodes and autonomous energy sources.

Ubidots as web platform has been very useful in this project by allowing store data and interpret them, thanks to this tool time and money you will be saved to the fullest.

In the first tests with sensors located in the proto, with respect to the control system it was observed that the crop can live about 10 days without irrigation in an environment

with different variables that must meet for its development, therefore it caused damage to its product quality.

Drip irrigation has allowed saving 30% water about 30 liters is used whenever you need water, so that it becomes one of its main advantages for implementation thus helping the impact of global warming optimizing means.

After conducting a survey of all information involved in the project, investigate the operation of all integrated in your system and perform field tests of the prototype developed, it was possible to capture data on environmental parameters such as soil moisture, relative humidity, ambient, temperature light and CO<sub>2</sub>; Further emphasizing the good performance of the network with respect to energy consumption that have solar panels.

Precision agriculture is currently having an impact on agricultural production around the world. It is clear that the principles of this concept are the same for all crops but the implementation depends on the type of crop and country performs it.

## Thanks.

Special recognition to the Faculty of Agricultural Engineering and Environmental Sciences (FICAYA) of the Technical University of the North, and authorities expressed; the opening provided to develop this project in its facilities

## Bibliographic references.

- [1] J. Capella, wireless sensor networks: A new efficient and robust architecture based on dynamic hierarchy of groups, Valencia Polytechnic University of Valencia, 2011.
- [2] Members of the Research Group Edmans, WSNs: THEORY AND PRACTICAL, Logroño University of La Rioja, 2009.
- [3] D. Evans, "https://www.cisco.com,» April 2011. [Online].
- [4] D. Gascón, "Libelium World," April 2009. [Online]. Available: <http://www.libelium.com/802-15-4-vs-zigbee/>.
- [5] N. Iglesias, "http://inta.gob.ar/," 2009. [Online]. Available: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_produccion-de-hortalizas-bajo-cubierta\\_2006.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_produccion-de-hortalizas-bajo-cubierta_2006.pdf).

- [6] P. Lorenzo, "publicacionescajamar," July 2012. [Online]. Available: <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/publicaciones-periodicas/cuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea/3/3-536.pdf>.
- [7] CENTA, "http://www.centa.gob.sv/," 2011. [Online]. Available: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Tomate.pdf>.
- [8] O. Rosas, J. Flores, M. Meléndez and R. Cabrera, "Evaluation of fire behavior under different environmental conditions IN CHIHUAHUA STATE FROM THE APPLICATION OF PRESCRIBED BURNING," Scientia CUCBA, p. 7 2006.
- [9] RF Martinez, JO Meré, FJ Rammer Ascacibar, AG and FA Marcos Elias, wireless sensor networks: theory and practical application, Universidad de la Rioja Publications, 2009.
- [10] micropik, 2013. [Online]. Available: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>.
- [ele ven] saber.patagoniatec, 2016. [Online]. Available: <http://saber.patagoniatec.com/sensor-digital-de-luz-bh1750/>.
- [12] dreamgreenhouse, 2016. [Online]. Available: <http://www.dreamgreenhouse.com/datasheets/MQ-135/index.php>.

## About the Authors.



Jenny A. PALACIOS ECHEVERRÍA. He born in Cotacachi on 20 November 1991. He completed his primary studies in the "Sarance" School. Secondary studies at the Educational Unit "Sacred Heart of Jesus Sisters Bethlemitas" where he finished in 2009, obtaining the Bachelor of Physical Mathematical Specialization. Currently, he is conducting its process engineering degree in Electronics and Communication Networks, Northern Technical University - Ecuador.



Edgar A. MAYA OLALLA. He was born in Ibarra - Ecuador on April 22, 1980. Computer Systems Engineer, Technical University North - Ecuador in 2006. He currently teaches at the Engineering in Electronics and Communication Networks at the Technical University of the North, Ibarra - Ecuador, won the Masters in Communication Networks at the Pontificia Universidad Catolica del Ecuador, Quito - Ecuador.