

MÓDULO DE AGROMETRÍA BASADO EN PLATAFORMA ANDROID Y BLUETOOTH RN42, "AGROAPP"

AGROAPP, AN ANDROID AND BLUETOOTH RN42 AGROMETRIC MODULE DESIGN



AUTOR

NELSON BARRERA LOMBANA
PhD. En Educación
*Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC Facultad seccional Sogamoso
Docente
Escuela de Ingeniería Electrónica.
Nelson.barrera@uptc.edu.co
COLOMBIA

*INSTITUCION

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Seccional Sogamoso
UPTC
Universidad Pública de Educación Superior
Calle 4 Sur No.15 -134
Sogamoso Boyacá
Nelson.barrera@uptc.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

JORGE ENRIQUE CHAPARRO MESA
Magister Tecnología Informática
**Fundación Universitaria del Trópico Americano, UNITRÓPICO. Coordinador Producción de Investigación
jorgechaparro@unitropico.edu.co
COLOMBIA

*INSTITUCION

Fundación Universitaria Internacional del Trópico Americano
UNITRÓPICO
Institución de Educación Superior de Carácter Mixto
Carrera 19 No 39-40
Yopal Casanare
jorgechaparro@unitropico.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

FREDY ALONSO LEÓN SOCHA
Especialista en Desarrollo de software para dispositivos móviles
***Centro de Desarrollo tecnológico NetworkTIC S.A.S.
Investigador Grupo de Investigación TICTROPICO
sasetcolombia@gmail.com
COLOMBIA

*INSTITUCION

Empresa de Innovación y Desarrollo Tecnológico en el área de las TIC.
NETWORKTIC S.A.S.
Empresa privada de desarrollo tecnológico en electrónica y TIC.
Calle 8 No 3-36
Sogamoso Boyacá.
sasetcolombia@gmail.com
COLOMBIA

INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN O DEL PROYECTO: Módulo de Agrometría basado en plataforma Android y el módulo Bluetooth RN42, AgroApp”.

RECEPCIÓN: 22 de Enero de 2016

ACEPTACIÓN: 15 de Marzo de 2016

TEMÁTICA: Teleaplicaciones

TIPO DE ARTÍCULO: Artículo de Investigación Científica e Innovación

Forma de citar: Barrera Lombana, N. (2015). Módulo de agometría basado en plataforma Android y Bluetooth RN42 "Agroapp". En R, Llamosa Villalba (Ed.). Revista Gerencia Tecnológica Informática, 14(41), 17-31. ISSN 1657-8236.

RESUMEN ANALÍTICO

Este proyecto surge de la necesidad de automatizar los procesos agrícolas en el país y brindarle la posibilidad al agricultor de utilizar tecnologías relacionadas con la agricultura de precisión a bajo costo y adaptadas a las necesidades específicas locales; en este sentido se desarrolló un módulo de adquisición, transmisión y control de variables agro-meteorológicas, utilizando criterios de diseño tales como: desempeño, disponibilidad de componentes en el mercado, uso de elementos de calidad comercial (Comercial-Off-The-Shelf: COTS), facilidad de automatismo y costos de implementación. Este dispositivo electrónico monitorea y controla variables determinantes para el seguimiento del estado agro-meteorológico de cualquier especie cultivada (temperatura, humedad relativa, luz ambiente y precipitación entre otros), así mismo está en capacidad de transmitir esta información de forma remota a través de protocolos IP o SSM. El hardware desarrollado consiste básicamente en un bloque de sensores los cuales le permiten al sistema medir las variables de entrada; un microcontrolador encargado del procesamiento de datos, una etapa de potencia desarrollada con el propósito de alimentar actuadores, los cuales a su vez pueden realizar acciones de control y un enlace Bluetooth a través del cual el módulo se enlaza con dispositivos móviles como Tablet y celulares por medio de una APP diseñada para la gestión y configuración del sistema, así como para la lectura y registro de los datos obtenidos por los sensores. En cuanto al desarrollo de la APP, esta se fundamentó en la metodología RAD (Desarrollo Rápido de Aplicaciones), la cual hace parte de las Metodologías ágiles; y como herramienta de programación se utilizó Basic4Android(B4A). Las pruebas finales de funcionamiento del módulo se realizaron en un cultivo de Orellana, un hongo comestible que utiliza como sustrato los desechos de las actividades agropecuarias de la región y su producción se desarrolla en corto tiempo.

PALABRAS CLAVES: SMS, App, Android, Basic4Android, Bluetooth, Agricultura de Precisión, Agrometría

ANALYTICAL SUMMARY

The research shows the results of the Android platform and Bluetooth RN42 based Agrometric module - AgroApp module project. The rationale of the study arises from the necessity to automate the agricultural processes in order to reduce costs and develop an easily adaptable system to the specific conditions of each crop technologies. In order to generate such a crop system, a module for acquisition, transmission and control of agro-meteorological variables was designed, using the next criteria: performance, ease of use, availability of components on the market and implementation costs. Also the research considered as variables for monitoring the agro-meteorological conditions: the temperature -Celsius ($T^{\circ}C$), relative humidity (RH%), ambient light (LM) and precipitation (PCP mm). It should be mentioned that even though the hardware for PCP measurement was built, this variable did not involved a central role in the pilot phase of the prototype given its low dynamic, involving long periods of follow-up for analysis; however, the developed module hardware has an expansion focused on the supply of this purpose. On the other hand, the developed software of the module comprise a mobile application for Android that allowed the researcher to read and record data from sensors implemented in hardware such as temperature, relative humidity, light, precipitation, all of which are linked to the App by a Bluetooth module RN42.

KEYWORDS: SMS, App, Android, Basic4Android, Bluetooth, precision agriculture.

INTRODUCCIÓN

La introducción de nuevas tecnologías al sector agropecuario ha sido fundamental para mitigar los problemas relacionados al cambio climático, el cual ejerce presión sobre la genética de las plantas y minimiza la capacidad productiva de las tierras,

afectando el crecimiento económico y agrícola de las regiones. Frente a la anterior situación surge como reto primordial, lograr innovaciones que permitan aumentar la productividad agrícola en forma sostenible, buscando el beneficio de los productores y al mismo tiempo, que ayuden a preservar los recursos naturales.

En este sentido la Electrónica y las Tecnologías de Información y Comunicaciones han aportado herramientas innovadoras al sector agropecuario, que han sido fundamentales para mejorar la producción y el manejo diferenciado de áreas agrícolas. Este tipo de tecnologías se basa en *"hacer lo correcto en el lugar adecuado y en el momento oportuno"* [1]. Este sencillo concepto ofrece la posibilidad de aumentar la producción agrícola, optimizando el uso de los recursos y a su vez reduciendo el impacto negativo de la actividad agrícola sobre el medio ambiente.

La filosofía de la AP se presentó en 1929 por Linsley y Bauer, investigadores de la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Illinois, estos dos investigadores dividieron un área experimental en pequeñas sub áreas y corrigieron el pH de cada una de las áreas [2].

La Agricultura de Precisión hace uso de herramientas informáticas como sistemas de posicionamiento global (GPS), sensores, satélites, modelos de simulación, imágenes aéreas, sistemas de información geográfico (SIG); los cuales sirven para estimar y evaluar las variables más representativas de un cultivo en tiempo real, con el fin de evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra, estimar fertilizantes y otras variable clave en el rendimiento de una zona cultivada; permitiéndole así al agricultor predecir con más exactitud la producción agraria.[3]

Con estos avances, la agricultura ha tomado una nueva perspectiva mediante el desarrollo de modernas herramientas que aportan valor económico a la cadena de producción y que por primera vez convergen con la sostenibilidad ambiental.

Si bien existen en la actualidad muchos desarrollos tecnológicos para el sector agropecuario, muy pocos de estos se adaptan a las condiciones de nuestro entorno y son irrisorios los aportes que hoy le prestan a la agricultura local; esto ocurre básicamente porque estas tecnologías son desarrolladas para atender necesidades de otros países con condiciones distintas a las nuestras. Así mismo, la fabricación de este tipo de instrumentos es realizada por empresas extranjeras, lo cual conlleva a que el agricultor colombiano tenga que asumir costos de importación y demás gastos que se incurren durante la cadena de comercialización de estos productos, siendo inviable si un agricultor independiente adquiere pocas unidades [4]. Otro punto importante que limita la utilización de esta tecnología en Colombia es el soporte técnico, pues en muchos casos este se hace efectivo directamente con el fabricante y generalmente este tipo de ayuda técnica se requiere de forma inmediata; por tal razón este tipo de tecnologías en la actualidad

se utilizan poco y quienes tienen mayor acceso son principalmente los cultivadores a gran escala como arroceros, palmeros y floricultores; quedando excluidos los pequeños y medianos agricultores del país.

En este trabajo se muestra el proceso de construcción y validación de un módulo de agrometría que se adapta en muchos sentidos a las condiciones del país; esto implicó el desarrollo de hardware y software, por lo que fue necesario utilizar una metodología de diseño de sistemas embebidos que se adaptara a las condiciones del proyecto y que garantizara la calidad del producto; para lograrlo se analizaron diferentes ciclos del desarrollo ágil, (Agile Software Development Cycle o SLDC), con el fin de garantizar un sistema con muy buenas prestaciones [5].

Si bien estas metodologías ágiles surgen y son utilizadas en el desarrollo de software, gran parte de las técnicas ágiles pueden ser utilizadas para cualquier disciplina [6]. En este proyecto particularmente se realizó una planificación general de las necesidades, al estilo del desarrollo de software ágil; posteriormente se distribuyeron tareas, priorizando en la arquitectura de hardware, en los dispositivos de acceso (fundamentalmente sensores) y en el software de control y gestión del módulo, el cual fue desarrollado haciendo uso de la metodología (RAD), logrando resultados en corto tiempo y un producto de altas prestaciones, que cumplió con los requisitos demandados [7].

Finalmente se logró construir un prototipo, asequible, económico, modular y adaptable a las condiciones propias de los cultivos colombianos; dándole la posibilidad a los pequeños agricultores de gestionar y controlar las variables de su cultivo en forma local y con la posibilidad de realizar dichas actividades de forma remota.

1. ESTADO DEL ARTE

La agricultura es una de las áreas clave en el desarrollo de los países y en su integración económica, cultural y social a diferentes escalas; es el caso de Finlandia que desde su integración a la Unión Europea (UE) en 1995, determinó que uno de los vínculos relevantes con esa comunidad debería ser la agricultura tecnificada; dando lugar a cambios significativos en las técnicas empleadas en la producción de alimentos [8]. Adicionalmente, países como Alemania, han desarrollado prototipos de controladores de tareas (Task Controller-TC) con un proceso de mensajes de datos compatible con ISOBUS para poder utilizar múltiples servicios externos tales como WFS (Web Feature Service) para aplicaciones en agricultura de precisión [9]; en este proyecto, sus desarrolladores integraron datos externos procedentes

de diferentes fuentes en el TC; los métodos abordados son la base para el desarrollo de múltiples herramientas que se pueden utilizar para mejorar el desarrollo de sistemas agrícolas. Las plantaciones de patatas en oriente medio no han sido ajenas al uso de medios informáticos y desarrollos de hardware en la agricultura; así, en Egipto, se han desarrollado redes de sensores inalámbricos que monitorean y almacenan en bases de datos, variables como: humedad, temperatura, PH de los suelos y niveles de luminosidad del ambiente [10]; y con base en ello, determinar momentos adecuados para el riego, la aplicación de fertilizantes etc. Por otro lado en países como Túnez, han buscado evaluar la sostenibilidad de los sistemas de riego, específicamente en el distrito de Cebalat; el enfoque dado en esta investigación dio relevancia a la conservación ambiental y a la eficiencia económica; buscando desarrollar un modelo que integrara la dimensión biofísica con aspectos de optimización económica, desarrollando un modelo de simulación de crecimiento de cultivos, que se alimentó de una base de datos creada a partir de una red de sensores que monitoreó constantemente variables agro-meteorológicas, dando por resultado una base de datos para determinar las relaciones existentes entre las prácticas agrícolas, rendimiento de los cultivos y los efectos ambientales [11]. De otro lado, investigadores de Taiwán, realizaron un proyecto para evaluar la trazabilidad de la siembra de la calabaza blanca, usando aplicaciones sobre sistemas de información móviles (red GSM), diseñando sistemas de redes de sensores para la recolección de datos, complementando el sistema con entrega de datos al consumidor final mediante el empleo de códigos QR; uno de los objetivos del estudio fue la de permitir una trazabilidad pública que aumentará la confianza de los consumidores para la elección de alimentos saludables [12]. No se debe desconocer que las economías emergentes han logrado adquirir una participación significativa del mercado internacional en un sector dinámico como lo es la industria del vino; buena parte del mantenimiento de muchas empresas vinícolas en el mercado, se debe a su permanente innovación, especialmente en el área de la agricultura de precisión, en donde con base en desarrollos informáticos, se han logrado mejorarlas sustancialmente en los procesos productivos [13].

En el ámbito local, a nivel del país, destaca la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), creada en 1991, con el propósito de generar, adaptar, validar y transferir tecnología en el cultivo de la palma de aceite, lo que hizo necesario que el país desarrollara su propia investigación en palma de aceite; dentro de estos esfuerzos se encuentra la investigación desarrollada que busca la creación de un sistema de información para el manejo agronómico [14], que se apoya en tres componentes básicos: 1)

un subsistema de adquisición de datos en campo, que se soporta en desarrollos de procesamiento de datos e instrumentación como sistemas GPS, estaciones agro-meteorológicas y dispositivos móviles para la captura de datos usando eventualmente la red GSM; 2) Manipuladores relacionales de bases de datos (DBMS) y 3) subsistemas de producción y análisis de información que incluye sistemas para el manejo de información geográfica (SIG). Con la combinación de estas tecnologías, Cenipalma busca indagar sobre diferentes fases del cultivo, como la planeación, la preparación de los cultivos, el manejo de estos, la cosecha y la pos-cosecha del fruto, usando las tecnologías mencionadas como apoyo en el manejo de plagas y enfermedades de los cultivos.

Así mismo se encuentran algunos equipos de alto costo para monitorear datos en tiempo real, utilizando módulos con tecnología inalámbrica [15] [16] [17], el inconveniente es el costo de importación, compatibilidades con otros sistemas o tecnologías locales, soporte técnico y no se adaptan adecuadamente a todas las situaciones climáticas en las zonas donde se implementan. En Colombia se han realizado otros trabajos de investigación que utilizan conexiones inalámbricas enfocadas a invernaderos [18].

Finalmente se debe mencionar que en el departamento de Boyacá, específicamente la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, no ha sido ajena a adelantos en Agricultura de Precisión; se han hecho desarrollos importantes a nivel de Hardware y de software como lo es la creación de un equipo compuesto por sistemas remotos concebidos para aplicaciones de agricultura de precisión, empleando procesamiento digital de las imágenes recolectadas por estos sensores [19]; estos prototipos se han puesto en funcionamiento con éxito en cultivos de ciudades como Paipa, Duitama, Sogamoso, Nobsa y Tibasosa, usando tecnología satelital, con lo que se busca caracterizar cultivos enfermos y actuar en consecuencia.

En cuanto a la metodología de diseño de sistemas embebidos, se analizaron diferentes alternativas para el desarrollo, tanto a nivel de hardware como de software, para esto se revisó literatura acerca de algunos modelos de requisitos para sistemas embebidos [20], encontrando diferentes tecnologías estandarizadas derivadas de la Ingeniería del software como SysML, SoC y el lenguaje UML; sin embargo, en la revisión del estado del arte no se encuentra como tal una metodología ampliamente aceptada para el desarrollo integral de sistemas embebidos, a pesar de que estos son un motor clave de la industria y el desarrollo tecnológico; afirmación que coincide con la expresada por (Sánchez Dams R. D) [21].

Este desarrollo en particular utiliza técnicas enmarcadas dentro de las metodologías ágiles, ya que estas permiten desarrollar software y hardware de manera rápida y con gran facilidad de adopción por los equipos de trabajo, teniendo en cuenta que se centran más en capturar los requisitos cambiantes y la gestión de los riesgos, rompiendo el proyecto en iteraciones de diferente longitud, cada una de ellas generando un producto completo y entregable [22].

Referente a las metodologías ágiles de desarrollo de software para dispositivos móviles, se encuentran algunas muy utilizadas como:

Mobile-D, propuesta por Pekka Abrahamsson y su equipo del VTT (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, en inglés Technical Research Centre of Finland) [23].

Hybrid Methodology Design, metodología que utiliza el modelo iterativo incremental para el proceso de desarrollo y así logra la rápida entrega de software [24]

Mobile Development Process Spiral, Esta metodología utiliza el modelo de desarrollo en espiral como base, e incorpora procesos de evaluación de la usabilidad, priorizando la participación del usuario en todos los procesos del ciclo de vida de diseño, pero esta metodología se orienta a proyectos grandes y costosos, ya que está destinado a ser un modelo de reducción de riesgos. [22]

Modelo de construcción de prototipos. Este modelo inicia con la recolección de requerimientos del cliente, define el conjunto de objetivos para el software, se identifican los requisitos conocidos y con base en estos se desarrolla rápidamente un prototipo o maqueta que posteriormente evalúa el cliente utilizándolo y ayudando a refinar de nuevo los requisitos del software a desarrollar; este proceso se seguirá repitiendo hasta que el cliente quede satisfecho con el desarrollo del software [25].

RAD Desarrollo Rápido de Aplicaciones, definido por James Martin a principios de la década de 1980, este modelo es una adaptación a alta velocidad del modelo lineal secuencial y para lograr un desarrollo rápido utiliza la construcción de software basada en componentes, utilizando herramientas que permiten de forma ágil y efectiva realizar una aplicación con altos estándares de calidad, con un plazo de entrega ideal de 90 a 120 días como máximo. [26]

2. METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Teniendo en cuenta que el sistema contempla la construcción de hardware y software, fue necesario utilizar una metodología de diseño de sistemas

embebidos, adaptable a las condiciones del proyecto, por tal motivo se analizaron diferentes ciclos del desarrollo ágil, (Agile Software Development Cycle o SLDC); que, si bien estas metodologías surgen y son utilizadas en el desarrollo de software, gran parte de las técnicas ágiles pueden ser utilizadas para el desarrollo de sistemas embebidos.

Una vez revisado el estado del arte referente a metodologías de desarrollo de sistemas embebidos, se encontró que la gran mayoría de estas, están orientadas a la construcción del software, pero no se halló una metodología ampliamente aceptada para el desarrollo integral de sistemas embebidos, por tal motivo se utilizó una metodología ágil que recoge aspectos de las mencionadas anteriormente y que consta de las siguientes etapas de desarrollo.

1. *Definición de especificaciones.*
2. *Diseño general del Sistema.*
3. *Fase de Construcción.*
4. *Fase de Integración.*
5. *Test operacional del sistema*

Cabe aclarar que esta metodología se utilizó de forma global, sin embargo, en la construcción específica del software se fundamentó en la metodología RAD (Desarrollo Rápido de Aplicaciones), la cual hace parte de las Metodologías Ágiles y como herramienta de desarrollo se utilizó Basic4Android(B4A).

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolló de acuerdo a la metodología planteada.

3.1 DEFINICIÓN DE ESPECIFICACIONES:

En esta fase se definieron y documentaron los diferentes requisitos del sistema, identificando las variables más significativas en los cultivos, así mismo se realizó un análisis de brechas tecnológicas, teniendo en cuenta el estado del arte mundial en este tipo de conocimientos; posteriormente se llevó a cabo una planificación de acuerdo a las necesidades del proyecto y se dividió el equipo de trabajo en dos grupos, uno para el desarrollo de hardware y otro para el desarrollo del software. Una vez definidos los grupos se distribuyeron tareas, haciendo énfasis en la arquitectura general del sistema, en los dispositivos de acceso como sensores, en el software de control y gestión del módulo, en el coste, tiempo, modularidad y confiabilidad del sistema [27].

Referente al software se definieron los requerimientos del sistema, respecto a almacenamiento de información, tipo y presentación de datos, presentación de gráficas, protocolo de comunicación y funcionalidades, entre otras.

3.2 DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA:

Con base en la etapa anterior, se elaboró un diseño general del sistema, enfatizando en la convergencia del software y el hardware; seguidamente cada equipo de trabajo por separado realizó el diseño específico del software y hardware respectivamente, teniendo en cuenta los requerimientos generales y las tendencias actuales de la agricultura de precisión.

En el diseño del hardware, se tuvo en cuenta criterios como: desempeño, facilidad de uso, disponibilidad de componentes en el mercado (Comercial-Off-The-Shelf: COTS) [28], costos de implementación; además se seleccionaron como variables determinantes para el seguimiento del estado agro-meteorológico: la temperatura en grados centígrados (T °C), humedad relativa (H.R %), luz ambiente (L.A. Im) y precipitación (PCP mm) [29].

En cuanto al diseño del software se analizaron cada uno de los requerimientos y se definieron los protocolos, base de datos (SQLITE), así mismo se realizó el diseño de la interfaz gráfica, quedando definidos los siguientes módulos de software:

- *Módulo de Comunicación:* Encargado de establecer y gestionar la comunicación con el Modulo RN41, enviar comandos y realizar el proceso de recepción de datos desde el microcontrolador Microchip 18F66K22.
- *Módulo de Almacenamiento:* Encargado de gestionar, procesar y almacenar los datos recibidos vía Bluetooth, utilizando para ello el Motor de base de datos SQLITE.
- *Módulo de Graficación:* Encargado de visualizar gráficamente y a través del tiempo los datos almacenados.
- *Módulo Interfaz Gráfica:* encargado de la presentación visual y distribución de los componentes, tales como Botones, Labels, cajas de texto, spinner, etc.

3.3 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO:

Cabe mencionar que para la construcción del prototipo se dividió el grupo de trabajo en dos equipos, uno para el desarrollo del hardware y otro para el desarrollo de software.

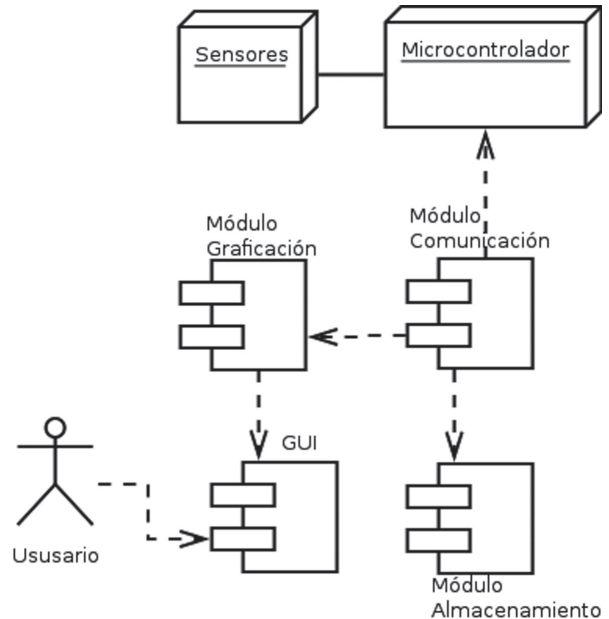
DESARROLLO DEL HARDWARE

El desarrollo de hardware se realizó empleando componentes ya conocidos para minimizar el riesgo de ocurrencia de fallos no detectados o desconocidos, así

mismo se tuvo en cuenta el uso de componentes de calidad comercial (Comercial-Off-The-Shelf: COTS) [28].

En la figura 1, se aprecia un diagrama general del sistema desarrollado.

FIGURA 1. Diagrama global del Sistema.



La figura 1, indica que el módulo de agrometría se compone de un bloque de sensores que le permiten al sistema medir variables de un cultivo, un microcontrolador que se encarga del procesamiento de datos, una etapa de potencia para alimentar actuadores, los cuales a su vez permiten al sistema realizar acciones de control de variables como temperatura, humedad, iluminación o cualquier otra variable que se quiera intervenir; un enlace bluetooth que le permite al sistema comunicarse con dispositivos móviles como tablet, celulares o cualquier otro dispositivo que este en capacidad de ejecutar aplicaciones desarrolladas para sistemas operativos Android. La APP permite al usuario la visualización de variables en tiempo real, la toma de decisiones, el establecimiento de puntos de referencia, la selección de estrategias de control automático, los modos en que se deben activar los actuadores y la definición de las variables que alimentarían las bases de datos que pueden estar alojadas en la nube, para ser consultadas desde cualquier ubicación que tenga acceso a Internet; dotando a los usuarios de la posibilidad de intervenir el sistema a distancia o de modo local, siempre que cuenten con los permisos de acceso necesarios para acceder al módulo.

A continuación, se hace una descripción del hardware desarrollado en el módulo "AgroAPP".

3.3.1 Etapa de instrumentación.

De acuerdo a la metodología planteada, durante la etapa de desarrollo del prototipo solo se tuvieron en cuenta variables de rápida evolución en el tiempo, minimizando las latencias en el desarrollo del hardware, pero se dejaron previstas ampliaciones para la inclusión futura de nuevos sensores que permitan más flexibilidad al sistema. Los sensores seleccionados para el desarrollo del prototipo fueron: temperatura (T °C), Luz ambiente (L.A. lux) y humedad relativa (H.R %); estos fueron priorizados teniendo en cuenta los criterios de selección mencionados anteriormente.

A continuación, se describen los sensores y transductores seleccionados para realizar las pruebas del prototipo:

a) Sensor de temperatura

Se seleccionó el sensor de tecnología 1-WIRE DS18S20, dado que no requiere circuitos de adecuación de señal, puesto que entrega los datos de medida en formato digital; este sensor se encuentra comercialmente en encapsulado TO-92 y tiene todas las características mencionadas para los dispositivos 1-wire; adicionalmente se debe mencionar que su rango de medición va de -55 a +125 grados centígrados, además cuenta con alarmas que se pueden configurar para que sean activadas cada vez que la temperatura medida escape a unos límites previamente definidos y almacenados en la memoria EEPROM interna. Los datos obtenidos como resultado de la medición de temperatura, son almacenados en dos registros de 8 bits; el significado de cada bit se ilustra en la figura 2, se observa que el byte más significativo es dedicado en su totalidad a indicar el signo de la conversión mientras el byte menos significativo, indica la magnitud de la conversión [30].

FIGURA 2. Formato en que son entregados los datos de temperatura.

| bit 7 | bit 6 | bit 5 | bit 4 | bit 3 | bit 2 | bit 1 | bit 0 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|----------|
| 2^6 | 2^5 | 2^4 | 2^3 | 2^2 | 2^1 | 2^0 | 2^{-1} |
| bit 15 | bit 14 | bit 13 | bit 12 | bit 11 | bit 10 | bit 9 | bit 8 |
| S | S | S | S | S | S | S | S |

Se debe añadir que la temperatura es entregada en el sistema de numeración en complemento a dos [31], de esta forma, temperaturas negativas deben ser convertidas mediante la ecuación (1):

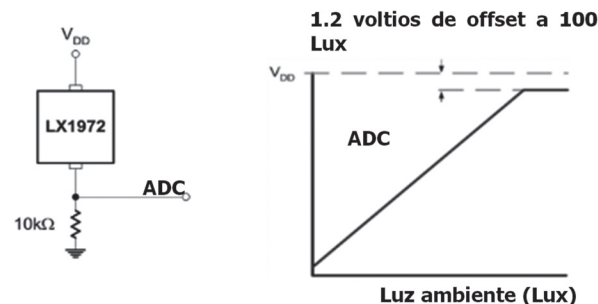
$$C_2^N = 2^n - N \quad (1)$$

De la ecuación 1, se debe aclarar que n es el número de bits involucrados; en este caso son 9 (solo se toma un bit de signo pues los restantes 7 se repiten); N es el número que se quiere convertir y el restante término es el resultado de la conversión. Los detalles del protocolo de comunicación 1-Wire, como voltajes, corrientes, tasas de transmisión y señalización, se pueden consultar en textos que describen en detalle este tipo de interfaces [32].

b) Sensor de Luz Ambiente (L.A.)

Para la medición de la luz ambiente se seleccionó el sensor LX1972 de bajo costo, sencillo circuito de adecuación (apenas una resistencia) y una respuesta espectral que se encuentra en el rango de la luz visible; ya que produce su pico espectral a los 520 nanómetros; desde el punto de vista constructivo, se encuentra constituido por una matriz de diodos PIN [33] con una respuesta lineal y una alta repetitividad en la medida; el rango dinámico del transductor está determinado por el valor de la resistencia usada en el circuito de adecuación (ver figura 3) que típicamente está en el rango de los 10Kohm a los 100 Kohm.

FIGURA 3. Circuito de adecuación y curva de transferencia del sensor LX1972.



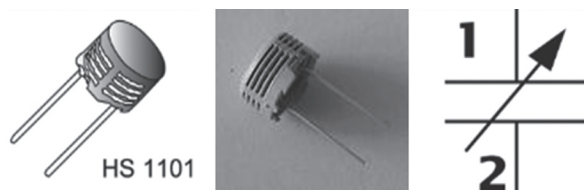
El terminal de salida del circuito de medición se conecta directamente a la entrada del convertidor ADC del microcontrolador usado, el cual tiene una respuesta lineal y saturación en presencia de una intensidad luminosa de 100 Lux, dando por resultado un offset de 1.2 voltios con respecto al voltaje de alimentación; el sensor cuenta con un sistema de compensación interna por temperatura; la corriente de operación es de 200 nA para un rango de temperatura de -40 a +85 ° C, ideal para sistemas de iluminación de altas prestaciones con bajo costo de implementación y de operación.

c) Sensor de humedad relativa (H.R %)

El sensor seleccionado, con base en los criterios mencionados fue el HS 1101, este es un dispositivo basado en una única celda capacitiva variable en

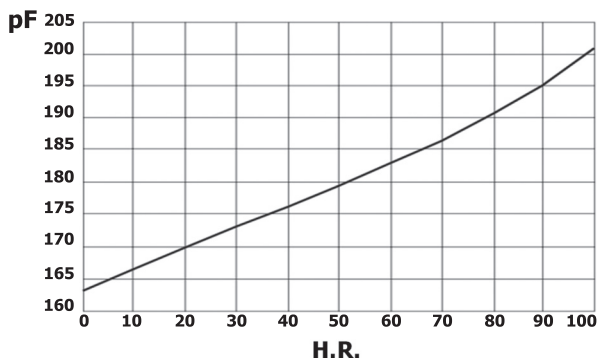
función de la humedad relativa (H.R. %); fue diseñado para el uso en ambientes industriales, agro-industriales y domésticos, especialmente en aplicaciones que requieren compensación de humedad; dentro de las características más relevantes del dispositivo están: No requiere calibración en condiciones normales por lo que son fácilmente intercambiables, poseen des-saturación instantánea después de largos periodos en fase de saturación; son adecuados para cadenas de montaje en serie, tienen alta fiabilidad y estabilidad a largo plazo y tienen un tiempo de respuesta elevado. En la figura 4 se aprecia el encapsulado de este tipo de sensor y su símbolo.

FIGURA 4. Encapsulado y símbolo del sensor HS1101.



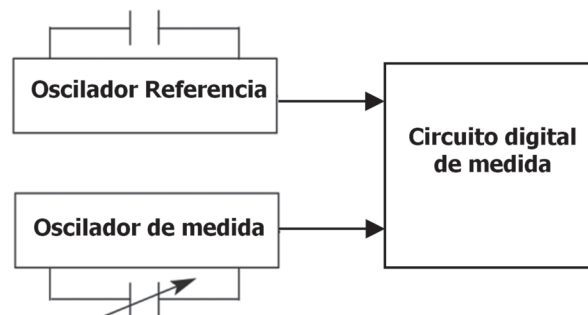
El sensor puede operar de forma adecuada a temperaturas de entre -40 a $+85$ ° C con auto-compensación por temperatura y voltajes de operación de hasta 10 voltios AC; la variación de capacitancia en función de la humedad está en el rango de entre los 165 y los 205 pF; en la figura 5 se puede apreciar la curva de transferencia proporcionada por el fabricante para este tipo de sensor.

FIGURA 5. Curva de transferencia de sensor HS1101 (Capacitancia en pF Vs H.R. %).



Con el fin de medir la capacitancia mediante un circuito digital, es conveniente construir un circuito oscilador estable que entregue una frecuencia en función de la capacitancia [34]; en la literatura relacionada con osciladores existen numerosas propuestas que persiguen este fin; para el caso específico del prototipo desarrollado, se desarrolló un circuito que midiera las oscilaciones pero que compensara las variaciones de oscilación con la temperatura; el modelo materializado se puede apreciar en la figura 6.

FIGURA 6. Sistema de compensación de los cambios de oscilación con la temperatura.



3.3.2 Unidad de procesamiento de datos (UPD)

Para el procesamiento de los datos, lectura de sensores y control sobre los actuadores, se seleccionó el microcontrolador de Microchip 18F66K22, dadas sus altas prestaciones, su bajo costo, sus recursos y la disponibilidad del compilador optimizado MPLAB XC8; las potentes librerías matemáticas dan la posibilidad de implementar complejas ecuaciones de diferencias, que permiten materializar varios controladores digitales en un solo circuito integrado con diferentes tasas de muestreo; las características más relevantes de esta unidad de procesamiento son:

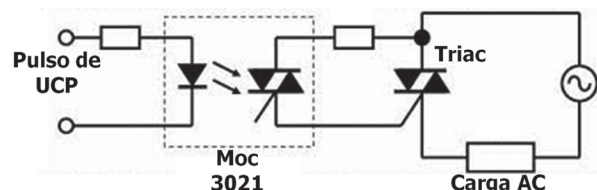
Operación de 1.8 a 5.5 voltios, ideal en aplicaciones que se alimentan con baterías; velocidad de reloj de 64 Mhz; 64K de memoria de programa 4KB de memoria RAM; 2K de memoria EEPROM; 53 pines I/O; 16 ADC de 12 bits lo que da altas prestaciones en cuanto a la precisión de las operaciones realizadas en la implementación de los controladores digitales especialmente para el sensor de L.A. seleccionado; salidas PWM para actuadores, disponibilidad de comunicaciones síncronas SPI e I2C y módulos para implementación de comunicaciones 1-Wire [35], que lo hacen adecuado para el sensor de temperatura empleado; además cuenta con 11 contadores internos, de los cuales 6 son de 16 bits; dotando al sistema de la posibilidad de usar hasta 6 sensores de humedad del tipo capacitivo; además este microcontrolador cuenta con el modo SLEEP que hace que en periodos de latencia la unidad central de proceso (UCP) solo consuma una fracción de microamperio, haciéndolo adecuado en aplicaciones en las que es imperativo el bajo consumo.

3.3.3 Etapa de potencia para actuadores

Teniendo en cuenta que en aplicaciones relacionadas con la agricultura, generalmente se operan electro-válvulas, motores de ventiladores, lámparas y en general cargas resistivas, y con el fin de tener compatibilidad con sin-número de potenciales actuadores, se decide operar

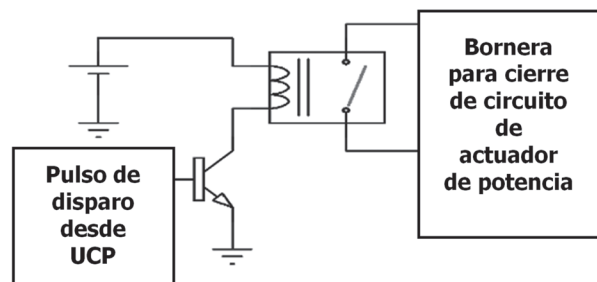
con salidas tipo relé electromagnético y relés de estado sólido construidos con opto-acopladores y triac; de esta forma el sistema es flexible y se puede adoptar diversas configuraciones, de acuerdo a las necesidades del cultivo particular; el circuito de estado sólido empleado en la etapa de potencia para cargas AC se pueden apreciar en la figura 7; en total se implementaron 4 salidas de este tipo.

FIGURA 7. Etapa de potencia para actuadores AC.



Además del circuito considerado para el manejo de cargas AC, se consideró la necesidad de un segmento de la etapa de potencia del tipo electromecánico, para alimentar cargas de diferentes niveles de voltaje, este tipo de salida fue especialmente útil en el manejo de electro-válvulas; en total se implementaron cuatro circuitos de este tipo, el diagrama del mismo se puede apreciar en la figura 8.

FIGURA 8. Etapa de potencia tipo electro-mecánica.



3.3.4 Hardware Enlace Bluetooth

Una de las características importantes con que debe contar el módulo es la capacidad de ser controlado desde cualquier lugar del mundo con acceso a internet junto con la capacidad de almacenar los datos recolectados por los sensores y la lista de acciones realizadas por los actuadores en una base de datos accesible desde diferentes puntos; de esta forma, parece adecuado el uso de un dispositivo de bajo costo y de altas prestaciones para el manejo de datos en la nube; así, es pertinente el uso de una Tablet o Smartphone. Las formas de enlazar la UDP implementada con una aplicación en una Tablet o Smartphone más populares, disponibles en el mercado son: mediante red WI-FI o mediante un enlace Bluetooth; bajo el criterio de funcionalidad y costo de implementación, se

seleccionó como dispositivo de enlace el módulo RN-42; cuyas características generales de este dispositivo son: Soporta enlaces Bluetooth 2.0 o anterior; antena disponible dentro de la misma tarjeta, bajo consumo de corriente (26 uA en modo SLEEP, 3 mA en modo RX y 33 mA en modo TX); UART para recepción y transmisión de comandos y de datos; tasas de transferencia de hasta 300 Kbps. En la figura 9 se puede apreciar una imagen del módulo descrito.

FIGURA 9. Módulo Bluetooth usado para conectar la aplicación Android con hardware implementado.



Finalmente se debe mencionar que el sistema descrito en esta sección debe operar de forma armoniosa con la aplicación instalada en una Tablet o Smartphone y a su vez da la posibilidad de enlazar el hardware a un sistema de información global como lo es Internet, aumentando las prestaciones y los usos que le pueden dar usuarios locales o remotos.

DESARROLLO DE SOFTWARE

El proceso de desarrollo de la APP se fundamentó en la metodología RAD (Desarrollo Rápido de Aplicaciones), la cual hace parte de las Metodologías Ágiles y como herramienta de programación se utilizó Basic4Android(B4A) [36]

La codificación se realizó teniendo en cuenta los cuatro módulos definidos en la etapa de diseño, utilizando el Lenguaje Visual Basic para B4A; se realizaron pruebas de funcionamiento y ajustes en cada módulo desarrollado, para posteriormente integrarlos con el fin de obtener una App con todas las funcionalidades. Las pruebas generales de la App con los módulos integrados, se realizaron sobre el dispositivo móvil, utilizando datos ficticios, datos errados, etc., con el fin de medir las funcionalidades y robustez de la App y con cada falla identificada se reajustó el código hasta ponerlo a punto.

A continuación, se describen los aspectos fundamentales de la comunicación Bluetooth, que se usó para realizar la comunicación con el módulo RN42 y el almacenamiento de información.

3.3.5 Software Comunicación Bluetooth

A continuación, se describe parte de la programación realizada para lograr la comunicación mediante el estándar Bluetooth IEEE 802.15.1.

```
Dim admin As BluetoothAdmin
Type NameAndMac (Name As String, MAC As String)
Dim connectedDevice As NameAndMac
Dim Serial1 As Serial
```

Al iniciar la Activity, se intentará conectar con la MAC del módulo, realizando la asignación de la misma y posteriormente intentando la conexión.

```
connectedDevice.MAC = "00:01:94:12:C4:D5"
Serial1.Connect(connectedDevice.MAC)
```

Si la conexión fue satisfactoria se inicializa un contador que permitirá leer automáticamente el canal abierto y este se ejecutará cada 200 milisegundos.

```
tmrLeerIn.Initialize("tmrLeerIn", 200)
```

Posteriormente se inicializa los canales de entrada y salida con el fin de tener una comunicación full dúplex entre la aplicación móvil y el módulo.

```
TextReader1.Initialize(Serial1.InputStream)
TextWriter1.Initialize(Serial1.OutputStream)
```

Finalmente se activa el contador.

```
tmrLeerIn.Enabled = True
```

Cada vez que se cumple el tiempo programado para leer los datos de entrada (tmrLeerIn), se verifica si existe una conexión activa y si existe algún dato de entrada. De cumplirse la condición se toma el dato del buffer de entrada y se almacena en la Base de Datos

```
If connected And If TextReader1.Ready Then
```

```
    AlmacenarBD(TextReader1.ReadLine )
```

```
End If
```

Base de datos SQLITE

Como motor de base de datos se utilizó SQLite. [37], que es un sistema de gestión de bases de datos, contenida en una relativamente pequeña biblioteca (~275 KB) escrita en C. SQLite es un proyecto de dominio público creado por D. Richard Hipp. La base de datos Sqlite tienen extensión .db

La base de datos para este proyecto comienza por definir el componente SQL que permite crear tablas, insertar, leer, eliminar y actualizar registros.

```
Dim SQL1 As SQL
```

Al inicio de la App se verifica que exista el archivo y se inicializa la base de datos garantizando que esta exista, así mismo se genera el directorio externo por defecto de la app.

```
SQL1.Initialize(File.DirDefaultExternal, "agrometria.db",
True)
```

Posteriormente se crea la tabla y los campos que se necesitan.

```
SQL1.ExecNonQuery("DROP TABLE IF EXISTS registro")
SQL1.ExecNonQuery("CREATE TABLE registro (sensor
STRING, datos STRING)")
```

Nótese que las sentencias utilizadas manejan la misma estructura y comandos usados por SQL

Para el almacenamiento de datos se utiliza la instrucción INSERT, teniendo en cuenta que Sensor y Dato, son variables que almacenan los datos leídos desde el módulo RN42, tal como como se vio en la sección anterior. Se debe tener en cuenta el uso de las comillas simples para indicar que el dato a almacenar es de tipo STRING, pues así se definieron los campos de la tabla **registro**

```
SQL1.ExecNonQuery("INSERT INTO registro VALUES('"
& Sensor & "','" & Dato"')")
```

Para la lectura de datos almacenados se utiliza un objeto cursor, que realiza una tarea similar a un array, donde se almacena la información leída de la base de datos.

```
Dim Cursor1 As Cursor
```

```
Cursor1 = SQL1.ExecQuery("SELECT * FROM registro")
```

Y para recorrer los registros se usa un ciclo for

```
For i = 0 To Cursor1.RowCount - 1
```

```
    Cursor1.Position = i
```

```
    Log("*****")
```

```
    Log(Cursor1.GetString("sensor"))
```

```
    Log(Cursor1.GetInt("datos"))
```

```
Next
```

```
Cursor1.Close
```

La consulta SELECT, varía de acuerdo a los datos que se requieran, en este caso se debe agregar la instrucción WHERE

```
Cursor1 = SQL1.ExecQuery("SELECT * FROM registro
WHERE sensor = 2")
```

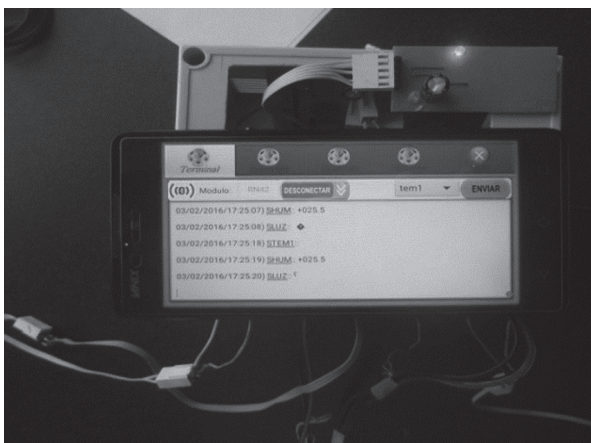
3.3.6 Diseño de interfaz gráfico GUI

Para la gestión de las variables mencionadas anteriormente, la activación de relés y visualización de la información, se realizó un diseño de interfaz gráfico GUI, amigable al usuario el cual permite gestionar la comunicación con el hardware, realizar ajustes de las variables, generar reportes por registros, mostrar reportes de forma gráfica, almacenar información en memoria, transmitir información de forma remota mediante protocolos IP y SMS.

FIGURA 10. Interfaz de Usuario del Sistema (Modulo de ajuste de variables).



FIGURA 11. Interfaz de Usuario del Sistema (Modulo de conexión Bluetooth).



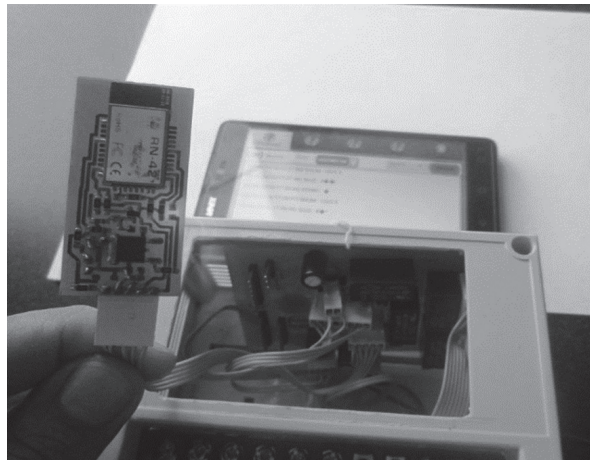
Link de descarga del Aplicativo móvil <https://dl.dropboxusercontent.com/u/48273506/Agrometria.apk>.

3.4 INTEGRACIÓN DE LA APP CON EL HARDWARE DESARROLLADO

Para la integración de la APP con el hardware, se utilizó un teléfono móvil de gama media debido a su bajo costo en el mercado y a las diversas funcionalidades que estos incorporan (Bluetooth, SMS, Wifi, GPRS, Almacenamiento Interno, Micro SD, Cámara, Video, IP, altas resoluciones de pantalla entre otras), siendo estos dispositivos ideales para este tipo de aplicaciones.

Se realizó la integración con la Unidad de procesamiento de datos (UPD), realizando pruebas de conexión para verificar la comunicación entre el microcontrolador Microchip 18F66K22 y la App. Finalmente se integraron los demás componentes de hardware tales como, sensores, actuadores, etc., realizando pruebas reales, reestructurando y solucionando las fallas encontradas.

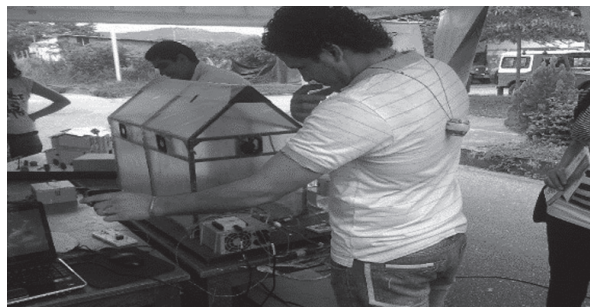
FIGURA 12. Comunicación del software con el modulo Bluetooth RN-42).



Luego de realizar la conexión de la APP con el hardware es posible manipular las funcionalidades del módulo a través de la interfaz gráfica y aprovechar las demás utilidades del dispositivo móvil como el GPS, la cámara y el sistema de comunicación, para transferir la información de forma remota, bien sea mediante protocolos IP o vía SMS.

Una vez integrado el software y el hardware se realizaron pruebas de funcionamiento del Módulo en un prototipo pequeño de invernadero, con el fin de recrear las condiciones de un cultivo real, como se muestra en la figura 13, además sirvió para documentar errores del sistema y corregir algunas fallas del diseño.

FIGURA 13. Prototipo de invernadero para pruebas iniciales.

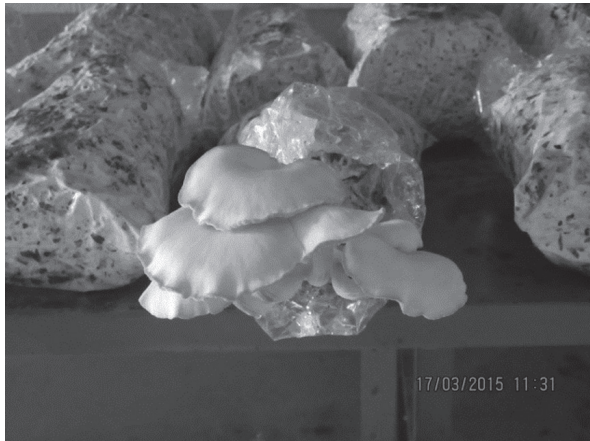


3.5 TEST OPERACIONAL DEL SISTEMA (PRUEBAS E IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO EN UN CULTIVO DE ORELLANA)

Luego de realizar las pruebas de funcionamiento del módulo en el invernadero piloto, se procede a implementar el prototipo en un cultivo de Orellana, con el fin de probar su desempeño en campo.

La Orellana es un hongo comestible con un alto contenido proteico que utiliza los desechos de las actividades agropecuarias para su desarrollo, en este caso la yuca y el arroz y su producción se obtiene en un muy corto tiempo [38] [39] [40].

FIGURA 14. Hongo de Orellana.



3.5.1. Pruebas de funcionamiento en campo

Propagación del Cultivo e Instrumentación del sistema.

Para realizar el proceso de validación en campo, se realizó la propagación de un cultivo de Orellana en un cuarto cerrado en las instalaciones de Unitrópico en la ciudad de Yopal, como se muestra en la figura 15.

FIGURA 15. Propagación del cultivo de Orellana.



Posteriormente se realizó la instrumentación de una parte del proceso (1 estante), con sensores de humedad, temperatura y luminosidad, como se muestra en la figura 16; teniendo en cuenta que éstas son las variables más significativas en este tipo de cultivos, ver tabla 1.

Como actuadores se utilizaron una electroválvula y dos ventiladores pequeños para controlar las variables humedad relativa y temperatura.

FIGURA 16. Instrumentación de una parte del cultivo de Orellana.



TABLA 1. Variables a controlar

| Variable | Valor | U/Medida |
|----------------------|------------|----------|
| Temperatura T | 20 a 28 | °C |
| Humedad Relativa H.R | 85-95 | % |
| Luz ambiente LA | 500 – 2000 | Lux |

Fuente de energía utilizada para el funcionamiento del Módulo y Actuadores.

Para la alimentación del módulo y los actuadores se utilizó un panel solar de 300W de potencia, tal como se muestra en la figura 17.

FIGURA 17. Panel solar, batería eléctrica seca y regulador de voltaje.



Pruebas de funcionamiento y validación preliminar

Las pruebas de campo se realizaron con el fin de comprobar el funcionamiento del hardware y software, parametrizar el equipo, realizar ajustes, establecer evidencias de funcionamiento en campo, analizar posibles fallas del sistema y documentar la información.

Parametrización del sistema

Una vez instrumentada una parte del cultivo de Orellana, se procedió a parametrizar el módulo de acuerdo a los requerimientos del cultivo:

- Humedad relativa (entre 85% y 95%)
- Temperatura (Rango 20°C a 28°C)
- Luminosidad (500-2000 Lux), sin embargo, esta variable solo se registró, mas no se actuó directamente.

Luego de parametrizar el sistema de control del módulo, de acuerdo a los requerimientos del cultivo: humedad relativa < 85% activa la electroválvula para realizar el riego por goteo.

temperatura > 28°C activar los ventiladores.

Cabe anotar que no se utilizó actuador para subir la temperatura debido a que la temperatura ambiente de Yopal está por encima de los 20°C.

Este sistema de control se implementó en el cultivo durante un periodo de casi 3 meses, tiempo que duro el cultivo para entregar las primeras setas (hongos).

Seguimiento y documentación del funcionamiento del sistema

El seguimiento al funcionamiento del módulo y al desarrollo del cultivo se realizó a diario durante un periodo de 70 días de acuerdo al siguiente procedimiento:

- a) Una persona se encargó a diario de revisar el cultivo automatizado, registro los datos tanto del cultivo como del módulo y verifico que el sistema de control estuviera funcionando de acuerdo a la configuración establecida.
- b) Otra persona se encargó de revisar a diario las setas que no estaban automatizadas y con instrumentos de medida de forma manual tomo y registro los datos de humedad y temperatura. Esta persona también se encargó de realizar el riego cuando la humedad estaba por debajo del nivel deseado igualmente lo hizo con la temperatura encendiendo el ventilador.
- c) El modulo realiza muestreos cada hora, almacena los datos y actúa sobre las variables si es el caso; sin embargo, la persona encargada de la revisión registro a diario los datos en un formato, por si el modulo llegase a fallar o no almacenase la información de forma correcta.
- d) Aunque el modulo puede transmitir toda la información de forma remota, en esta etapa experimental se centró más en el funcionamiento del equipo en campo, sin embargo, se realizaron algunas tomas de datos durante un tiempo de forma remota para ver el comportamiento del sistema.
- e) Una vez terminado el proceso de producción, se revisó el producto final, se midió, se pesó y se registraron estos datos; esto se hizo tanto para el hongo que se produjo de forma automática como para el que se obtuvo de forma manual.

4. RESULTADOS

Se logró el diseño y construcción de un prototipo bastante eficiente y económico, gracias a la metodología de desarrollo que permitió obtener un muy buen producto en corto tiempo y a bajos costos y lo más importante es que responde y se adapta a muchas de las necesidades del sector agropecuario.

Luego de realizar el seguimiento al cultivo y al funcionamiento del módulo durante casi tres meses, se pudo comprobar que el prototipo de agrometría funciona muy bien, que los componentes con los cuales se construyó a pesar que son económicos y de fácil acceso no presentaron fallas relevantes.

La parte de las setas que fue automatizada, presento más homogeneidad en el producto final, así mismo se desarrollaron más rápido que las setas que fueron controladas manualmente.

El sistema de riego controlado por goteo permitió ahorrar bastante agua, ya que tan pronto el hongo recibía las primeras gotas la humedad relativa se estabilizaba y la electroválvula se apagaba.

Es necesario volver más hermética y robusta la caja que cubre la tarjeta del módulo ya que los dispositivos electrónicos se vieron un poco afectados por la humedad y el polvo, lo cual es un problema si el dispositivo dura más tiempo en un cultivo, mermándole vida útil al equipo.

Aunque no se realizó un protocolo estricto de comparación entre los dos cultivos y un análisis estadístico exhaustivo, en esta primera fase de experimentación se puede inferir que la parte automatizada ahorra tiempo considerable y entrega el producto mucho más homogéneo.

Es necesario realizar este proyecto en una fase más rigurosa de perfeccionamiento y validación, sin embargo, esta primera versión se muestra muy estable y se ajusta mucho a las necesidades de nuestro entorno, tanto a nivel técnico como económico.

5. CONCLUSIONES

El utilizar componentes electrónicos conocidos, permitió minimizar fallos y detectar fácilmente el origen cuando estos ocurrieron; así mismo el utilizar dispositivos comerciales permitió reemplazarlos fácilmente cuando estos fallaron durante la etapa de construcción y pruebas del prototipo.

La selección de los componentes se realizó teniendo en cuenta la calidad y el aspecto económico, por lo tanto,

la fabricación del módulo en el país es posible, lo que podría aumentar los estudios agro-meteorológicos de los cultivos, dándole independencia tecnológica a este sector.

El problema más común detectado para la implementación de esta tecnología por parte de los agricultores en Colombia es básicamente el precio y el soporte técnico; con esta solución es posible que los agricultores apropien este tipo de tecnologías y mejoren los rendimientos de los cultivos.

Las metodologías ágiles de diseño son una excelente alternativa para realizar proyectos de desarrollo tecnológico pequeños como en este caso, gracias a la gran facilidad de adaptación que poseen; pero estas necesitan ser adaptadas a las características especiales de estos dispositivos con el fin de obtener productos de calidad.

Existen pocas metodologías ampliamente aceptadas para el desarrollo integral de sistemas embebidos, la gran mayoría de estas se enfocan al desarrollo del software mas no del hardware.

Utilizar como motor de base de datos a SQLite, permite que el software de aplicación se pueda gestionar fácilmente en cualquier dispositivo móvil ya que ocupa una pequeña biblioteca (~275 KB) escrita en C.

El cultivo de Orellana automatizado, dio las primeras setas en un tiempo más corto que el cultivo tradicional; mostrando un claro ahorro en el tiempo de producción, así mismo se logró un producto más homogéneo y el ahorro de agua fue significativo ya que el modulo realiza el riego por goteo.

El diseño modular permite implementar este desarrollo tecnológico en diferentes cultivos, gracias a su fácil configuración, así mismo se puede adaptar a diferentes condiciones y ajustar el software y el hardware; esta característica proporciona una ventaja con respecto a los dispositivos comerciales que vienen desarrollados para cultivos específicos distintos a los nuestros y no es fácil cambiar su configuración de funcionamiento.

Automatizar el proceso de producción de Orellana mostro claramente ventajas como homogeneidad en el producto final, ahorro en tiempo de producción y optimización de recursos naturales como el agua; así mismo proporcionó información sobre el cultivo que puede ser utilizada para estudios y análisis posteriores.

El cultivo de Orellana automatizado permitirá una producción en serie, teniendo en cuenta que no se necesita de una persona a diario para el seguimiento y mantenimiento de este, teniendo en cuenta que este

ha sido el mayor inconveniente para no poder realizar la producción constante (cuando no hay recursos económicos para contratar el personal no se puede propagar el cultivo).

Este desarrollo tecnológico permitirá llevar las tecnologías de información y comunicaciones al campo y así convertir la agricultura en una actividad más rentable y mucho más amigable con el medio ambiente.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] León Mostacero J.A. (2012). Desarrollo de un Sistema de Riego a Precisión en un equipo de pivote central. Tesis de grado Doctorado. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México.
- [2] Leyva Rafull L. Z., Alvez de Souza C. M. (2001). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Universidad Agraria de la Habana. Pp. 7-10
- [3] Lago González C., Sepúlveda Peña J. C., Barroso Abreu R; (2011). System for the automatic generation of yield mapping with application in precision farming. Revista IDESA. 29, 59-69
- [4] Verion Agricultura. (2012). Vcom 7.1. Bogota, Colombia. Recuperado (2015, Mayo 30) de <http://www.agriculturaverion.com.co/>
- [5] A. Avizienis, J.C. Laprie, B. Randall, "Fundamental Concepts of Dependability", UCLA CSD, 2000, Report no. 010028.
- [6] Leau Y. B. Loo W. K. Tham W. Y. "Software Development Life Cycle AGILE vs Traditional Approaches" School of Engineering and Information Technology Universiti Malaysia Sabah, Malaysia. 2013, International Conference on Information and Network Technology.
- [7] Letelier P, Canós J. H., y Penadés C., «Metodologías Ágiles en el Desarrollo de Software», presentado en VIII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos JISBD, Alicante - España, 2003, pp. 1-8.
- [8] Huttunen S, Peltomaa Juha. (2015) Agri-environmental policies and 'good farming' in cultivation practices at Finnish farms. Original Research Article Journal of Rural Studies, Volume 44, Pages 217-226.
- [9] Kaivosoja J., Jackenkroll M., Linkolehto R., Weis M., Gerhards R. (2014). Automatic control of farming operations based on spatial web services Original Research Article. Computers and Electronics in Agriculture, Volume 100, Pages 110-115
- [10] Sherine M. Abd El-kader, Basma M. Mohammad El-Basioni. (2013). Precision farming solution in Egypt using the wireless sensor network technology Original Research Article. Egyptian Informatics Journal, Volume 14, Issue 3, Pages 221-233

- [11] H. Belhouchette, M. Blanco, J. Wery, G. Flichman. (2012). Sustainability of irrigated farming systems in a Tunisian region: A recursive stochastic programming analysis Original Research Article. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 86, Pages 100-110.
- [12] Yu-Chuan Liu, Hong-Mei Gao. (2016). Development and Applications of Mobile Farming Information System for Food Traceability in Health Management. *Applied Computing in Medicine and Health*, Pages 244-268
- [13] Cusmano L, Morrison A, Rabelotti R. (2010). Catching up Trajectories in the Wine Sector: A Comparative Study of Chile, Italy, and South Africa Original Research Article. *World Development*, Volume 38, Issue 11, Pages 1588-1602
- [14] Lizarazo I. A. Salcedo O. A., Carvajal A. (2011). Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite "Elaeis Guineensis" e híbrido O x G. *Revista de Ingeniería*, no.33 Bogotá, Páginas 124-130.
- [15] Pinto, A., Montoya, F., López, J, & García Cruz, A.(2013) Sistema inalámbrico de monitorización para cultivos en invernadero. Bogotá, Colombia. Recuperado (2015, Julio1) de http://www.sci.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000200022&lng=es&nrm=iso
- [16] King Pigeon Hi-Tech. Co., Ltd.(2014) . GPRS 3G Remote Central Monitoring System. Shenzhen, China. Recuperado (2015, Julio 1) de <http://www.gsm-m2m.com/>
- [17] 3GTrack. (2012) .GS828. Kwun Tong, Hong Kong. Recuperado (2015, Julio 1) de <http://3gtrack.com/>
- [18] Rodríguez Ramírez, J.A. (2006). Diseño de un sistema inalámbrico para el monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad relativa bajo invernadero. Tesis de trabajo de grado no publicada. Universidad De La Salle, Santafé de Bogotá, Colombia.
- [19] Jiménez López A. F. Jiménez López F. R., Fagua Pérez E. (2012). Procesamiento Digital De Imágenes De Sensores Remotos Para Aplicaciones De Agricultura De Precisión. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*. Número 21. Páginas 19-26.
- [20] González Palacio L; Urrego Giraldo Germán. "Modelo de requisitos para sistemas embebidos" *Rev. ing. univ. Medellín* vol. 13 no.13 Medellín July/Dec. 2012.
- [21] Sanchez Dams R. D. "Estado del Arte del Desarrollo de Sistemas Embebidos desde una Perspectiva Integrada entre el Hardware y Software" *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* Volumen 2 – Número 22 – 2013.
- [22] Amaya Balaguera Y. D. "Agile methodologies in the development of applications for mobile devices". *Revista de Tecnología , Journal Technology*, Volumen 12, Número 2 Págs. 111-124. Colombia 2013
- [23] P. Abrahamsson, «Agile software development of mobile information systems», en *Proceedings of the 19th international conference on Advanced information systems engineering*, 2007, pp. 1-4.
- [24] S. B. Kaleel y S. Harishankar, «Applying Agile Methodology in Mobile Software Engineering: Android Application Development and its Challenges», 2013.
- [25] Roger S. Pressman (2010) *Ingeniería de Software un enfoque práctico* 6 edición (ed 2010) McGraw-Hill
- [26] Salazar O. A. Medina Aguirre F. A, Chaves Osorio J. A. "Herramientas Para El Desarrollo Rápido De Aplicaciones Web", *Scientia et Technica* Año XVII, No 47, Mes 2011. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [27] Moreno Reséndez A, Aguilar Durón J, Luévano González A. (2011), Características de la agricultura protegida y su entorno en México. núm. 29, julio-diciembre, 2011, pp. 763-774
- [28] A. Avizienis, J.C. Laprie, B. Randall, "Fundamental Concepts of Dependability", *UCLA CSD*, 2000, Report no. 010028.
- [29] Pabón, M., Saavedra, H., Cárdenas, V., Niño, R., Parra, L., Garzón, M. & Reyes, F. (2002). Propuesta Para El Rediseño De La Red De Observaciones Meteorológicas En Colombia. *Meteorología Colombiana*, 5, 13-23.
- [30] Mandado, E. (2002). *Sistemas Electrónicos Digitales*. España: Marcombo
- [31] Floyd, T. (2008). *Fundamentos De Sistemas Digitales*. España: Pearson.
- [32] Jain, R.P. (2010). *Modern Digital Electronics*. India: Mc Graw Hill.
- [33] Prat Viñas, L., & Calderer Cardona, J. (2006). *Dispositivos electrónicos y fotónicos*. España: UPC.
- [34] Tocci, R. J., Widmer Neal, S., & Moss, G. L. (2007) *Sistemas Digitales, Principios y Aplicaciones*. México: Pearson .
- [35] Ibrahim. A. D. (2011). *Advanced PIC Microcontroller Projects in C*. Newnes. USA. 83-90.
- [36] Quintana G. (2008). *Aprende SQL*. España: Print Digital. 300p
- [37] Martin Scofet, C., Quer Bosor, M.C., & Rodríguez González M.E.(2002). *Introducción SQL para usuarios y programadores*. Inglaterra: Paraninfo
- [38] Hernández Niño J.R. (2012). *La fungicultura y el Desarrollo Sostenible en la Orinoquia Colombiana*. Ed Académica española.
- [39] Gobernación de Casanare. (2015). *Plan Estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación PEDCTI 2022*. Yopal, Casanare. Recuperado (2015, Junio 18) de <http://www.casanare.gov.co/index.php?idcategoria=37907>
- [40] Gobernación de Casanare.(2010). *Plan De Competitividad De Casanare*. Yopal, Casanare. Recuperado (2015, Junio 30) de <http://www.incoder.gov.co/documento.pff>