

Red WSN para el Control y Monitoreo de un Sistema de Riego por Goteo de una Plantación de Fresas en la Granja Experimental Yuyucocha – UTN

Edgar A. Maya, Jhomaira L. Burbano

Resumen—El presente proyecto consiste en la implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN), para optimizar el control y monitoreo del sistema de riego por goteo del cultivo de fresas bajo invernadero de la granja experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte, con el objeto de lograr un mejor aprovechamiento del agua de riego utilizada en este sitio específico.

Se brinda la posibilidad de utilizar una nueva tecnología en el área agrícola para optimizar el uso de un recurso no renovable, como el agua, mediante una interfaz amigable con el usuario, de fácil manejo, logrando así fusionar dos áreas que aparentemente no tienen relación.

Términos Indexados— Red, WSN, ZigBee, inalámbrica, sensores.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad a nivel mundial se registra una preocupación sobre la relativa escasez de los recursos hídricos, debido a que existe una mayor demanda y los desabastecimientos de agua se han vuelto más frecuentes. La sociedad está muy consciente sobre este hecho y de la aplicación de nuevas políticas y alternativas para preservarlo. El uso de la tecnología garantiza que pueda existir agua para el consumo y uso de todos, siendo el agua fuente de vida que proporciona alimentos, prosperidad y riqueza. Por tal motivo, es imprescindible el uso de la tecnología para obtener una agricultura de calidad, pero sin perder de vista el principal objetivo que es el de producir más alimentos con menos agua y preservando el medio ambiente.

Documento recibido el 07 de abril de 2014. Esta investigación se realizó como proyecto previo para obtener el título profesional en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte.

E.A. Maya, trabaja en la Universidad Técnica del Norte, en la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, Av. 17 de Julio sector

El Olivo, Ibarra-Ecuador (teléfono: 5936-2955-413; e-mail: eamaya@utn.edu.ec).

J.L. Burbano, egresada de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Redes de Comunicación (teléfono: 5936-2610-424; e-mail: jhobg35@hotmail.com).

En los últimos años las tecnologías de redes inalámbricas han presentado un acelerado desarrollo, facilitando la implementación de redes sensoriales inalámbricas (WSN) debido a sus costos accesibles, mantenimiento económico, y bajo consumo de potencia; es por ello, que este tipo de redes se las puede aplicar en el control de procesos industriales, seguridad en centros comerciales, zonas propensas a desastres naturales, control de pacientes en hospitales e incluso en campos de cultivo.

Un riego sostenible es posible si se tiene la información necesaria en tiempo real de factores como la humedad y temperatura del suelo, y si a esto se le agrega un sistema individualizado de irrigación como el de goteo, cada una de las plantas, puede recibir de manera inmediata solo la cantidad de agua necesaria, en consecuencia se reduce el desperdicio del líquido vital y se mejora la calidad del cultivo. Las WSN pueden ayudar a obtener todo lo planteado ya que pueden controlar de forma inalámbrica los distintos elementos actuadores del sistema de riego, sin la necesidad de tener una infraestructura cableada compleja.

II. CONCEPTOS BÁSICOS

A. Red WSN

Una red de sensores inalámbrica (WSN) es una red inalámbrica que consta de dispositivos autónomos distribuidos espacialmente utilizando sensores para supervisar conjuntamente elementos físicos o condiciones ambientales. [1]

B. Componentes

Los componentes de una red WSN típica son: sensores, nodos, gateway, estación base y red inalámbrica.

Nodo sensor

Un nodo sensor o mota, es un elemento computacional con la capacidad de procesamiento, memoria e interfaz de comunicación que puede formar un conjunto o red de sensores. [2]

Gateway

Es un elemento empleado para la interconexión entre la red de sensores y una red cableada y una estación base, permite

traducir los datos a un formato comprensible para la aplicación desarrollada, informa sobre problemas que puedan generarse en la red de sensores, gestiona hacia la WSN para cambiar la configuración de los nodos o la red, entre otros. [2]

Estación base

La estación base es un recolector de datos basado en un ordenador común o sistema embebido. Si se utiliza una estructura común los datos adquiridos se almacenan en un equipo servidor en una base de datos, permitiendo a los usuarios acceder a la información para analizarla. [2]

Red inalámbrica

Existen varias alternativas para la transmisión inalámbrica de los nodos sensores, siendo la IEEE 802.15.4 norma base de Zigbee la más apropiada, debido a su bajo consumo de energía. [2]

C. Topologías

Topología se refiere a la configuración de los componentes hardware y como los datos son transmitidos a través de esa configuración. Cada topología es apropiada bajo ciertas circunstancias y puede ser inapropiada en otras. [3]

Estrella

Sistema donde la información enviada sólo da un salto y donde todos los nodos sensores están en comunicación directa con la puerta de enlace, usualmente a una distancia de 30 a 100 metros. Todos los nodos sensores son idénticos, nodos finales, y la puerta de enlace capta la información de todos ellos. La puerta de enlace también es usada para transmitir datos al exterior y permitir la monitorización de la red. Los nodos finales no intercambian información entre ellos, sino que usan la puerta de enlace para ello, si es necesario. [3]

En la Figura 1 se indica un esquema de la topología en estrella de una red WSN.

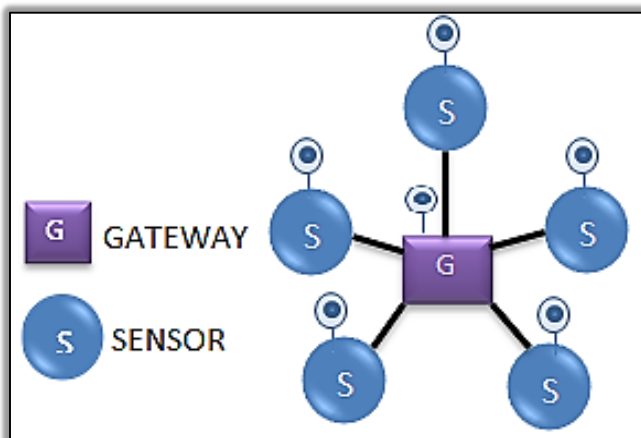


Fig. 1. Topología en estrella.

Malla

Un sistema multisalvo, donde todos los nodos son routers y son idénticos. Cada nodo puede enviar y recibir información de otro nodo y de la puerta de enlace. A diferencia de la topología en estrella, donde los nodos solo pueden hablar con la puerta de

enlace, en ésta los nodos pueden enviarse mensajes entre ellos. [3]

El esquema de esta topología se muestra en la Figura 2.

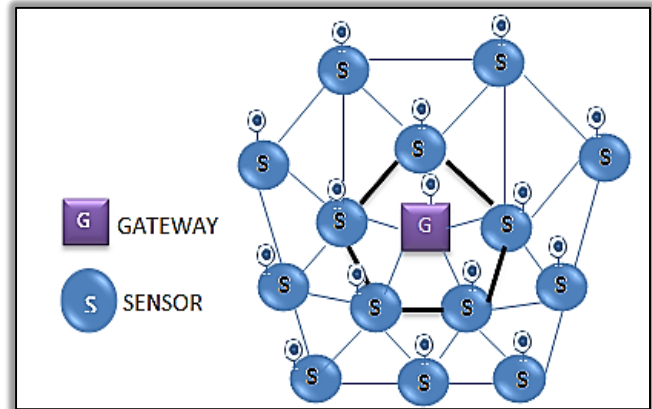


Fig. 2. Topología en malla.

Estrella – Malla

Esta topología combina las ventajas de las topologías en malla y estrella como la simplicidad, el bajo consumo, posibilidad de cubrir una amplia área y reorganización ante fallos. Esta topología crea una red en estrella alrededor de routers pertenecientes a una red en malla. La función de los routers es brindar la posibilidad de ampliar la red y de corregir las fallas en estos nodos además ahorra energía al conectar los nodos finales con los routers cercanos. Su esquema se indica en la Figura 3.

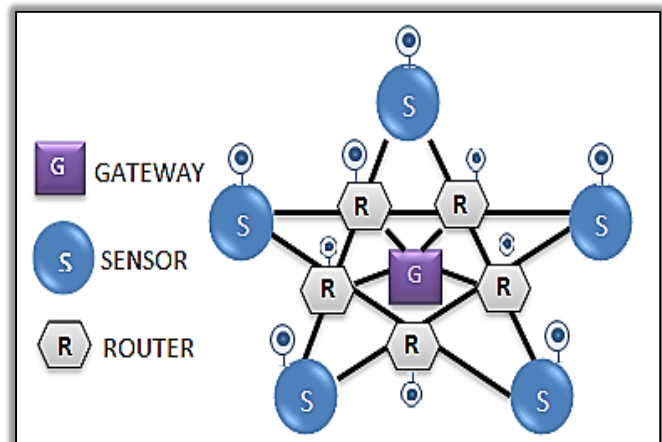


Fig. 3. Topología estrella – malla.

D. Estándar IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos.

Arquitectura básica de ZigBee

La arquitectura del estándar está definida por capas. Cada capa es responsable de los servicios ofrecidos a capas

superiores. El esquema de capas se basa en el modelo de referencia para la interconexión de sistemas abiertos OSI¹.

ZigBee Alliance hizo suya la norma IEEE 802.15.4, que define el protocolo de las capas OSI superiores y desarrolla perfiles de aplicación que pueden compartirse entre los diferentes fabricantes. Las dos primeras capas, la física (PHY) y la de control de acceso al medio (MAC), son definidas por el estándar 802.15.4 y las capas superiores, Red (NWK) y Aplicación (APL), por la Alianza ZigBee. En la Figura 4 se muestra el esquema del stack ZigBee.

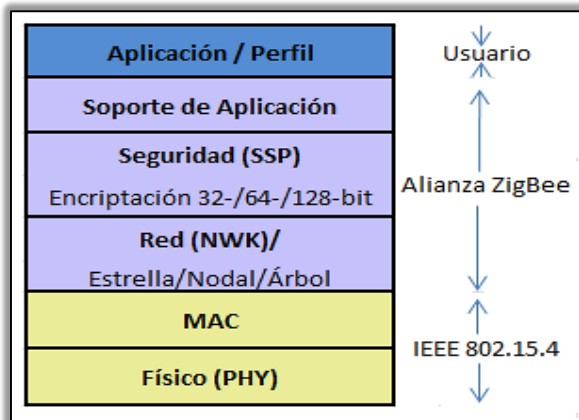


Fig. 4. Arquitectura básica ZigBee.

E. Microcontroladores PIC

Se denomina microcontrolador a un dispositivo programable capaz de realizar diferentes actividades que requieran del procesamiento de datos digitales y del control y comunicación digital de diferentes dispositivos. [5]

Los PIC son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument.

F. Sensores

Los sensores son dispositivos electrónicos con la capacidad de detectar la variación de una magnitud física, como temperatura, iluminación, movimiento y presión; y de convertir el valor de ésta, en una señal eléctrica ya sea analógica o digital. [6]

Temperatura

El sensor de temperatura de planta es una herramienta útil para controlar el desarrollo del cultivo. La gran ventaja de esta medición es que no es necesario un contacto directo con la planta y por lo tanto evita daños en ésta.

Sensores de humedad

Los sensores de humedad, se basan en que el agua no es un material aislante como el aire sino que tiene una conductividad eléctrica.[7]

Sensores de luminosidad

Un sensor de luz detecta la iluminancia. Miden la cantidad de luz que llega a una célula foto-eléctrica (básicamente una

resistencia). La resistencia es baja con luz y alta con oscuridad (sensor de oscuridad). Se pueden usar de diversas formas: pueden medir intensidad, pueden orientarse, enfocarse, protegerse. Un sensor fotoeléctrico es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz.

G. Cultivo de Fresa

La fresa es un fruto no tradicional que se cultiva en diferentes zonas del país, este cultivo tiene una de las frutas más apetecidas a nivel nacional por su utilidad en diferentes platillos y postres. Al ser una planta que no es endémica del Ecuador para que esta se adapte al lugar donde va a ser cultivada debe seguir un proceso desde la elección de la planta hasta su producción y cosecha.

Generalidades

La fresa pertenece a la familia de las Rosáceas y al género *Fragaria*. La familia Rosáceas incluye más de 2 mil especies de plantas herbáceas, arbustos y árboles distribuidos por las regiones templadas de todo el mundo. Se tienen documentadas más de mil variedades de fresa. Es una planta de tallos rastreros, nudosos y con estolones; hojas grandes, trifoliadas, pecioladas y blancas por el envés. El fruto que conocemos como fresa, es en realidad un engrosamiento de receptáculo floral, siendo los puntitos que hay sobre ella el auténtico fruto, es de forma cónica a casi redonda, de color rojo brillante o rojo anaranjado; presenta una carne perfumada, jugosa y mantecosa que se deshace en la boca a la mínima presión, con un sabor que varía: de ácido a muy dulce. Lo que más caracteriza a esta fruta es su intenso aroma. [8]

Manejo del cultivo

- **Suelo normal.-** Para cultivos al aire libre se utilizan equipos que permitan hacerlo de forma mecánica, mediante la utilización de una rastra o arado, no es recomendable la aplicación de herbicidas. Como limpieza del suelo consta la eliminación de maleza, la eliminación de piedras y todo tipo de basuras o desechos presentes en el lugar destinado al cultivo; de tal manera que quede libre de impurezas que a largo tiempo causen deterioros en el desarrollo de las plantas.
- **Sustrato.-** El término sustrato se aplica a todo material sólido distinto del suelo, cuyo origen puede ser natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico que permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando por lo tanto, un papel de soporte para la planta. [9]
- **Nivelación.-** Nivelar la tierra o establecer la plantación en curvas a nivel tiene las siguientes metas.
 - ✓ Eliminar zonas bajas donde el agua puede estancarse.
 - ✓ Asegurar que el desagüe de la parcela sea total y parejo.
 - ✓ Establecer la distribución del agua de riego en una forma pareja y uniforme.

- ✓ Reducir el costo de mano de obra y el tiempo necesario para regar la plantación.
- **Construcción del caballete.-** El caballete alto (montículo de tierra), actúa en tres formas para aumentar la productividad de la plantación: establece una zona profunda de tierra suelta y removida que promueve el desarrollo y la penetración máxima de las raíces, asegura el buen drenaje del sistema radical y ayuda a evitar problemas de pudrición de las raíces, coloca el fruto por encima del alcance del agua de riego, reduciendo problemas de pudrición y ayuda en la ventilación de la planta y fruto. [10]
- **Cobertura del suelo.-** recubrir el suelo consiste en cubrir los caballetes con polietileno negro, de 0.2 a 0.4 mm de grosor, con el propósito de impedir que la fruta tenga contacto directo con el suelo y disminuir los problemas fitosanitarios. [11]
- **Siembra.-** En cada cama se colocan dos hileras, separadas 40 cm entre sí y las plantas a 30 cm, medidas que pueden ser modificadas de acuerdo a las necesidades del agricultor. [10]
- **Riego.-** El riego es un factor fundamental en la producción de fresas, debido a que las plantas necesitan del agua siempre, durante su crecimiento y producción. Es indispensable que las plantaciones cuenten con un adecuado sistema de riego, que puede ser por aspersión o por goteo en el caso de la producción de fresa.

Si el riego es por goteo se denomina riego localizado y es el que genera mejores resultados, este sistema distribuye el agua y los fertilizantes directamente en la zona de influencia radicular.

Requerimientos climáticos

El desarrollo de los cultivos, en sus diferentes fases de crecimiento, está condicionado por factores ambientales como: temperatura, humedad y luz.

- **Temperatura.-** la fresa es un cultivo que se adapta muy bien a muchos tipos de climas. Su parte vegetativa es altamente resistente a heladas, llegando a soportar temperaturas de hasta -20°C , aunque los órganos florales quedan destruidos con valores algo inferiores a 0°C . Al mismo tiempo son capaces de sobrevivir a temperaturas estivales de 55°C . Los valores óptimos para una fructificación adecuada, se sitúan en torno de los 15°C a 20°C de media anual. La fresa es un cultivo que se adapta muy bien a muchos tipos de climas:
 - ✓ Temperatura mínima biológica, 6°C .
 - ✓ Temperatura mínima letal -12°C (fase vegetativa, -6°C y fase floración, $0-2^{\circ}\text{C}$).
 - ✓ Temperatura óptima, $10-13^{\circ}\text{C}$ nocturna y $18-22^{\circ}\text{C}$ diurna. [12]
- **Humedad.-** La humedad relativa adecuada es de 60 y 75%, cuando es excesiva permite la presencia de enfermedades causadas por hongos, por el contrario, cuando es deficiente, las plantas sufren daños fisiológicos que repercuten en la producción; se

considera que un fresal tiene un consumo hídrico de 400-600 mm anuales. [13]

H. Sistema de riego por goteo

Un sistema de riego que entrega el agua gota a gota. Según las necesidades del cultivo, humedeciendo solo una parte del suelo, donde se concentran las raíces, por ello también se llama riego localizado, o de alta frecuencia pues se aplica el agua casi a diario o varias veces al día. Entre las principales ventajas que proporciona está la disminución significativa del volumen de agua usado. [14]

Componentes

Un sistema de riego por goteo consiste en un sistema de carga y una red de tuberías de distribución. Al sistema de carga generalmente lo constituyen la bomba, filtro, inyector de fertilizante, válvula de control, regulador de presión y unidad de control automático. [14]

Tipos de riego por goteo

EL riego por goteo de acuerdo al espacio en donde estará localizado se clasifica en: [15]

- **Subterráneo:** Este sistema es ampliamente utilizado en áreas donde la raíz de la planta sea de gran extensión como en la caña de azúcar. Permite hacer uso de aguas residuales evitando así el desperdicio del líquido. Se elimina la pérdida de agua por causa de la evaporación, nebulización, escurrimiento superficial o interferencia del viento.
- **Superficial:** Los sistemas superficiales con usualmente fijos, por lo cual se los llama también sólidos. Este tipo de riego se adapta mejor a suelos profundos y con alta capacidad de retención de agua.
- **Aéreo:** Especial para el uso bajo invernaderos, el agua cae por gravedad al pie de la planta.

Invernadero

Un invernadero es toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro del cual es posible obtener ambientes artificiales de climatización del producto y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas. [16]

III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN RED WSN

A. Descripción

La red WSN se compone básicamente de dos nodos sensores y un nodo central o gateway que hace de puente entre los primeros y la estación base mediante una comunicación USB, el esquema general se muestra en la Figura 5.

El objetivo de controlar el sistema de riego es mantener ciertas magnitudes dentro de un rango establecido, sin importar la presencia de influencias externas que alteren el proceso.

La red está formada de cinco procesos bien diferenciados: sensado, transmisión de datos, almacenamiento y procesamiento de información, respuesta y alimentación.

En el sistema propuesto las magnitudes a medir son: temperatura, humedad y luminosidad, que deben monitorearse para ser controladas igualándolas a un valor apto para el desarrollo del cultivo, el usuario puede comunicarse con este mediante una interfaz hombre-máquina.

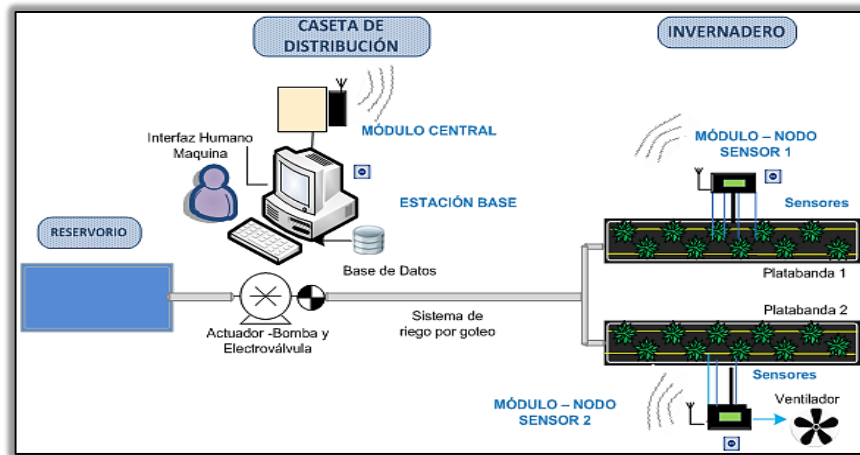


Fig. 5. Esquema general red WSN.

Los sensores miden la temperatura ambiental, temperatura del suelo, humedad relativa, humedad del suelo y luminosidad, los datos pueden ser visualizados en los módulos sensores mediante una pantalla LCD o en la interfaz gráfica.

Existen dos variables básicas, humedad del suelo y temperatura del ambiente, que influyen directamente en el funcionamiento del sistema, el registro de las demás variables sirve de apoyo para los diversos estudios sobre el comportamiento del cultivo que realizan los estudiantes y docentes de la carrera de agropecuaria. Los datos adquiridos se guardan en una base de datos para la generación de reportes.

Cabe mencionar que de acuerdo al valor obtenido por el sensor de luminosidad se encenderá la luz de fondo de la LCD para facilitar que el usuario observe los datos sin dificultad en la pantalla del nodo.

Módulo nodo sensor 1

Está compuesto de dos sensores de humedad del suelo, un sensor de humedad relativa, un sensor de temperatura del ambiente, un sensor de temperatura del suelo y un sensor de luminosidad. Las señales de los sensores ingresan a un microcontrolador PIC18F2550 y por medio de comunicación UART los datos de los sensores ingresan al módulo de radio frecuencia (Zigbee), que a su vez transmite los datos de manera inalámbrica al módulo central.

Módulo nodo sensor 2

Está compuesto por dos sensores de humedad del suelo y un actuador (ventilador), el proceso de adquisición y transmisión es similar al del nodo 1.

Módulo central (Gateway)

Este nodo es considerado como el coordinador de la red, mediante una comunicación USB se ingresan los datos de los nodos sensores a la estación base en donde se lleva a cabo el monitoreo y control de las variables.

B. DISEÑO DEL HARDWARE

En el diagrama de bloques de la Figura 6 se muestra los componentes y la configuración general de la comunicación

entre los nodos sensores y el nodo central, diferenciando cada proceso.

Proceso de sensado

- **Sensor de temperatura digital DS18B20 1-WIRE.** tiene dos presentaciones, descubierto e impermeabilizado. En el caso del proyecto se ha escogido el segundo, por ser útil para medir en sitios lejanos o en condiciones húmedas. Sus principales características se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1

Características sensor digital DS18B20

DS18B20 Sensor de temperatura digital impermeabilizado
• Interfaz 1-Wire ® que requiere un solo pin del puerto para la comunicación.
• Dispositivo con código único de 64-bit almacenado en una ROM.
• No requiere componentes externos.
• Rango de alimentación es de 3,0 V a 5,5 V.
• Rango de temperaturas de -55 ° C a +125 ° C (-67 ° F a + 257 ° F).
• ± 0,5 ° C exactitud de -10 ° C a +85 ° C.
• Resolución del termómetro seleccionable de 9 a 12 bits.
• Tiempo de consulta 750 ms (máx.)
• Conexionado con 3 hilos: cable rojo VCC, cable negro GND, cable amarillo Datos.
• Diámetro: 6 mm, tubo de acero inoxidable de 35 mm de largo
• Diámetro del cable: 4 mm
• Longitud total con cable: 90 cm
• Las aplicaciones incluyen termostatos, sistemas industriales, productos de consumo, termómetros, o cualquier otro sistema termosenible

- **Sensor de humedad Meroduino.** tiene buenas prestaciones como tamaño reducido y fácil uso. Este pequeño elemento proporciona una salida de tensión analógica que se puede conectar directamente a la entrada del ADC de cualquier microcontrolador. Sus características se detallan en la Tabla 2.

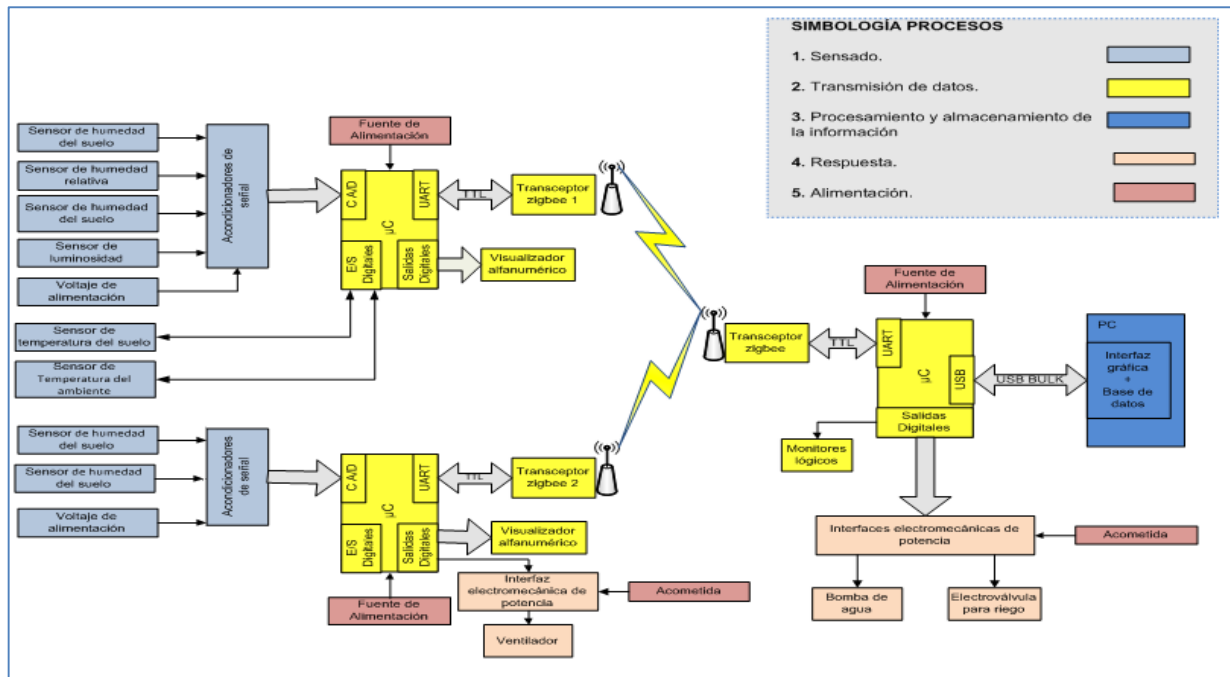


Fig. 6. Diagrama del sistema a ser implementado.

Tabla 2

Sensor de humedad relativa HIH-4000-001

Sensor de humedad relativa HONEYWELL HIH-4000-001

- Tensión de alimentación de 4 a 5.8 VDC
 - Encapsulado SIP de 3 pines de 2.5mm de separación
 - Rango de medición de 0 a 100% de HR (Humedad relativa)
 - Temperatura de operación de -40 a 85°C
 - Linealidad de $\pm 0.5\%$ de HR.
 - 0.8 - 3.9VDC (0-100% HR) a $V_{cc}=5VDC$
- **Sensor de luminosidad a base de una LDR.-** es un pequeño elemento capaz de detectar el grado de luminosidad que incide sobre su superficie. Es económico y muy fácil de instalar. Su comportamiento es el de una resistencia que varía su valor de manera inversamente proporcional a la cantidad de luz que incide sobre su superficie sensible. Con la máxima luminosidad apenas hay resistencia eléctrica entre sus dos terminales, elevándose a muchos millones de ohmios en la oscuridad. La variación es puramente resistiva y carece de polaridad.

Proceso de transmisión de datos

- **Microcontrolador PIC18F2550.-** Para el desarrollo de la presente aplicación se ha seleccionado el microcontrolador PIC18F2550 tanto para los nodos sensores como para el nodo central. Sus principales características se detallan en la Tabla 3.
- ✓ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), permite establecer la comunicación serial asincrónica entre: el microcontrolador y los módulos ZigBee.

- ✓ Módulo de conversión analógica/ digital (A/D), utilizado para procesar los datos analógicos obtenidos en el proceso.
- ✓ Módulos de entrada/salida digital, se usan para la lectura y escritura de estados digitales.

Tabla 3

Características generales eléctricas PIC18F2550

Características PIC18F2550	
Nº de pines de encapsulamiento PDIP:	28
Puertos de entrada / salida:	A, B, C
No de entradas / salidas:	24
Memoria flash:	32Kbytes
Máximo número de instrucciones simples:	16384
Memoria SRAM:	2048 bytes
Memoria EEPROM:	256 bytes
Comunicación SPI, I2C :	SI
Compatible con USB v2.0:	SI
Número de temporizadores de 8 bits:	1
Número de temporizadores de 16 bits:	3

Característica Eléctricas	
Temperatura ambiente de trabajo:	-40°C a +85°C
Temperatura de almacenamiento:	-65°C a +150°C
Vdd:	4.2V a 5.5V
Corriente de entrada/salida a un pin:	± 20 mA
Corriente máx. de salida algún pin:	25 mA
Corriente máx. de salida de todos los puertos:	200 mA

A continuación en la Tablas 4, 5 y 6, se muestra la utilización de pines de los dispositivos de comunicación para la detección y transmisión de datos de cada uno de los nodos sensores para conocer qué número de pines y que funciones se les ha dado a cada uno de estos del PIC utilizado. 1

Módulo Nodo Sensor 1

Tabla 4
Pines y funciones del PIC18F2550 del Módulo Nodo Sensor 1

MÓDULO NODO SENSOR 1			
PUERTO	FUNCIÓN		ESPECIFICACIÓN
	I / O	TIPO DE DATO	
RA0	INPUT	ANALÓGICO	Entrada del dato del voltaje suministrado.
RA1	INPUT	ANALÓGICO	Humedad relativa.
RA2	INPUT	ANALÓGICO	Humedad suelo 1.
RA3	INPUT	ANALÓGICO	Humedad suelo 2.
RA4	INPUT	ANALÓGICO	Luminosidad.
RC0	INPUT	DIGITAL	Sensor de temperatura 1Wire.
RC1	INPUT	DIGITAL	Sensor de temperatura 1Wire.
RC2	OUTPUT	DIGITAL	Encendido o apagado backlight.
RC6	OUTPUT	DIGITAL	Transmisión Modulo Zigbee.
RC7	INPUT	DIGITAL	Recepción Modulo Zigbee.

PUERTO B destinado a la conexión de los pines de la LCD

Módulo Nodo Sensor 2

Tabla 5
Pines y funciones del PIC18F2550 del Módulo Nodo Sensor 2

MÓDULO NODO SENSOR 2			
PUERTO	FUNCIÓN		ESPECIFICACIÓN
	I / O	TIPO DE DATO	
RA0	INPUT	ANALÓGICO	Entrada dato del voltaje suministrado.
RA2	INPUT	ANALÓGICO	Humedad suelo 1.
RA3	INPUT	ANALÓGICO	Humedad suelo 2.
RC1	OUTPUT	DIGITAL	Encendido / apagado ventilador.
RC2	OUTPUT	DIGITAL	Encendido / apagado backlight.
RC6	OUTPUT	DIGITAL	Transmisión Modulo Zigbee.
RC7	INPUT	DIGITAL	Recepción Modulo Zigbee.

PUERTO B destinado a la conexión de los pines de la LCD

Módulo Nodo Central

Tabla 6
Pines y funciones del PIC18F2550 del Módulo Nodo Central

MÓDULO NODO CENTRAL			
PUERTO	FUNCIÓN		ESPECIFICACIÓN
	I / O	TIPO DE DATO	
RA0	OUTPUT	DIGITAL	Visualizador led 1.
RA1	OUTPUT	DIGITAL	Visualizador led 2.
RA2	OUTPUT	DIGITAL	Salida bomba
RA3	OUTPUT	DIGITAL	Salida válvula.
RC6	INPUT	DIGITAL	Transmisión Modulo Zigbee.
RC7	OUTPUT	DIGITAL	Recepción Modulo Zigbee.
RC4	OUTPUT	DIGITAL	Transmisión USB
RC5	INPUT	DIGITAL	Transmisión USB

- **Configuración comunicación USART.-** El módulo USART puede ser configurado de dos maneras: asíncrona (bidireccional) y síncrona (direccional) en el caso específico de la presente aplicación se utiliza la primera.

Los bits de información en el modo síncrono se transmiten en ambos sentidos por la línea de datos DT a la frecuencia de los impulsos que genere el maestro por la línea de reloj CK.

En el modo asíncrono, se usa la norma RS232C, donde cada palabra de información o dato se envía independientemente de los demás, dicha palabra es de 8 o 9 bits y va precedida por un bit de START (inicio) y detrás de ellos se coloca un bit de STOP (parada). Los bits se transfieren a una frecuencia fija y normalizada. La USART transmite y recibe primero el bit menos significativo.

- **Configuración convertor analógico digital.-** El microcontrolador PIC18F2550 posee 10 pines configurables para este fin, la resolución es de 10 bits; para la operación requerida la señal analógica se aplica a un condensador de captura y retención (sample and hold) que luego se introduce en el convertor analógico / digital, este genera mediante aproximaciones sucesivas una palabra de 10 bits.

Los registros que se manejan para la conversión analógica / digital en el microcontrolador son:

- ✓ ADRESH/ADRESL: Parte alta y baja del resultado de la conversión.
- ✓ ADCON0: Registro de Control 0, que configura el funcionamiento del convertor.
- ✓ ADCON1, Registro de Control 1, que configura los pines del puerto A (o E) como entradas analógicas o E/S digitales.

- **Uso de interrupciones.-** El manejo de interrupciones se considera como una de las características más importante de los microcontroladores, tomando en cuenta que son un salto asíncrono en función a eventos que se realizan en tiempo real en el microcontrolador; permitiendo que cesen las actividades que realiza y de paso a un suceso que se suscitó hasta encontrar la instrucción que permita abandonar la interrupción y volver al programa principal donde estaba y continuar ejecutándolo antes de producirse la interrupción.

Los microcontroladores 18F2550 tienen múltiples fuentes de interrupción y niveles de prioridad que cada una de estas puede asignar ya sea un nivel alto o bajo de ejecución. Las fuentes son las siguientes:

- ✓ Interrupción externa en el pin RB0/INT
- ✓ Cambio de nivel (estado) en los pines RB4 a RB7.
- ✓ Finalización del temporizador/contador TMR0, TMR1 y TMR2
- ✓ Finalización de escritura en la EEPROM de datos

- ✓ Interrupción del módulo de capture/compare 1 y 2.
- ✓ Transmisión o recepción de un caracter por la interface serie sincrónica/asincrónica.
- ✓ Fin de conversión A/D.
- ✓ Lectura/escritura del puerto paralelo de comunicación con otros microcontroladores.

La configuración de las interrupciones se realiza en el registro INTCON , mediante la escritura de los valores 1 o 0 en los bits respectivos del registro dependiendo de la interrupción.

- **Módulo XBee PRO S1.-** El módulo radiofrecuencia empleado en los tres nodos de la red es el XBee PRO S1, puede verse en la Figura 48, es fabricado por MaxStream, trabaja en la banda de 2.4 GHz, 250 Kbps, cumple con el estándar IEE 802.15.4 (Zigbee) con un alcance de 90m en interiores (edificios de oficinas) y 1500m en exteriores (con línea de vista). (Tabla 7)

Tabla 7
Características Módulo XBee PRO S1

MÓDULO XBEE PRO S1
<ul style="list-style-type: none"> • Antena incorporada. • 3.3V a 215mA • 250kbps Max velocidad de datos • Salida de 60mW (+18 dBm) • Rango de 1 milla (1.500 metros) • Antena incorporada • 6 a 10-bit ADC pines de entrada • 128-bit de encriptación • Configuración local o por aire • AT o conjunto de API de comandos

- **Pantalla de Cristal Líquido.-** La pantalla de cristal líquido tiene la capacidad de mostrar cualquier caracter alfa-numérico. Los módulos de los nodos sensores cuentan con una pantalla LCD de 2x8 (2 filas y 8), para la visualización de los datos captados por los sensores, además del voltaje que se le suministra a dicho nodo.

Se maneja a 4 bits, la información que recibe es de un largo de 8bits por lo que el microcontrolador divide la información y la envía de 4bits en 4 bits. Su ventaja radica en que se utilizan menos pines del microcontrolador.

Los datos que se visualizan en la LCD dependen de los sensores o actuadores conectados en los módulos. En las Tablas 8 y 9 se pude ver los mensajes presentados de acuerdo a cada nodo

Tabla 8
Mensajes LCD Nodo 1

Mensajes LCD Nodo 1	
Mensaje de Inicio:	Modulo 1
Voltaje:	VOLT
Luminosidad:	LUM
Humedad del suelo sensor 1:	HS1
Humedad del suelo sensor 2:	HS2
Humedad Relativa:	HR
Temperatura Ambiente:	TA
Temperatura del suelo1:	TS1

Tabla 9
Mensajes LCD Nodo 2

Mensajes LCD Nodo 2	
Mensaje de Inicio:	Modulo 2
Voltaje:	VOLT
Humedad del suelo sensor 3:	HS3
Humedad del suelo sensor 4:	HS4
Estado del ventilador:	OFF VENTILADOR ONN VENTILADOR

Procesamiento y almacenamiento de información

Para el procesamiento y almacenamiento de la información adquirida se usa una máquina de escritorio con las siguientes características relevantes: un procesador Pentium Dual- Core, memoria RAM de 2 GB, sistema operativo Windows de 32 bits.

En la computadora se encuentra la interfaz humano – maquina realizada en LABVIEW, además de la base de datos.

Proceso de respuesta

El proceso de respuesta abarca a los actuadores bomba, electro válvula y ventilador encargados de mantener las variables básicas (humedad del suelo y temperatura ambiental), dentro del parámetro de referencia establecido desde la interfaz de usuario.

Proceso de respuesta

Tanto la bomba y la electroválvula para su funcionamiento cuenta con las respectivas interfaces electromecánicas de potencia, que acondicionan el voltaje para suministrar solo el adecuado respecto a las condiciones de trabajo de dichos elementos, evitan que exista daños en estos por una subida o bajada de la tensión de ingreso.

Como ya se mencionó la caseta que alberga la bomba de riego y el invernadero cuentan con el suministro de energía eléctrica, permitiendo que los actuadores funcionen sin inconvenientes.

Para el funcionamiento de los nodos sensores estos deben tener una fuente de alimentación, de acuerdo al análisis del área de trabajo y tomando en cuenta el fundamento teórico recopilado de las redes WSN, estos pueden alimentarse por baterías en casos donde no haya acceso a una red de energía eléctrica; pero en el caso específico del presente proyecto al ser una red desarrollada para el invernadero de la granja Yuyucocha y tomando en cuenta que este tiene el servicio, se

hace uso de las tomas de energía para suministrar a los nodos la alimentación adecuada mediante un regulador de voltaje.

C. DISEÑO DEL SOFTWARE

El software del microcontrolador se desarrolla en Lenguaje C, utilizando el compilador CCS, por ser práctico al poseer librerías y rutinas establecidas que permiten el manejo de módulos UART, interrupciones, Conversor Análogo Digital (CAD), LCD, USB Bulk, sensor DS18B20, One-Wire.

Fundamentos

La función principal radica en la transmisión y recepción de los datos generados por los nodos sensores 1 y 2, los que realizan la lectura de los sensores análogos y digitales, para el posterior envío de los datos en el formato adecuado. De la misma manera se queda en espera de los datos que envíe el nodo central mediante la interrupción serial. Así mismo se encuentra en espera de la recepción de los datos enviados por el otro dispositivo mediante una interrupción serial.

Cada uno de los módulos sensores (sus módulos zigbee), poseen una dirección preestablecida para permitir la comunicación entre estos y el nodo central que se les proporciona en el momento de la configuración inicial y queda preestablecida para su trabajo.

Módulo Zigbee NODO 1: 0013A2004091AF63

Módulo Zigbee NODO 2: 0013A2004091AF80

Módulo Zigbee Central (Bridge): 0013A2004091AF608E

Para la comunicación cada nodo tiene una identificación establecida para conocer el estado de encendido o apagado de los elementos el Nodo 1 será conocido como “A” y el Nodo 2 será “B”, la trama asignada tendrá cuatro bits en estado cero para apagado y uno para encendido:

0	0	0	0
backligh	ventilador	bomba	válvula

Fig. 71. Trama nodo 2.

Para el manejo de los datos generados en el proceso se desarrolla una trama de información, en la que cada dato se envía con un caracter identificador de inicio, seguido del dato y luego el caracter que identifica el final, a continuación se observa un ejemplo de la transmisión y recepción del Nodo 1:

NODO 1 TRANSMISIÓN

A	0	9	5	E	0	9	8	5	C	0	9	9	D	1	0	0	E	0	2	5	3	F	0	6	5	3	G	0	9	9	H	0	S
Alimenta	Humedad	Humedad	Humedad	Temperatura	Temperatura	Luminosi							Backligh				Fin trama																
ción : 9,5	Relativa:	suelo 1:	suelo 2:	ambiente:	del suelo:	dad: 99%																											
v	98,5%	99%	100%	25,3°C	65,3 °C																												

Fig. 8. Trama de transmisión nodo 1.

Backlight:

- ✓ 0 : backlight OFF
- ✓ 1: backlight ON

NODO 1 RECEPCIÓN

0	&	1	&
Apagar backlight		Encender backlight	

Fig. 9. Trama de recepción Nodo1.

NODO 2 TRANSMISIÓN

I	1	2	3	J	0	9	8	K	0	5	3	L	0	M	0	S
Alimentación:	12,3	Humedad suelo 3:	Humedad suelo 4:	Ventilador:	Backlight:	Fin										
v		98%	53%	0/1	0/1	trama										

Fig. 10. Trama de transmisión Nodo 2.

NODO 2 RECEPCIÓN

0	0	&
Backlight	Ventilador	Fin trama

Fig. 11. Trama de recepción Nodo 2.

La separación de los datos de cada trama se realiza en un orden alfabético empezando por la A desde el nodo 1 y terminando en la M con los datos del nodo dos.

Interfaz Gráfica

La interfaz permite que el usuario observe los datos que son enviados desde los nodos sensores, además visualiza mediante gráficas cual es el comportamiento a través del tiempo de cada uno de ellos. Figura 12

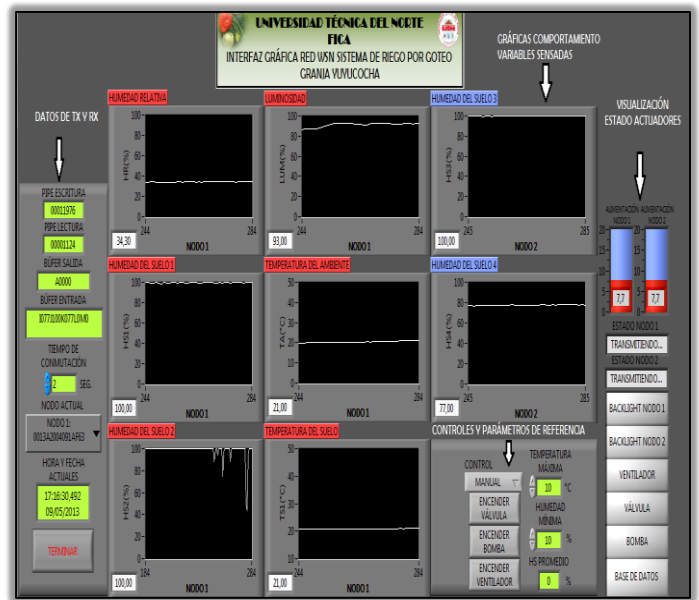


Fig. 12. Pantalla de interfaz gráfica.

Interfaz Gráfica

La base de datos está realizada en Microsoft Access 2010 debido a que los encargados de operar el sistema tienen los conocimientos necesarios acerca de este programa.

Los datos de la base se graban a partir de los obtenidos por la interfaz gráfica los mismos que sirven de gran ayuda en el desarrollo estadístico del comportamiento del cultivo a los estudiantes de la carrera de agropecuaria

IV. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED WSN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

A. ENSAMBLAJE

El módulo central y los nodos sensores se ensamblan de manera separada y se realizan pruebas individuales de cada elemento para garantizar su buen funcionamiento en conjunto.

B. INSTALACIÓN

Una vez realizado el ensamblaje de cada módulo se debe instalar todo el sistema con sus respectivas protecciones, como fusibles y breakers, además de los transformadores para la válvula, electroválvula y nodo central.

Módulos sensores

Los módulos uno y dos se instalaron uno en cada platabanda, ubicando los sensores en las partes más adecuadas para lograr un correcto sensado. Estos fueron sobrepuestos en bases metálicas a 60 cm del suelo para evitar el contacto directo con la humedad y evitar daños en sus componentes.

Los nodos sensores se encuentran ubicados cada uno a 4 m con respecto al nivel de la puerta de ingreso, para facilitar la distribución de los sensores con cada una de sus sondas.

Las antenas de los módulos se colocaron en dirección al nodo central para evitar pérdidas de la señal.

Los sensores de humedad del suelo se ubicaron a 30 cm de la superficie tomando en cuenta que es el área sugerida para la toma de datos en una planta de fresa.

El sensor de luminosidad se ubicó en una zona alta del invernadero para que capte el cambio de luminosidad en el interior del mismo.

El sensor de temperatura ambiental se ubicó en una zona central para lograr captar de mejor manera los datos.

El sensor de temperatura del suelo se colocó en el sustrato de las platabandas bajo el recubrimiento de plástico.

Cada nodo sensor cuenta con su respectiva señalización indicando su nombre

Módulo central

El módulo central se instaló en la caseta de distribución del sistema de riego, está sujeto a la caja de protección del sistema.

El módulo se encuentra sobre la computadora que alberga la interfaz gráfica y la base de datos.

C. PRUEBAS

Las pruebas realizadas en el presente proyecto fueron establecidas de acuerdo a los alcances planteados. Se centran en verificar que es posible optimizar el uso del agua en el cultivo de fresas.

Sensores de humedad

Para lograr el adecuado funcionamiento de este tipo de sensores se calibraron antes de iniciar su trabajo. Se tomó como referencia un vaso de agua que para este caso representa el 100% de humedad y un vaso de tierra totalmente seca para indicar un valor de 0 % de humedad. Se tomó como referencia el porcentaje debido a que es la unidad mayormente manejada

en el medio para indicar la cantidad de agua contenida en un área de suelo.

Sensores de temperatura

Para determinar si los sensores de temperatura ambiental y temperatura del suelo se compararon con un termómetro utilizado en los cultivos florícolas. Determinando una variación 0.2 grados.

Sensores de luminosidad

La calibración del sensor de luminosidad fue realizada tomando como parámetro de referencia la obscuridad total para representar un 0% de luminosidad y la incidencia directa de luz como el 100% de luminosidad. El sensor fue probado directamente en el interior del invernadero logrando excelentes resultados comprobados al momento del encendido de la backlight (luz de fondo) en la pantalla LCD, cuando disminuye la luminosidad, permitiendo al usuario visualizar los datos en las horas de la noche.

Sistema instalado

Los sensores instalados muestran los datos adquiridos en la pantalla LCD pudiendo así comprobar si los datos receptados en los módulos sensores son los mismos que los visualizados mediante la interfaz gráfica, además se puede comprobar que las acciones de los actuadores se realizan conforme a los parámetros establecidos.

Para verificar si los nodos están transmitiendo se puede hacerlo mediante la interfaz gráfica con los notificaciones visuales que proporciona el software desarrollado.

Para lograr una adecuada conexión de los nodos fue necesario adecuar una antena que salga del nodo central y se la coloque en el exterior de la caseta para eludir los obstáculos que se encuentran entre esta y el invernadero.

Con el paso anterior se logró una conectividad excelente donde los datos se transmiten de manera idónea.

D. RESULTADOS

Para verificar si lo planteado en el proyecto se cumplió se desarrollaron ciertas pruebas como:

- ✓ Dejar totalmente seco en sustrato y aplicar mediante el método visual cierta cantidad de líquido.
- ✓ Solapar totalmente el sustrato y aplicar con el mismo método una determinada cantidad de líquido.
- ✓ Aplicar de manera mecánica con el sistema de riego el líquido.
- ✓ Aplicar mediante el sistema propuesto solo la cantidad de líquido necesario.

Luego de realizar las pruebas mencionadas se verificó que el sistema permite cumplir con la optimización del agua destinada al cultivo, brinda la posibilidad de utilizar el agua economizada en otros cultivos de la Granja Yuyucocha y ayudó a mejorar la producción del cultivo.

V. PRESUPUESTO REFERENCIAL

En la Tabla 10 se indica un presupuesto referencial de los componentes empleados en el desarrollo de la red WSN, específicamente los materiales utilizados en los nodos de la red.

Tabla 10.

Tabla referencial de precios nodos de la red

ELEMENTOS	CANTIDAD	PRECIO (USD)
Baterías (2)	2	20
Sensores de Humedad (4)	4	36
Sensor de Humedad Relativa (1)	1	13
Sensores de temperatura (2)	2	16
Sensor de luminosidad (1)	1	4
Módulos ZigBee (3)	3	120
Fuentes conmutadas 12 V (2)	2	16
PIC18F2550 (3)	3	21
LCD (2)	2	10
Relés 24V (2)	2	16
Fuente conmutada 24 V (1)	1	30
Cajas (3)	3	6
Elementos electrónicos en general	----	25
Regulador de voltaje (2)	2	1.60
Placas y manufactura de las placas	-----	15
Cable USB (1)	1	3
Relé 12 V automotriz (1)	1	2.50
TOTAL:		355.10

Tabla 11.

Tabla referencial de precios sistema de riego por goteo.

CANTIDAD	ELEMENTOS	P.V.P.	VALOR T. (USD)
5	Manguera PE CIEGA 32 - 4 bar 100	1,04	5,20
4	Tramo manguera 16 mm X,35 CM	0,12	0,48
5	Tuvo PVC E/C 32mm x 1.25 MPA x 6MTS	6,91	34,55
4	Adaptador PVC 32mm x 1" macho:	1,21	4,84
4	Codo 32 x 90 Gr.	1,01	4,04
5	Teflón:	0,60	3,00
1	Limpiador (Galón):	3,99	3,99
1	Pega PVC (Galón):	5,07	5,07
40	Uniones GOL 2 agujeros:	0,32	12,80
1	Codo adaptador 32mm x1" hembra:	6,91	6,91
4	Niple doble plástico 1" hembra:	1,08	4,31
1	Tee 1" Plástica:	4,24	4,24
1	Tapón 1" Macho:	1,30	1,30
1	Tapón final 32 mm:	6,45	6,45
1	Unión 1" hembra roscada:	2,07	2,07
4	Conector inicial 16 mm:	0,34	1,36
4	Final de línea 16 mm:	0,16	0,64
4	Unión Fler -Flex de 16mm:	0,46	1,84
1	Filtro corto 1", negro sencillo	41,20	41,20
1	Electroválvula 210 1"BPS GLOBO 2W 24VAC	41,11	41,11
2	Acople Omen Macho 1" rosca:	12,00	24,00
2	Acople Omen Hembra 1" rosca:	12,50	25,00
1	Bomba BARNES 1HP Monofásica 1 1/2"x 1 1/2"	285,00	285,00
1	Válvula de pie 1"	17,00	17,00
	TOTAL:		536,41

VI. CONCLUSIONES

Al culminar el desarrollo del proyecto se puede realizar el control y monitoreo del sistema de riego por goteo del invernadero donde se desarrolla un cultivo de fresas de la Granja Yuyucocha, mediante el uso de una red WSN, que no necesita la presencia de un administrador que vigile el proceso de riego, beneficiando a todos los relacionados con esta área de estudio.

De acuerdo a la investigación teórica realizada previo al desarrollo del proyecto se determinó que las redes WSN no son muy conocidas en el país y que apenas se han desarrollado un número reducido de proyectos con esta tecnología, los principales obstáculos son el costo inicial y la falta de experiencia en esta área.

A pesar de que el Ecuador es un país eminentemente agrícola los métodos de cultivo y riego son rústicos, y pocos son los sectores que han apostado por modernizarse utilizando nuevas tecnologías. Al desarrollar el proyecto en un granja agrícola se pudo comprobar que la tecnología no está desligada de este campo y que puede contribuir de manera significativa a su desarrollo.

La implementación de nuevas tecnologías en la optimización del desarrollo de cualquier tipo de operación es un avance importante tal como se puede observar en el presente trabajo, especialmente si con esto se contribuye a preservar recursos no renovables como el agua mediante la monitorización y el control de un sistema de riego por goteo.

La red WSN está desarrollada tomando en cuenta cada una de las necesidades de los usuarios del sistema de riego por goteo, brindando así datos importantes a partir de las variables sensadas para el progreso del cultivo en el interior del invernadero.

La implementación de esta nueva tecnología en la Granja Experimental Yuyucocha representa un adelanto significativo en tecnificación de los sistemas de riego del sector, ya que la monitorización de las variables críticas es sumamente importante en el desarrollo de cualquier cultivo permitiendo al usuario del sistema obtener mejores productos pero principalmente aprender de la influencia de estas en todas las etapas de su desarrollo.

La tecnología Zigbee es la más utilizada para el desarrollo de las redes WSN por su valor y fácil utilización.

Al finalizar todo el proceso se logró transmitir al usuario de forma clara y amigable la información sobre el comportamiento de las variables sensadas a través de la interfaz gráfica y el aporte del almacenamiento de los datos mediante la base de datos.

La implementación de una red WSN para el control y monitoreo de un sistema de riego permitió afianzar los conocimientos adquiridos en las aulas de clase debido a que el sistema abarca conceptos tanto de redes como electrónica.

VII. RECOMENDACIONES

Es de suma importancia tomar en cuenta las condiciones ambientales donde operarán los módulos zigbee, para reducir al mínimo influencias externas que alteren su correcto funcionamiento, por tal motivo el despeje de elementos

innecesarios en el área entre el invernadero y la caseta permitiría un mayor alcance y mejor operación de la red.

Es conveniente que se instale un mástil para lograr inmovilizar la antena del nodo central, debido a que en el sector en ciertas épocas del año se presentan fuertes vientos provocando caídas de la señal que impiden que los datos fluyan de manera continua entre los nodos sensores y el central.

Se deben realizar las respectivas puestas a tierra de todos los elementos presentes tanto en la caseta de distribución como en el invernadero para precautelar la seguridad de los usuarios, mejorar la operación de los equipos, reducir la posibilidad de daños debido a rayos o corrientes de fallo. Tomando en cuenta que si los equipos sufren algún daño por las causas mencionadas las pérdidas serán económicas y de tiempo reduciendo la productividad del sistema.

Además de las variables sensadas se pueden realizar otras con la debida adaptación de los módulos permitiendo el control de mayores parámetros del desarrollo del cultivo minimizando aún más el consumo de agua.

Los datos almacenados en la base de datos pueden ser migrados a una aplicación en línea para que puedan ser utilizados desde lugares remotos.

Los usuarios de la red WSN implementada sugieren que se instale esta tecnología en otras áreas de la granja Yuyucocha debido a los excelentes resultados que han sido palpados durante el desarrollo del proyecto.

RECONOCIMIENTOS

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

- [1] Calvo Astrain, J. M. (2012). Gestión y monitorización de contenedores. Obtenido de Tesis de Pregrado, Universidad de Navarra - España: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/5604/577782.pdf?sequence=1>
- [2] Molina Martínez, J. M., & Ruiz Canales, A. (2010). Automatización y telecontrol de sistemas de riego. Barcelona: MARCOBO, S.A.
- [3] Fernández Martínez, R., Martínez de Pisón Ascacibar, F. J., Ordieres Meré, J., González Marcos, A., Alba Elías, F., Lostado Lorza, R., & Pernía Espinoza, A. V. (2009). Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones.
- [4] Ortega Huembes, C. A., Roque, D., & Úbeda Sequeira, L. E. (28 de Julio de 2008). Trabajo de Técnicas de Alta Frecuencia: ZigBee. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/zigbee/zigbee.pdf>
- [5] Barneda Faudot, I. (2008). Zigbee aplicado a la transmisión de datos de sensores biomédicos. Obtenido de Tesis de pregrado, Universidad autónoma de Barcelona: <http://www.recercat.net/bitstream/handle/2072/13081/PFC%20Ivan%20Barneda.pdf?sequence=1>
- [6] Bits de Ingenio. (2011). Instrumentación electrónica, ¿que son los sensores?: Bits de Ingenio. Obtenido de Bits de Ingenio, Ciencia y Tecnología: <http://www.bitsingenio.com/%C2%BFque-son-los-sensores/>
- [7] Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. (2011). Sensores. Recursos Didácticos. Obtenido de Recursos http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11_contenidos_3e.htm

- [8] Santoyo Juárez , J. A., & Martínez Alvarado, C. Ó. (2009). Paquete tecnológico para la producción de fresa. Obtenido de Fundación Produce: <http://www.fps.org.mx/divulgacion/attachments/article/814/Paquete%20tecnologico%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20fresa.pdf>
- [9] Gallardo, C. (2009). Sustratos para plantas, tipos y principales características. Obtenido de Contenidos Educativos en Internet: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/ENTRE_RIOS/58/macronutrientes%20en%20sustratos%20para%20plantas.pdf
- [10] VIANSA. (2008). Guía para el establecimiento de una plantación de frutilla. Obtenido de Empresa Productora de Plantines de Frutilla : http://www.viansa.com.ar/pdf/Viansa_esp.pdf?visita_viansa=4a49b02fb-caba47b836dabea6de19df8
- [11] Ingeniería Agrícola. (2008). Ing. Agrícola. Fresa: Toda la Agricultura en Internet. Obtenido de sitio web de infoAgro: <http://fichas.infojardin.com/hortalizas-verduras/fresa-fresas-freson-fresones-frutillas-fresales.htm>
- [12] NFOAGRO. (2011). Infojardín Fresa: Toda la Agricultura en Internet. Obtenido de sitio web de infoAgro: <http://fichas.infojardin.com/hortalizas-verduras/fresa-fresas-freson-fresones-frutillas-fresales.htm>
- [13] El Agro. (2011). Manejo Integrado del Cultivo de Frutillas. Obtenido de Revista electrónica EL Agro: <http://www.revistaelagro.com/2012/01/18/manejo-integrado-del-cultivo-de-frutillas/>
- [14] Palomino Velásquez , K. (2009). Riego por Goteo. Lima: Empresa Editora Macro.
- [15] Sánchez Reyes, C. (2005). Sistemas de Riego: Uso, Manejo e Instalación. Lima: Ediciones Ripalme.
- [16] Mantilla , P. (2008). Monitoreo y control de temperatura ambiental y humedad del suelo en un invernadero de tomate riñón, utilizando comunicación inalámbrica. Obtenido de Tesis de pregrado, Politécnica Nacional del Ecuador: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/700/1/CD-1648%282008-08-05-09-47-33%29.pdf>



Edgar A. Maya A.

Nació en Ibarra provincia de Imbabura el 22 de abril de 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, y cursa la Maestría en Redes de Comunicación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito – Ecuador.



Jhomaira L. Burbano G.

Nació en El Ángel-Carchi-Ecuador, el 30 de junio de 1987. Realizó sus estudios primarios en la Escuela Santa Mariana de Jesús y sus estudios secundarios en el Colegio Nacional “Ibarra”, los finalizó en el año 2005, obtuvo el título de Bachiller en Ciencias especialización Físico Matemático. Actualmente, es egresada de la

WSN Network Control and Monitoring of a Drip Irrigation System of Planting Strawberries in the Experimental Farm Yuyucocha - UTN

Edgar A. Maya, Jhomaira L. Burbano

Summary— This project entails the implementation of a wireless sensor network (WSN), to optimize the control and monitoring of the irrigation system by dripping during strawberries growing process inside greenhouse, this system will be installed in the experimental farm Yuyucocha which belongs to “Universidad Técnica del Norte”, in order to achieve a better use of the irrigation water used in this specific place.

The possibility of using a new technology in agriculture to optimize the use of a non-renewable resource, such as water, through a friendly user interface, easy to use, achieving areas merge two seemingly unrelated is provided.

Index Terms— Network, WSN, ZigBee, wireless, sensors.

VIII. INTRODUCTION

Currently a concern worldwide about the relative scarcity of water resources, because there is more demand and water shortages have become more frequent register. The company is well aware of this fact and the application of new policies and alternatives to preserve it. The use of technology ensures that water can exist for consumption and use of all, being the source of life that provides food, water prosperity and wealth. Therefore, it is essential to use technology for quality agriculture, but without losing sight of the main objective is to produce more food with less water and preserving the environment. In recent years, wireless networking technologies have made rapid development, facilitating the implementation of wireless sensor networks (WSN) due to its affordable cost, inexpensive maintenance and low power consumption; is for this reason that this type of network they can be applied in

Document received on April, 2014. This research has been made as a previous project to get the degree in the Electronics and Communication Network Engineering of the, Faculty of Applied Science (FICA), of the “Universidad Técnica del Norte”.

E.A. Maya, Works at the Universidad Técnica del Norte, at the Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, 17 de Julio Avenu, “El Olivo” neighborhood, Ibarra-Ecuador (phone: 5936-2955-413; e-mail: eamaya@utn.edu.ec).

J.L. Burbano, egresada de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Redes de Comunicación (phono: 5936-2610-424; e-mail: jhobg35@hotmail.com).

industrial process control, security in shopping centers, disaster-prone areas, control patients in hospitals and even fields.

Sustainable irrigation is possible if you have the necessary information in real-time factors such as moisture and soil temperature, and if this is added an individualized system like drip irrigation, each plant can receive immediately only the necessary amount of water, in consequence of the vital liquid waste and reduced crop quality is improved. The WSN can help get everything raised as they can wirelessly control the various effectors of the irrigation system, without the need for a complex wired infrastructure.

IX. BASIC CONCEPTS

A. WSN Network

A wireless sensor network (WSN) is a wireless network consisting of spatially distributed autonomous devices using sensors to monitor physical elements together or environmental conditions. [1]

B. Components

The components of a typical WSN network are: sensors, nodes, gateway, base station and wireless network.

Sensor node

A sensor node or mote, is a computational element with processing power, memory and communication interface can form an assembly or sensor network. [2]

Gateway

Is an element used for interconnection between the sensor network and a wired network and base station, you can translate the data into an understandable format for the application developed reports on problems that may arise in the sensor network, managed towards WSN to change the configuration of the nodes or the network, among others. [2]

Base station

The base station is a data collector based on a common PC or embedded system. If a common structure using the acquired

data are stored on a server computer in a database, allowing users to access information for analysis. [2]

Wireless Network

There are several alternatives for wireless transmission of sensor nodes, being the basis of the IEEE 802.15.4 Zigbee most appropriate due to its low energy consumption standard. [2]

C. Topologies

Topology refers to the configuration of the hardware components and the data are transmitted via this configuration. Each topology is appropriate under certain circumstances may be inappropriate in others. [3]

Star

System where the only information sent leaps and where all sensor nodes are in direct communication with the gateway, usually within a range of 30 to 100 meters. All sensor nodes are identical, end nodes, and gateway information captures them all. The gateway is also used to transmit data to the outside and allow monitoring of the network. End nodes do not exchange information between them, but use the gateway for it, if necessary. [3]

In Figure 1 a diagram of a star topology network WSN indicated.

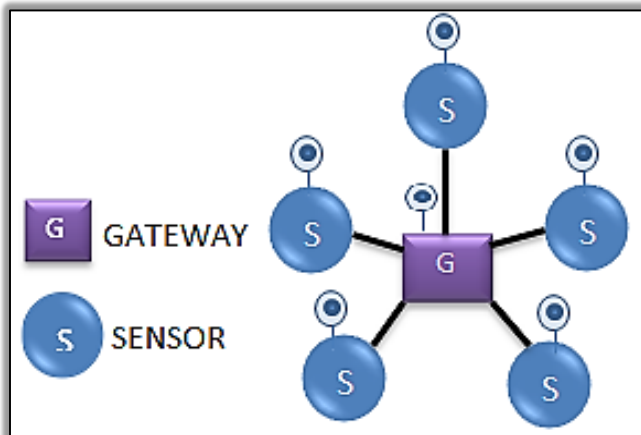


Fig. 1. Star topology.

Mesh

A multihop system where all nodes are routers and are identical. Each node can send and receive information from another node and the gateway. Unlike the star topology, where nodes can only talk to the gateway at this node can send messages between them [3].

The scheme of this topology is shown in Figure 2.

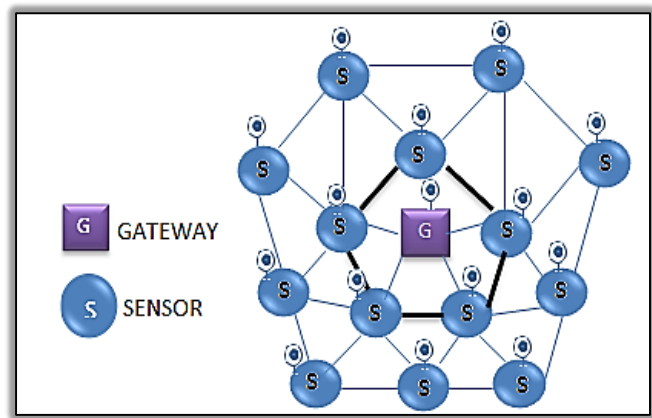


Fig. 2. Mesh topology.

Star - Mesh

This topology combines the advantages of the mesh and star topologies as simplicity, low power consumption, ability to cover a wide area and reorganization fail. This topology creates a star network around routers belonging to a mesh network. The function of routers is to offer the possibility of extending the network and correct the flaws in these nodes also saves energy by connecting the end nodes with neighboring routers. Its outline is indicated in Figure 3.

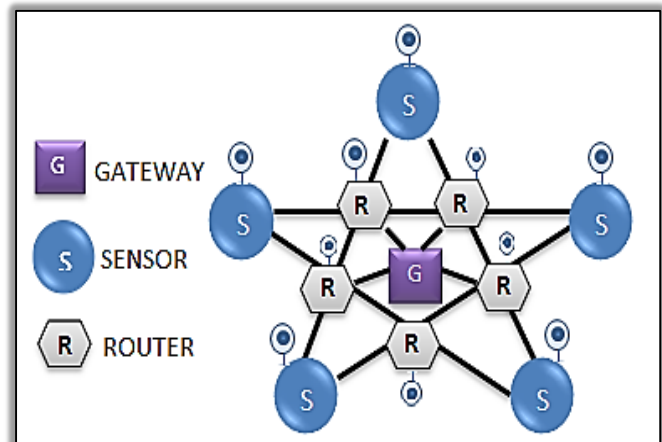


Fig. 3. Star – mesh topology

D. IEEE 802.15.4 standard

IEEE 802.15.4 is a standard that defines the physical layer and medium access control for wireless personal area networks with low data rates.

Basic architecture of ZigBee

Standard architecture is defined by layers. Each layer is responsible for the services offered to higher layers. The layering scheme is based on the Reference Model for Open Systems Interconnection OSI.

ZigBee Alliance endorsed the IEEE 802.15.4 standard, which defines the upper OSI protocol layers and develops application profiles that can be shared between different manufacturers. The first two layers, the physical (PHY) and the

medium access control (MAC) are defined by the 802.15.4 standard and the upper layers, Network (NWK) and Application (APL), the ZigBee Alliance. In Figure 4 the outline of the stack ZigBee.

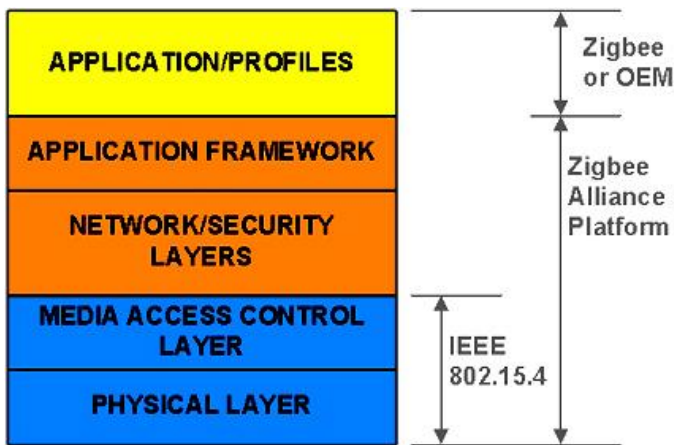


Fig. 4. Basic architecture ZigBee.

E. PIC Microcontrollers

It is called a programmable microcontroller device capable of performing different activities that require the processing of digital data and digital communication and control different devices. [5]

The PIC is a family of RISC microcontrollers manufactured by Microchip Technology Inc. and derivatives PIC1650, originally developed by the microelectronics division of General Instrument.

F. Sensors

The switches are electronic devices capable of detecting the variation of a physical quantity such as temperature, light, movement, and pressure; and convert this value into an electrical signal either analog or digital. [6]

Temperature

The temperature sensor is a useful plant to control crop development tool. The great advantage of this measure is that it is not necessary to have direct contact with the floor and therefore prevents damage to it.

Humidity Sensors

Humidity sensors, based on the water is not an insulator but as the air has an electrical conductivity. [7]

Light sensors

A light sensor detects the illuminance. Measure the amount of light reaching a photo-electric cell (basically a resistor). The resistance is low and high light with darkness (dark sensor). They can be used in several ways: they can measure intensity, can be targeted, focused, protected. A photoelectric sensor is an electronic device that responds to the change in light intensity.

G. Growing Strawberry

Strawberry is a non-traditional fruit grown in different areas of the country, this culture has one of the most desirable fruit nationally for its use in different dishes and desserts. Being a plant that is endemic to Ecuador this suits the place you go to be cultivated must follow a process from choosing the plant to production and harvest.

Overview

The strawberry belongs to the family Rosaceae and the genus *Fragaria*. The Rosaceae family includes more than 2000 species of herbaceous plants, shrubs and trees distributed in temperate regions worldwide. They have documented over a thousand varieties of strawberries. It is a creeping plant, gnarled stems and stolons; large, trifoliate, petiolate and white on the underside leaves. The fruit is known as strawberry is actually a thickening of floral receptacle, with the dots on it there the real fruit is nearly round conical, bright red or orange-red; presents a fragrant, juicy and buttery flesh that melts in the mouth at low pressure, with a flavor that varies: acid to very sweet. What characterizes this fruit is its intense aroma. [8]

Crop management

- **Standard Ground.** - For outdoor crops do allow teams used mechanically, using a harrow or plow, is not recommended herbicide application. As soil cleanup consists weeding, removing stones and all kinds of trash or debris at the scene for cultivation; so that it is free from impurities which cause deterioration in long development of plants.
- **Substrate** -. Substrate the term applies to any other solid material in the soil, its origin may be natural, synthetic or residual mineral or organic that allows anchoring the root system, thus playing a role of support for the plant. [9]
- **Leveling** -. Leveling land or establish plantations in Contours has the following goals.
 - ✓ Remove low areas where water can stagnate.
 - ✓ Ensure that the drainage of the land is full and even.
 - ✓ To establish the distribution of irrigation water in a partner and evenly.
 - ✓ Reduce the cost of labor and time required to irrigate the plantation.
- **No construction or hip** - Highest stand (mound), acts in three ways to increase the productivity of the **plantation**. Provides a deep area of loose soil and removed that promotes the development and maximum root penetration ensures good drainage of the root system and helps prevent problems root rot, fruit placed above the reach of irrigation water, reducing rot problems and aid in ventilation of the plant and fruit. [10]
- **Ground cover** -. Coating involves covering the floor easels with black polyethylene, 0.2 to 0.4 mm thick, in order to prevent the fruit has direct contact with the soil and reduce pest and disease problems. [11]
- **Seeding** -. Two rows in each bed are placed, separated 40 cm apart and plants at 30 cm, measurements that can be modified according to the needs of the farmer. [10]

- **Irrigation** -. Irrigation is a key factor in the production of strawberries, because plants need water always, during their growth and production. It is essential that plantations have adequate irrigation system, which can be spray or drip in the case of strawberry production.

If drip irrigation is called drip irrigation and is generating the best results, this system delivers water and fertilizer directly into the root zone of influence.

Climatic requirements

The development of crops at different stages of growth, is influenced by environmental factors such as temperature, humidity and light.

- **Temperature** -. Strawberry is a crop that is well adapted to many types of climates. Vegetative part is highly resistant to frost, reaching temperatures up to -20°C , although the floral organs are destroyed with somewhat lower values at 0°C . At the same time are able to survive summer temperatures of 55°C . The optimum values an appropriate fruit, are around 15°C to 20°C on average. Strawberry is a crop that is well adapted to many types of climates:

- ✓ Biological minimum temperature 6°C .
- ✓ Minimum lethal temperature -12°C (vegetative phase, -6°C and flowering phase, $0-2^{\circ}\text{C}$).
- ✓ Optimum temperature, $10-13^{\circ}\text{C}$ and $18-22^{\circ}\text{C}$ night C daytime. [12]

- **Humidity**. - Proper relative humidity is 60 to 75%, when excessive allows the presence of fungus diseases, by contrast, when it is deficient, plants suffer physiological damage affecting production; is considered to have a strawberry patch 400-600 mm water consumption annually. [13]

H. Drip irrigation system

An irrigation system that delivers water dropwise. Depending on the needs of the crop, wet only part of the ground where the roots are concentrated therefore also called drip irrigation, or high frequency is applied as the water almost daily or several times a day. Among the main advantages is that it provides significant reduction in the volume of water used. [14]

Components

A drip irrigation system consists of a charging system and a network of distribution pipes. To the charging system are generally the pump, filter, fertilizer injector, control valve, pressure regulator and automatic control unit. [14]

Types drip

The drip irrigation according to the space where it will be located is classified as: [15]

- **Underground to neo:** This system is widely used in areas where the root of the plant is of great extent and sugarcane. Allows use of wastewater avoiding waste liquid. Water loss due to evaporation, mist, surface runoff or wind interference is eliminated.
- **Surface:** The surface systems usually fixed, which also are called solids. This type of irrigation is best suited to deep soils with high water holding capacity.
- **Air:** Special for use in greenhouses, water falls by gravity at the foot of the plant.

Greenhouse

A greenhouse is any enclosed structure covered with transparent materials, within which it is possible to obtain artificial environments HVAC product and thereby grow plants out of season in top condition. [16]

X. WSN DESIGN AND CONSTRUCTION

A. Description

The WSN network is basically composed of two sensor nodes and a central node or gateway that bridges between the first and the base station via a USB communication, the general scheme is shown in Figure 5.

The aim of controlling the irrigation system is to maintain certain variables within a set range, regardless of the presence of external influences that alter the process.

The network consists of five distinct processes: sensing, data transmission, storage and processing of information, response and power.

In the proposed system measurement quantities are temperature, humidity and light, which should be monitored to be controlled equating to a value suitable for the development of the crop, the user can reach this by a man-machine interface.

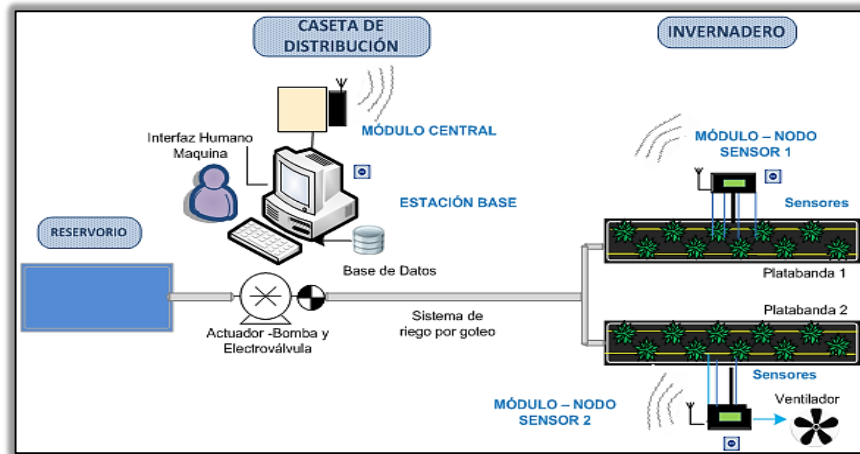


Fig. 5. General scheme WSN.

Los network sensors measure air temperature, soil temperature, relative humidity, soil moisture and light, the data can be displayed on the sensor modules via an LCD screen or in the GUI.

There are two basic variables, soil moisture and temperature environment, which directly affect the functioning of the system, the registration of other variables provides support for studies on crop performance that the students and teachers of the race agriculture. The acquired data is stored in a database to generate reports.

It is noteworthy that according to the value obtained by the light sensor backlighting of LCD provides the user to observe the data without difficulty on the screen will light node.

Sensor node 1 Module

It consists of two sensors of soil moisture, humidity sensor, a temperature sensor of the environment temperature sensor ground and a light sensor. The sensor signals entering a PIC18F2550 microcontroller and communication through UART data from the sensors enter the radio frequency module (Zigbee), which in turn transmits the data wirelessly to the central module.

Sensor node module 2

It consists of two soil moisture sensors, and an actuator (fan), the acquisition and transmission process is similar to the node 1.

Central module (Gateway)

This node is considered as the coordinator of the network, through a USB data communication sensor nodes to the base station where it performs monitoring and control variables are entered.

B. HARDWARE DESIGN

In the block diagram of Figure 6 components and the general configuration of the communication between the sensor nodes and the central node, differentiating each process is shown.

Sensing process

- **DS18B20 digital temperature sensor 1-WIRE -.** Has two presentations, discovered and waterproofed. If the project has chosen the latter being useful for measuring in remote sites or in humid conditions. Its main characteristics are in Table 1.

Table 1

Features digital sensor DS18B20

DS18B20 digital temperature sensor waterproof
• 1-Wire @ interface requires only one port pin for communication or n.
• Device code or unique 64-bit stored in a ROM.
• No external components required.
• Alimentation ion range is 3.0 V to 5.5 V.
• Temperature Range -55 ° C to +125 ° C (-67 ° F to + 257 ° F).
• ± 0.5 ° C accuracy from -10 ° C to +85 ° C.
• Solving the term ion meter or selectable 9-12 bits.
• Query time 750 ms (m x.).
• Connection with 3 wires: red cable VCC, GND black wire, yellow wire data.
• Say to metro: 6 mm stainless steel tube 35 mm long
• Speak to Metro Cable: 4 mm
• Total cable length: 90 cm
• Applications include thermostats, industrial systems, consumer products, term or feet, or any thermally sensitive system

- **Humidity Sensor Meroduino -.** Has good benefits as reduced size and ease of use. This small element provides analog voltage output that can be connected directly to the ADC input of any microcontroller. Their characteristics are listed in Table 2.

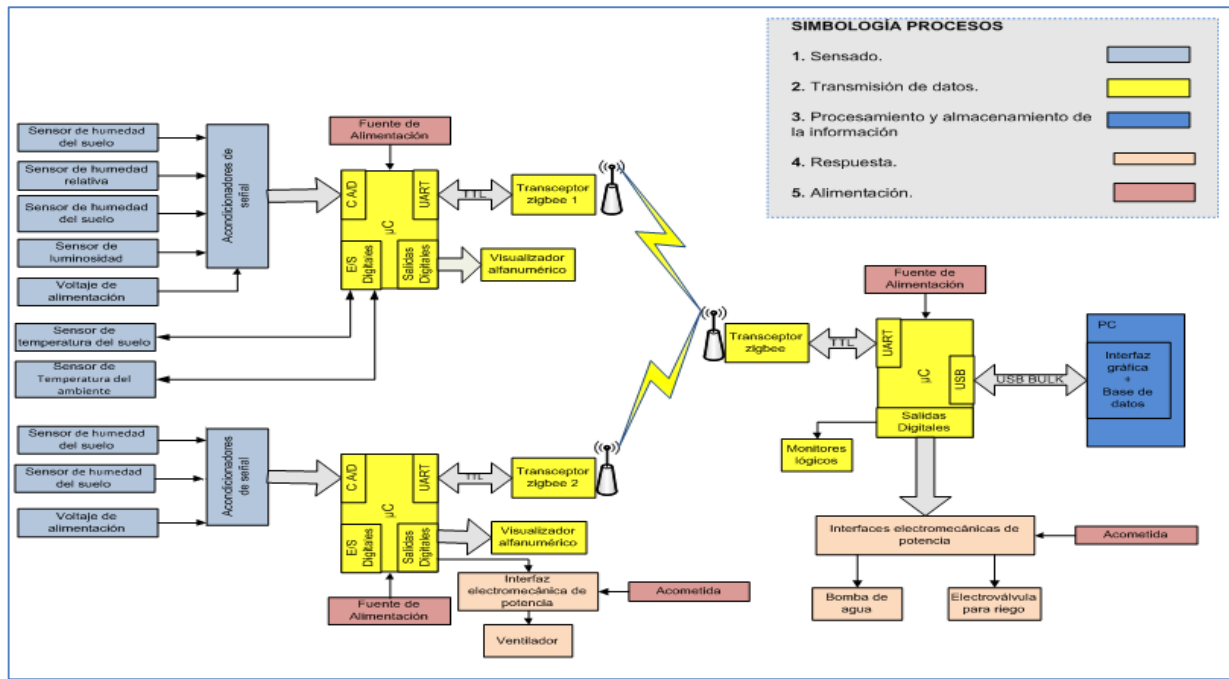


Fig. 6. Diagram of the system to be implemented.

Table 2
Relative humidity sensor HIH-4000-001

HONEYWELL relative humidity sensor HIH-4000-001	
•	Tension of alimentation or n or n 4 to 5.8 VDC
•	3-pin SIP Package 2.5mm ion separation
•	Medici ion range from 0 to 100% RH (relative humidity)
•	Ation operation temperature of -40 to 85 ° C
•	Linearity of ± 0.5% RH.
•	0.8 - 3.9VDC (0-100% RH) at Vcc = 5VDC

- **Light sensor based on a LDR -.** is a small element capable of detecting the level of light hitting its surface. It is very econ mico f or easy to install. His behavior is that of a resistor var t his value inversely proportional to the amount of light falling on its surface sensible way. With m to maximum brightness just the ctrica é no resistance between its two terminals, elev climbing again to millions of ohms in darkness. The variation or n is purely resistive and lacks polarity.

Data transmission process

- **PIC18F2550 Microcontroller.** - For the development of this application has been selected for both the PIC18F2550 microcontroller sensor nodes to the central node. Its main characteristics are shown in Table 3.
- ✓ **UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter),** allows for asynchronous serial communication between: the microcontroller and ZigBee modules.

- ✓ Module analog / digital conversion (A / D), used to process the analog data obtained in the process.
- ✓ Input / digital output, used for reading and writing this two digital.

Table 3
General features Power PIC18F2550

Features PIC18F2550	
No pin PDIP encapsulation:	28
Input / output:	A, B, C
No I / O:	24
Flash memory:	32Kbytes
Maximum number of simple instructions:	16384
SRAM memory:	2048 bytes
EEPROM memory:	256 bytes
Communication SPI, I2C:	SI
Compatible with USB v2.0:	SI
Number 8 bit timers:	1
Number of 16-bit timers:	3
Característica Eléctricas	
Working ambient temperature:	-40 ° C to +85 ° C
Storage Temperature:	-65 ° C to +150 ° C
Vdd:	4.2V to 5.5V
Current input / output to a pin:	± 20 mA
Max. any output pin:	25 mA
Max. Out of all ports:	200 mA

Below in Tables 4, 5 and 6, the pins using the communication devices for the detection and transmission of data from each of the sensor nodes is shown for which the number of pins and which functions are given by each of these PIC used.

Node Module Sensor 1

Table 4

Pines and functions of the Node Module PIC18F2550 Sensor 1

NODE MODULE SENSOR 1			
PUERTO	FUNCTION		SPECIFICATION
	I / O	DATA TYPE	
RA0	INPUT	ANALÓGICO	Input data of the supply voltage.
RA1	INPUT	ANALÓGICO	
RA2	INPUT	ANALÓGICO	Relative humidity.
RA3	INPUT	ANALÓGICO	Soil moisture 1.
RA4	INPUT	ANALÓGICO	Soil moisture 2.
RC0	INPUT	DIGITAL	Brightness.
RC1	INPUT	DIGITAL	1Wire temperature sensor.
RC2	OUTPUT	DIGITAL	1Wire temperature sensor.
RC6	OUTPUT	DIGITAL	Backlight on or off.
RC7	INPUT	DIGITAL	Transmission Zigbee Module. Welcome Zigbee Module.

PORT B intended for the connection of the pins of the LCD

Node Module Sensor 2

Table 5

Pines and functions of the Node Module PIC18F2550 Sensor 2

NODE MODULE SENSOR 2			
PUERTO	FUNCIÓN		SPECIFICATION
	I / O	DATA TYPE	
RA0	INPUT	ANALÓGICO	Input data of the supply voltage.
RA2	INPUT	ANALÓGICO	
RA3	INPUT	ANALÓGICO	Soil moisture 1.
RC1	OUTPUT	DIGITAL	Soil moisture 2.
RC2	OUTPUT	DIGITAL	Power on / off fan.
RC6	OUTPUT	DIGITAL	Power on / off backlight.
RC7	INPUT	DIGITAL	Transmission Zigbee Module. Welcome Zigbee Module.

PORT B intended for the connection of the pins of the LCD

Central Node Module

Table 6

Pines and functions of the Central Node Module PIC18F2550

MODULE CENTRAL NODE			
PUERTO	FUNCTION		ESPECIFICACION
	I / O	TIPO DE DATO	
RA0	OUTPUT	DIGITAL	LED display 1.
RA1	OUTPUT	DIGITAL	Display led 2.
RA2	OUTPUT	DIGITAL	Pump out
RA3	OUTPUT	DIGITAL	Valve out.
RC6	INPUT	DIGITAL	Transmission Zigbee Module.
RC7	OUTPUT	DIGITAL	Welcome Zigbee Module.
RC4	OUTPUT	DIGITAL	USB Drive
RC5	INPUT	DIGITAL	USB Drive

- **Configuration or n or n USART communication. -**

The USART module can be configured in two ways. Asynchronous (bidirectional) and synchronous (directional) in the specific case of this application is used first.

The information bits in the synchronous mode are transmitted in both directions on the data line DT at the frequency of the pulses generated by the master clock line CK.

In asynchronous mode, the RS232C standard, where every word of information or data are independently sent to the other, the word is 8 or 9 bits and is preceded by a START bit (home) and behind them is used standing one bit of STOP (stop). The bits are transferred to a standard fixed frequency. The USART transmits and receives the least significant bit first.

- **Configuration analog - digital converter -** The PIC18F2550 microcontroller has 10 pins configurable for this purpose, the resolution is 10 bits; required operation for the analog signal is applied to a capacitor capture and storage (sample and hold) which then introduce in the analog / digital converter, the successive approximations generated by a word of 10 bits.

The records are handled for analog / digital conversion in the microcontroller are:

- ✓ ADRESH / ADRESL: high and low conversion result Party.
- ✓ ADCON0: Control Register 0, which configures the operation of the converter.
- ✓ ADCON1, Control Register 1, which configures port pins A (or E) as analog inputs or digital I / S.
- **Use of interruption -** The interrupt handling is considered as one of the most important features of microcontrollers, that are considering an asynchronous function to jump in events that take place in real time on the microcontroller; allowing cease its activities and pass-an event that was raised to find instruction to enable interruption leave and return to the main program where it was and continue executing before the interruption occurred.

18F2550 microcontrollers have multiple interrupt sources and priority levels to each of these can be assigned either a high or low level of implementation. The sources are:

- ✓ External interrupt on pin RB0/INT
- ✓ Level Change (state) in the RB4 to RB7 pins.
- ✓ Completion timer / TMR0, TMR1 and TMR2 counter
- ✓ Completion of EEPROM write data
- ✓ Module interrupt capture / compare 1 and 2.
- ✓ Transmission or reception of a character interface for synchronous / asynchronous serial.
- ✓ End of A / D conversion
- ✓ Read / write the parallel port communication with other microcontrollers.

The configuration is made in interruptions INTCON register, by writing the values 1 or 0 in the corresponding bits of register depending on the interrupt.

- **Module XBee PRO S1 -.** The RF module used in the three nodes of the network is the XBee PRO S1, shown in Figure 48, is manufactured by MaxStream, working at 2.4 GHz, 250 Kbps, which is the IEEE 802.15.4 (Zigbee) standard with a range of 90m indoors (office buildings) and 1500m outdoors (line of sight). (Table 7)

Table 7
XBee Module S1 PRO Features

MODULE XBEE PRO S1
<ul style="list-style-type: none"> • Built-in Antenna. • 3.3V at 215mA • 250kbps Max data rate • Output 60mW (+18 dBm) • Range 1 mile (1,500 meters) • Built-in Antenna • 6 to 10-bit ADC input pins • 128-bit or n encryptaci • No configuration or Local Air • AT or API command set

- **Crystal Display liquid L i.** - The LCD screen is capable of displaying any alpha-numeric character. The modules of the sensor nodes have a LCD 2x8 (2 rows and 8) for the visualization of data from sensors, in addition to the voltage that is supplied to that node.

4 bits is handled, the information you receive is a long 8bit microcontroller so divide the information and sends 4 bits 4 bits. Its advantage is that less microcontroller pins are used.

The data displayed in the LCD depend on the sensors or actuators connected to the modules. In Tables 8 and 9 I could see the messages presented according to each node

Table 8
LCD messages Node 1

LCD messages Node 1
Home Message: Module 1
Voltage: VOLT
Brightness: LUM
Soil moisture sensor 1: HS1
Soil moisture sensor 2: HS2
Relative Humidity: HR
Ambient Temperature: TA
Suelo1 temperature: TS1

Table 9
LCD Node 2 Posts

LCD Node 2 Posts
Home Message: Module 2
Voltage: VOLT
Soil moisture sensor 3: HS3
Soil moisture sensor 4: HS4
Fan status: OFF FAN
ONN FAN

Processing and storage

Pentium Dual-Core, 2GB RAM, Windows 32-bit operating system Processor for processing and storage of information acquired a desktop machine with the following relevant features used.

The computer is the human - machine made in LABVIEW addition to the database.

Process response

The response process covers the pump actuator, solenoid valve and fan charge of maintaining the basic variables (soil moisture and ambient temperature) within the benchmark set from the user interface.

Process response

Both the pump and solenoid valve for the respective operation has electromechanical power interfaces, which condition the voltage to supply just the right about the working conditions of those elements, prevent damage exists in these by a rise or fall of the input voltage.

As the shed that houses the pump irrigation and greenhouse have the power supply, allowing the actuators running smoothly already mentioned.

For the operation of the sensor nodes they must have a power source, according to the analysis of the work area and taking into account the theoretical foundation collected from the WSN networks, these can be fed by batteries in cases where there is no access to a network of electricity; but in the specific case of this project to be developed for a network of Yuyucocha greenhouse farm and taking into account that this is the service, use of power outlets to supply adequate power nodes is done through a regulator voltage.

C. DESIGN SOFTWARE

The microcontroller software is developed in C language, using the CCS compiler, libraries have to be practical and established routines that enable the management module UART, interrupts, Digital Analog Converter (DAC), LCD, USB Bulk, sensor DS18B20, One -Wire.

Basics

The main function is the transmission and reception of the data generated by the sensor nodes 1 and 2, the reading performing analog and digital sensors to send the data back into the proper format. Likewise it is waiting to send data through the serial hub interruption. Also pending is receiving the data sent by the other device via a serial interrupt.

Each sensor modules (their zigbee modules) have a preset address to allow communication between them and the central node provided to them at the time of the initial configuration and is preset for your work.

NODE Zigbee Module 1: 0013A2004091AF63

NODE Zigbee Module 2: 0013A2004091AF80

Central Zigbee Module (Bridge): 0013A2004091AF608E

For communication each node has an ID set for status on or off elements Node 1 will be known as "A" and Node 2 is "B", the plot assigned will have four bits to zero state to off and one for power:

0	0	0	0
backligh	ventilador	bomba	válvula

Fig. 72. Frame node 2.

fan	pump	valve
-----	------	-------

To manage the data generated in the process one frame of information, in which each data is sent with an identifier start character, followed by the data and then the character that identifies the end, then a sample is observed develops the transmission and reception of Node 1:

NODE 1 TRANSMISSION

A	0	9	5	B	0	9	8	5	C	0	9	9	D	1	0	0	E	0	2	5	3	F	0	6	5	3	G	0	9	9	H	0	5	
Alimenta	Humedad	Humedad	Humedad	Temperatura	Temperatura	Luminosi											Backlight	Fin trama																
ción : 9,5	Relativa:	suelo 1:	suelo 2:	ambiente:	del suelo:	dad: 99%																												
V	98,5%	99%	100%	25,3°C	65,3°C																													

Fig. 8. Transmission frame node 1.

Backlight:

- ✓ 0 : backlight OFF
- ✓ 1: backlight ON

NODE 1 RECEPTION

0	&	1	&
Apagar backlight		Encender backlight	

NODE 2 TRANSMISSION

Fig. 10. Transmission frame node 2.

NODE 2 RECEPTION

The separation of the data of each frame is performed in an alphabetical order starting with A from node 1 and ending in M with two data node.

Graphic interface

The interface allows the user to observe the data are sent from the sensor nodes, which also displayed using graphs is the behavior over time of each of them. Figure 12

Fig 12. Screen GUI.

Graphic interface

The database is made of Microsoft Access 2010 because the charge of operating the system have the necessary knowledge about the program.

The base data are recorded from those obtained by the graphical interface serving the same great help in statistical development of crop performance to students studying agricultural.

XI. IMPLEMENTATION NETWORK AND OPERATIONAL TEST WSN

A. ASSEMBLY

The central module and the sensor nodes are assembled separately and individual testing of each element are performed to ensure smooth operation together.

B. INSTALLATION

Once each module assembly is made to install the entire system with respective protection, such as fuses and circuit breakers, transformers addition to the valve solenoid and the central node.

Sensor modules

Modules one and two are installed one in each platabanda, placing sensors at the most appropriate for proper sensing parts. These were superimposed on metal bases to 60 cm of the soil to prevent direct contact with moisture and prevent damage to components.

Sensor nodes are located each at 4 m above the level of the entrance gate, to facilitate distribution of the sensors with each of the probes.

The antenna modules are placed in the direction to the hub to prevent loss of the signal.

The soil moisture sensors were placed at 30 cm from the surface taking into account that the area is suggested for data collection on a strawberry plant.

The light sensor is located on a high point for the greenhouse that captures the change in brightness in the interior.

The ambient temperature sensor is located in a central area to achieve better capture the data.

The soil temperature sensor was placed on the substrate under the platabandas plastic coating.

Each sensor node has its signaling respetiva your name.

Central module

The central module is installed in the cab of irrigation distribution system, is subject to the system enclosure.

The module is located on the computer that hosts the user interface and the database.

C. TEST

The tests conducted in this project were established according to the scope proposed. Focus on verifying that it is possible to optimize water use in growing strawberries.

Humidity Sensors

To ensure proper functioning of such sensors were calibrated before starting their work. Reference was a glass of

water which in this case represents 100% humidity and a glass of bone-dry land to indicate a value of 0% humidity. Because the rate is mostly handled in the drive means for indicating the amount of water contained in an area of soil was taken as reference.

Temperature Sensors

To determine whether the ambient temperature sensor and temperature of the soil compared to a thermometer used in the floricultural crops. Determining a variation 0.2 degrees.

Light sensors

The light sensor calibration was performed using as benchmark total darkness to represent a 0% Brightness and direct light as 100% brightness. The sensor was tested directly inside the greenhouse making excellent progress at the moment of ignition of the backlight (backlight) on the LCD screen when it gets darker, allowing the user to view the data in the hours of the night.

Installed system

Installed sensors show the data acquired on the LCD and can check whether the data in the sensor modules receptados are the same as those displayed by the GUI, you can also check that the actions of the actuators are made according to the parameters set .

To verify that the nodes are transmitting can do it using the graphical interface with visual notifications provided by the developed software.

For proper connection of the nodes was necessary to adjust an antenna out of the hub and place it on the outside of the house to avoid the obstacles that lie between this and the greenhouse.

With excellent connectivity previous step where data is transmitted in an appropriate way was achieved.

D. RESULTS

To verify whether the issues raised in the project met certain tests were developed as:

- Let dry completely and apply substrate by visual method certain amount of liquid.
- Entirely overlap the substrate and applying the same method a certain amount of liquid.
- Apply mechanically with irrigation fluid.
- Apply through the proposed only the amount of liquid required system.

After testing above was verified that the system can meet the optimization of water for farming, provides the ability to use the water for other crops economized Farm Yuyucocha and helped improve crop production.

XII. BUDGET REFERENCE

Table 10 shows a reference estimate of the components employed in the development of network WSN, specifically materials used in the nodes of the network is indicated.

Table 10.

Reference pricing table network nodes

ELEMENTS	QUANTITY	PRICE (USD)
Batteries (2)	2	20
Humidity sensors (4)	4	36
Relative Humidity Sensor (1)	1	13
Temperature sensors (2)	2	16
Light sensor (1)	1	4
ZigBee Modules (3)	3	120
Switching power 12 V (2)	2	16
PIC18F2550 (3)	3	21
LCD (2)	2	10
Relays 24V (2)	2	16
Switching power supply 24 V (1)	1	30
Boxes (3)	3	6
Electronic elements in general	----	25
Voltage Regulator (2)	2	1.60
Plates and plates manufacturing	-----	15
USB Cable (1)	1	3
Relay 12 V automotive (1)	1	2.50
TOTAL:		355.10

Table 11.

Benchmark pricing table irrigation system reference pricing.

QUANTITY	ELEMENTS	PVP	T. VALUE (USD)
5	PE Hose BLIND 32-4 bar 100	1.04	5.20
4	Stretch hose 16 mm X 35 CM	0.12	0.48
5	PVC had E / C 1.25 x 32mm x 6m MPA	6.91	34.55
4	PVC Adaptor32mm x 1 "male:	1.21	4.84
4	Elbow 32 x 90 Gr	1.01	4.04
5	Teflon:	0.60	3.00
1	Cleaner (Gallon):	3.99	3.99
1	Paste PVC (Gallon):	5.07	5.07
40	Unions GOL 2 Holes:	0.32	12.80
1	Elbow 32mmadapter x1 "female:	6.91	6.91
4	Double plasticnipple "female:	1.08	4.31
1	Tee 1 "Plastic:	4.24	4.24
1	Plug 1 "Male:	1.30	1.30
1	End cap 32 mm:	6.45	6.45
1	Union 1 "female thread:	2.07	2.07
4	Initial connector 16 mm:	0.34	1.36

4	End of line 16 mm:	0.16	0.64
4	Union Fler-Flex 16mm:	0.46	1.84
1	Short Filter 1 ", plain black	41.20	41.20
1	Solenoid 210 1 "BPS GLOBE 2W 24VAC	41.11	41.11
2	Attach Omen Male 1 "threaded	12.00	24.00
2	Attach female Omen 1 "threaded	12.50	25.00
1	BARNES Pump1HP Single Phase 11/2 "x 11/2	285.00	285.00
1	Foot valve 1 "	17.00	17.00
TOTAL:		536.41	

XIII. CONCLUSIONS

Upon completion of the project can carry out the control and monitoring system of drip irrigation greenhouse where a crop of strawberries from the Farm Yuyucocha develops through the use of a WSN network that does not require the presence of an administrator monitor the watering process, benefiting all related to this area of study.

According to the theoretical investigation prior the project was determined that the WSN networks are not well known in the country and just have developed a few projects with this technology, the main obstacles are the initial cost and lack experience in this area.

Although Ecuador is a predominantly agricultural country, farming methods and irrigation are rustic, and there are few sectors that have chosen modernized using new technologies. In developing the project in an agricultural farm it was found that the technology is not unrelated to this field and can contribute significantly to its development.

Implementing new technologies in optimizing the development of any type of operation is an important development as can be seen in this work, especially if this did help to preserve non-renewable resources such as water by monitoring and controlling a system of drip irrigation.

The WSN network is developed taking into account each of the needs of users of drip irrigation system, providing important data from the sensed variables for the progress of the crop in the greenhouse.

The implementation of this new technology in the Experimental Farm Yuyucocha represents a significant advancement in automation of irrigation sector, since the monitoring of critical variables is extremely important in the development of any culture system allowing the user to make better products but mostly learn from the influence of these at all stages of development.

The Zigbee technology is most often used for the development of WSN networks by value and ease of use.

At the end of the whole process is managed to convey to the user in a clear and friendly information about the behavior of the sensed variables through the graphical interface and the input of data storage by database.

The implementation of a WSN network for control and monitoring of an irrigation system allowed consolidate the

knowledge acquired in the classroom because the system covers concepts both networks and electronics.

XIV. RECOMMENDATIONS

It is very important to take into account the environmental conditions where the zigbee modules operate, to minimize external influences that alter its proper functioning, as such clearing unnecessary items in the area between the greenhouse and the shed allow greater scope and better network operation.

Ideally, install a mast antenna to achieve immobilize the central node, because in the area at certain times of year strong winds occur causing signal drops that prevent data flows continuously between the sensor nodes and Central.

Carry out the respective grounding of all elements present in both the switchgear room and in the greenhouse to safeguard the safety of users, improve the operation of the equipment, reduce the possibility of damage due to lightning or fault currents . Considering that if teams suffer some damage causes economic losses will be mentioned time and reducing the productivity of the system.

In addition to the sensed variable can be performed with appropriate adaptation other modules allowing greater control of crop development parameters further minimizing water consumption.

The data stored in the database can be migrated to an online application that can be used from remote locations.

Users of the network implemented WSN suggest that this technology is installed in other areas of the farm Yuyucocha due to the excellent results that have been palpated during project development

AWARDS

Special recognition at the Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) of the Universidad Técnica del Norte, and authorities expressed; provided by the opening to develop this project in their facilities.

REFERENCES

- [17] Calvo Astrain, J. M. (2012). Gestion y monitorización de contenedores. Obtenido de Tesis de Pregrado, Universidad de Navarra - España: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/5604/577782.pdf?sequence=1>
- [18] Molina Martínez, J. M., & Ruiz Canales, A. (2010). Automatización y telecontrol de sistemas de riego. Barcelona: MARCOBO, S.A.
- [19] Fernández Martínez, R., Martínez de Pisón Ascacibar, F. J., Ordieres Meré, J., González Marcos, A., Alba Elías, F., Lostado Lorza, R., & Pernía Espinoza, A. V. (2009). Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones.
- [20] Ortega Huembes, C. A., Roque, D., & Úbeda Sequeira, L. E. (28 de Julio de 2008). Trabajo de Técnicas de Alta Frecuencia: ZigBee. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/zigbee/zigbee.pdf>
- [21] Barneda Faudot , I. (2008). Zigbee aplicado a la trasmisión de datos de sensores biomédicos. Obtenido de Tesis de pregrado, Universidad autónoma de Barcelona: <http://www.recercat.net/bitstream/handle/2072/13081/PFC%20Ivan%20Barneda.pdf?sequence=1>
- [22] Bits de Ingenio. (2011). Instrumentación electrónica, ¿qué son los sensores?: Bits de Ingenio. Obtenido de Bits de Ingenio, Ciencia y Tecnología: <http://www.bitsingenio.com/%C2%BFque-son-los-sensores/>

- [23] Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. (2011). Sensores. Recursos Didácticos. Obtenido de Recursos http://recursos.tic.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11_contenidos_3e.htm
- [24] Santoyo Juárez , J. A., & Martínez Alvarado, C. Ó. (2009). Paquete tecnológico para la producción de fresa. Obtenido de Fundación Produce: <http://www.fps.org.mx/divulgacion/attachments/article/814/Paquete%20tecnologico%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20fresa.pdf>
- [25] Gallardo, C. (2009). Sustratos para plantas, tipos y principales características. Obtenido de Contenidos Educativos en Internet: http://www.oni.escolas.edu.ar/2003/ENTRE_RIOS/58/macronutrientes%20en%20sustratos%20para%20plantas.pdf
- [26] VIANSA. (2008). Guía para el establecimiento de una plantación de frutilla. Obtenido de Empresa Productora de Plantines de Frutilla : http://www.viansa.com.ar/pdf/Viansa_esp.pdf?visita_viansa=4a49b02fbcab47b836dabea6de19df8
- [27] Ingeniería Agrícola. (2008). Ing. Agrícola. Fresa: Toda la Agricultura en Internet. Obtenido de sitio web de infoAgro: <http://fichas.infojardin.com/hortalizas-verduras/fresa-fresas-freson-fresones-frutillas-fresales.htm>
- [28] NFOAGRO. (2011). Infojardín Fresa: Toda la Agricultura en Internet. Obtenido de sitio web de infoAgro: <http://fichas.infojardin.com/hortalizas-verduras/fresa-fresas-freson-fresones-frutillas-fresales.htm>
- [29] El Agro. (2011). Manejo Integrado del Cultivo de Frutillas. Obtenido de Revista electrónica EL Agro: <http://www.revistaelagro.com/2012/01/18/manejo-integrado-del-cultivo-de-frutillas/>
- [30] Palomino Velásquez , K. (2009). Riego por Goteo. Lima: Empresa Editora Macro.
- [31] Sánchez Reyes, C. (2005). Sistemas de Riego: Uso, Manejo e Instalación. Lima: Ediciones Ripalme.
- [32] Mantilla , P. (2008). Monitoreo y control de temperatura ambiental y humedad del suelo en un invernadero de tomate riñón, utilizando comunicación inalámbrica. Obtenido de Tesis de pregrado, Politécnica Nacional del Ecuador: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/700/1/CD-1648%282008-08-05-09-47-33%29.pdf>



Edgar A. Maya A.

Born in Ibarra, province of Imbabura on April 2, 1980. Computer Systems Engineer of the “Universidad Técnica del Norte” in 2006. Currently, teacher of the Electronics and Communication Network Engineer Career (UTN), Ibarra- Ecuador, and studying for a Master degree in Communication an Networks, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito – Ecuador.



Jhomaira L. Burbano G.

Born in El Angel, Carchi, Ecuador, on June 30, 1987. She completed his primary education at St. Mariana de Jesus School and his secondary education at the "Ibarra" National College, the finished in 2005, obtained the title of Bachelor of Mathematical Physics and specialization. Currently, she is a egresada Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación at the Universidad Técnica del Norte, Ibarra - Ecuador