



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN WEB PARA LA CAPTURA, MONITOREO Y REGISTRO DE VARIABLES AMBIENTALES A PARTIR DE UN DISPOSITIVO DE CAPTURA”

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN CIENCIAS COMPUTACIONALES**

RUBÉN ANDRÉS CARVAJAL ULLOA

CHARLIE GENARO MEDINA VACA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida. A toda mi familia por el esfuerzo, enseñanzas y palabras de aliento que siempre supieron darme en este camino, son ellos los artífices y principales responsables de mi éxito.

Debo agradecer a esta magnífica institución que desde el primer día que me acogió me hizo sentir importante, me enseñó a superarme a mí mismo y buscar siempre la excelencia, a mis profesores que han sido los conductores y quienes guiaron este logro.

A mis amigos que siempre están presentes y con cuales compartí grandes momentos, entre proyectos, risas, decepciones y alegrías al final siempre supimos sacar adelante todos los objetivos.

**Rubén Andrés Carvajal Ulloa**

## **AGRADECIMIENTOS**

El primer y mayor agradecimiento siempre será a Dios, por el camino que escogió para mí, porque con cada caída, con cada experiencia, me convertía en un hombre más fuerte.

Segundo, a mis siempre presentes padres, Genaro Medina y Narcisa Vaca, quienes con cada palabra de ánimo, con cada abrazo, con cada felicitación y cada regaño, buscaban que descubra qué clase de persona quiero ser. No se equivocaron nunca. Ahora es tiempo que cosechen lo que han sembrado, y solo espero siempre ser grato con todos los sacrificios que hicieron para darme lo que hoy tengo.

Y tercero, a la institución, mis profesores y mis amigos, por las risas y los problemas, por las alegrías y las dificultades, por siempre ser y siempre estar. Aquí culmina otra etapa, pero empieza la más difícil de todas, siempre buscando ser más para servir mejor.

**Charlie Genaro Medina Vaca**

## DEDICATORIA

A mis padres Rubén Carvajal y Yolanda Ulloa, por haber sido un apoyo durante estos 5 años de carrera universitaria, por sus consejos e infinita preocupación, a mi hermano Fernando Carvajal que siempre me acompañó y estuvo en todo momento presente.

A todas las personas que me vieron cambiar y superarme para llegar a esto, jamás olvidaré su apoyo por mínimo que haya sido, ahora que termina una etapa de mi vida jamás lo olvidaré y siempre recordaré la persona que un día fui y como su apoyo hizo que culminara con éxito esta etapa universitaria.

**Rubén Andrés Carvajal Ulloa**

## DEDICATORIA

A mis padres, que siempre quisieron ver en mí el ejemplo de éxito. Les dedico este trabajo, y les dedico el resultado de estos 5 años. A ellos les dedico mi futuro, ya que hicieron lo mejor de mi pasado, buscando la estabilidad de mi presente. Sepan que todo lo que hacía, era siempre pensando cómo hacer que se sientan orgullosos de mí.

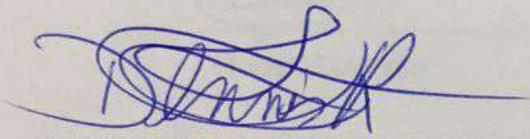
También no puedo dejar de dedicar esto a mis padrinos y madrinas, Pepe, Luzmila, Patricio, Judith y Miguel, que estuvieron atentos, a veces a la distancia, pero siempre con buenos deseos y siempre augurándome éxitos.

Y a la memoria de mi abuela, Colombia Clavijo, que cumplió uno de sus sueños al verme ingresar a la ESPO. Ahora estoy cumpliendo su otro sueño, graduarme aquí. Jamás se olvidarán sus enseñanzas, y sus palabras de aliento quedarán grabadas en mi memoria.

Para todos ellos, con gran respeto y mucho amor.

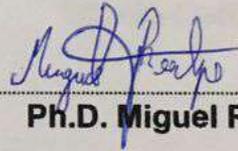
**Charlie Genaro Medina Vaca**

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



**Ph.D. Dennis Romero**

PROFESOR EVALUADOR

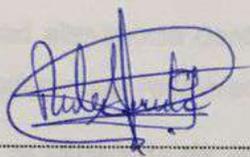


**Ph.D. Miguel Realpe**

PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Rubén Carvajal



Charlie Medina

## RESUMEN

Según los reportes recientes de la Organización de Naciones Unidas (ONU), se estima que en aproximadamente 35 años la población mundial incremente en un 27%, aumentando así la tasa de pobreza y desnutrición ante la excesiva demanda de alimentos y recursos, y la poca producción actual de los mismos.

Es por este motivo que organizaciones y gobiernos alrededor del mundo buscan crear planes a mediano y largo plazo que sirvan para balancear la situación económica y social en un futuro. Ya están en marcha proyectos ante el exceso de contaminación, y proyectos para erradicar la pobreza. De igual forma se impulsa la auto sustentabilidad alimenticia dentro de cada país, esto genera una fuente de ingresos que desencadena una reactivación económica y productiva.

En Ecuador, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) ha venido promocionando el uso de invernaderos con los productores nacionales, realizando inversiones y ayudando a los mismos con la instalación de invernaderos y ofreciendo capacitación para el cultivo de productos de ciclo corto. Estos programas han dado resultados positivos y tanto pequeños como medianos productores han sido beneficiados a través de un incremento en la tasa de producción tanto en la Costa como en la Sierra. Con todo esto, se demuestra la rentabilidad y confianza que existe en el uso de técnicas de cultivo en Ecuador.

Sin embargo, estos invernaderos no cuentan con un sistema tecnificado que permita optimizar sus procesos y tampoco la posibilidad de administrarlos remotamente; y es esta la razón que impulsó el desarrollo del proyecto descrito en el presente trabajo.

Para el desarrollo de esta aplicación web se tomó como base una solución diseñada por el Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Sistemas computacionales (CIDIS) de la ESPOL, que permite captar las señales enviadas por sensores que miden temperatura, humedad y luz. Con estos datos, se desarrolló una plataforma web, que le permite al usuario observarlos de forma gráfica y tomar acciones en caso de alertas por picos dentro del microclima de invernaderos.

El sistema en su totalidad cuenta con un hardware que actúa como concentrador, que es quien recibe las señales enviadas por los sensores. El concentrador está

encargado de enviar los datos hacía un servidor remoto, a través de conexión Wifi. La aplicación web se conecta con una base de datos para mostrar la información enviada desde el concentrador en tiempo real, estos datos son accedidos por usuarios o administradores de los invernaderos.

En base a los resultados de las pruebas hechas al sistema se resolvió añadirle componentes que le permitan ser independiente del hardware de captura de variables ambientales. De esta manera, se facilita su implementación, no solamente usando el hardware desarrollado como base en este proyecto, sino para cualquier otro tipo de sensores que se pueda añadir en un futuro, expandiendo el potencial del presente trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iv
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	vi
DECLARACIÓN EXPRESA .....	vii
RESUMEN .....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	x
CAPÍTULO 1 .....	1
1 SITUACIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER .....	1
1.1 Sistemas de control para invernaderos .....	2
1.2 Tipos de cultivo para invernadero.....	2
1.3 Invernaderos y sistemas implementados en Ecuador .....	3
1.4 Sector en crecimiento.....	3
1.5 Eficiencia de invernaderos.....	4
1.6 Sistemas existentes.....	5
1.7 Objetivos generales.....	5
1.8 Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO 2.....	8
2 SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA.....	8
2.1 Descripción del proyecto base.....	8
2.2 Flujo de datos dentro del sistema.....	10
2.3 Alcance del diseño propuesto.....	11
2.4 Casos de uso detallados del sistema .....	12
2.5 Características de la solución propuesta.....	14
2.6 Descripción del software intermedio para comunicación con el concentrador.....	15
2.6.1 Descripción de herramientas de software usadas en el desarrollo del aplicativo de capa media.....	16

2.7	Descripción del software de administración web .....	17
2.7.1	Descripción de herramientas de software usadas en el desarrollo del sistema de administración web .....	18
2.7.2	Características del diseño propuesto .....	18
2.7.3	Selección de los tipos de diagramas para los datos .....	19
2.7.4	Sistema de alertas .....	22
2.7.5	Generación de reportes .....	23
2.7.6	Comunicación con actuadores .....	24
2.8	Descripción de la base de datos .....	24
CAPÍTULO 3 .....		26
3	RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO .....	26
3.1	Pruebas con concentrador de datos .....	26
3.2	Pruebas del software intermedio para comunicación con el concentrador .....	27
3.3	Pruebas del sistema de administración web .....	27
3.4	Validación de interfaz de usuario .....	28
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		29
BIBLIOGRAFÍA .....		31

## CAPÍTULO 1

### 1 SITUACIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER

La población del planeta crecerá de los actuales 7.5 billones a los 9 billones de habitantes para el 2050, según reportes de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), trayendo consigo los conocidos problemas de sobrepoblación entre los cuales se incluyen problemas como la provisión de alimentos, servicios, agua potable, entre otros, a este gran número de habitantes. Según cálculos de los foros científicos más representativos y la misma ONU, se espera que la producción de alimentos se incremente en un 70% para cubrir la demanda mundial de alimentos [1, 2, 3]. Aquí toma relevancia la frase de Geoffrey Carr: *“If agriculture is to continue to feed the world, it needs to become more like manufacturing”*, que se refiere a la necesidad de tecnificar la agricultura como si se tratase de una industria más, para evitar futuros problemas como el desabastecimiento de alimentos.

Con el panorama descrito se destaca la acelerada carrera por invertir en sistemas de alta tecnología no solo para agricultura a gran escala, sino para invernaderos y control automático de toda clase de cultivos de medianos y pequeños productores. Se destacan los valores invertidos en esta área solo en el 2015, la misma que alcanzó los 4 billones de dólares a escala global [1], además de acuerdos y convenios como el alcanzado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) con Google para usar servicios satelitales que mejoran el manejo de recursos naturales, sobre todo en el tema de tierras de cultivo.

Debido a esto, una gran parte de esa inversión se destina al sector de producción de plantas en invernaderos, como lo demuestran ciertas evidencias [2] [3] [4]. El objetivo de dicha inversión es producir más y mejores plantas al menor costo posible. Sin embargo, alcanzar este objetivo requiere de gran cuidado y un seguimiento constante de las plantas que se estén cultivando, lo que finalmente se traduce en contratar más personal, algo que contradice la premisa de reducción de costos. Por este motivo y por la necesidad de llevar controles periódicos, se requiere de sistemas tecnológicos que optimicen la producción en cada ciclo de siembra, y que en parte puedan suplir la supervisión manual.

Es claro que para lograr una mejora en el rendimiento de cualquier clase de cultivos se necesita medir y registrar con precisión las variables, en especial, las que afectan de forma directa a la especie de planta que se está cultivando, y sobre esa base de datos realizar un análisis que lleve a la correcta toma de acciones, encaminando así una mejora tanto en la producción como en la calidad de la cosecha.

A continuación, se describen aspectos importantes que son relevantes en esta propuesta, ya que se relacionan de forma directa con todo lo expuesto anteriormente.

### **1.1 Sistemas de control para invernaderos**

Antes de describir la importancia de los sistemas de control en invernaderos se debe entender por qué es importante monitorear variables como temperatura, humedad y luz en este tipo de sistemas y el beneficio que esto trae en cuanto a rentabilidad de los cultivos. Es importante destacar que para todo cultivo, ya sea en exteriores o en condiciones interiores como los invernaderos, una práctica constante es el monitoreo de las variables antes mencionadas, proceso que se realiza en intervalos de tiempo ajustados al tipo de cultivo. Este proceso permite programar acciones como incrementar o disminuir la cantidad de agua, colocar más nutrientes o ajustar la ventilación para alterar la humedad del ambiente. Todo esto se lleva a cabo para que el cultivo llegue a condiciones óptimas de desarrollo. Por esto se necesita un sistema de monitoreo constante, que ofrezca a las personas encargadas de los invernaderos la facilidad de verificar dichas variables, no solo por intervalos de tiempo sino ofreciendo retroalimentación en tiempo real lo cual da a los encargados mayor control y facilidad en la toma de decisiones.

### **1.2 Tipos de cultivo para invernadero**

Es importante resaltar los tipos de cultivo que son idóneos para invernaderos. Estos sistemas controlados son ideales para la producción de hortalizas y otros alimentos. Entre los productos se incluyen verduras como las habas, rábano, zanahoria, papa y cebolla, y legumbres como alverja, frijoles chochos, maní, entre otros. que se encuentran en la base de la alimentación tanto del Ecuador como de gran parte del mundo. A esto debemos sumarle que la producción

agrícola en Ecuador aún se encuentra poco tecnificada, lo cual crea un nicho de mercado que busca pasar de cultivos convencionales en productos como los antes mencionados a cultivos en invernaderos, con tecnología que ayude a la mejora en calidad y producción de alimentos.

### **1.3 Invernaderos y sistemas implementados en Ecuador**

En Ecuador tenemos ejemplos exitosos y de fuerte inversión, principalmente por parte del estado, en proyectos de automatización y aseguramiento de la calidad agrícola, situación que ha llevado a invertir sobre todo en tecnología para el agro. Ejemplo de esto es que el país cuenta con uno de los mejores invernaderos en América Latina [5], el cual se usa para producir semillas de papa de la más alta calidad. Este proyecto contó con una inversión de 4 millones de dólares y beneficia a gran parte de los productores de papa a nivel nacional.

Así mismo el gobierno a través del MAGAP viene promocionando el uso de invernaderos, realizando la instalación de los mismos y capacitando a los productores para el cultivo de hortalizas usando esta técnica. Esto se ha llevado a cabo en diferentes provincias como Azuay [6] y Cañar [7] con excelentes resultados.

Estos programas demuestran la rentabilidad y la confianza para usar esta técnica de cultivo dentro del país. Teniendo en cuenta que estos invernaderos no cuentan con sistemas tecnificados, vemos un panorama alentador y una visión a futuro para lograr incluso mejores resultados en producción, que si bien ya son beneficiosos, podrían mejorar mucho más y aprovechar mejor los recursos como agua, luz o energía con el uso de la tecnología. Con esto, se espera llegar a una soberanía alimentaria que nos permita tener una producción suficiente en cantidad y calidad.

### **1.4 Sector en crecimiento**

Lo mencionado anteriormente expone la forma en que se está invirtiendo en este sector en el plano nacional. Por otro lado, si vamos al mercado global el rubro es muchísimo mayor. Uno de los países líderes en el cultivo con

invernaderos y en su tecnificación es Canadá [8]. Solamente en ese país la industria agrícola tiene un valor de 2.5 billones de dólares, de los cuáles 1.2 billones representan cultivos en invernaderos, lo que equivale al 48% de toda la industria agrícola [9].

A continuación, se presentan varios aspectos que destacan para que Canadá sea uno de los líderes mundiales en producción de hortalizas usando invernaderos:

- Primeros en el mundo en inversión de tecnología para invernaderos.
- Mejoras en el aprovechamiento de energía y agua.
- Controles exhaustivos de variables ambientales y de calidad.

Con estos lineamientos, y siguiendo ejemplos exitosos como el de Canadá, se puede crear un ambiente de innovación en el que el cultivo de hortalizas se realice en invernaderos y usando tecnología para el monitoreo de los mismos, con esto se lograría no solo incrementar el rendimiento sino también mejoras en la calidad de los cultivos.

### **1.5 Eficiencia de invernaderos**

La demanda de energía y cómo ésta es aprovechada de manera eficiente es uno de los objetivos de introducir tecnología en un invernadero. Para esto, se debe tener en cuenta muchos factores como el clima, no solo en el interior del invernadero sino en el exterior [10], logrando así un balance adecuado de variables como la temperatura y la humedad, lo que finalmente se traduce en una mejor producción de hortalizas, además de un considerable ahorro energético.

La eficiencia en invernaderos depende de varios aspectos, empezando desde los materiales de construcción, el tipo de invernadero, las condiciones externas y por supuesto el consumo de energía. Este último incluye el consumo de agua, fertilizantes, químicos, fuerza mecánica en el uso de calentadores, luces leds o incandescentes, movimiento de actuadores, entre otros. En este caso la tecnología contribuye midiendo en tiempo real valores de luz, humedad o temperatura y enviando retroalimentación constante a los encargados de estos

invernaderos para que tomen la mejor decisión en el uso de actuadores como rociadores, luces leds o paneles que dejen pasar más o menos luz exterior. Y llevando el concepto de automatización un paso hacia adelante se piensa en sistemas completamente independientes de un administrador, dejando el control total a un software especializado que tome las mejores decisiones basado en datos de sensores instalados en invernaderos, minimizando aún más el consumo de energía.

## **1.6 Sistemas existentes**

En la actualidad ya se encuentran soluciones de este tipo en el mercado. El problema de dichas soluciones es que la mayoría están pensadas para macro proyectos o cultivos en invernaderos de gran tamaño [11] [12], sumado a esto, se tiene el elevado costo de los mismos, además de gastos en capacitación, instalación, y muchas veces mantenimiento del producto ofertado por estas empresas. Cabe mencionar que en el país es casi nula la incursión de empresas dedicadas a la instalación de este tipo de sistemas.

Por esto, en el año 2015 se desarrolló en el CIDIS-ESPOL, un hardware capaz de monitorear un invernadero, reportar valores medidos a un concentrador de información y recibir comandos que puedan activar o desactivar actuadores. Como se describe, se cuenta con el hardware operativo, por lo tanto, el propósito de este proyecto es dotar de un software especializado a este componente de hardware que tendrá entre sus características la visualización de variables del entorno en tiempo real, permitir el envío de comandos hacia los actuadores y recibir información desde los diferentes sensores.

## **1.7 Objetivos generales**

Desarrollar una plataforma de software que permita a distintos administradores la posibilidad de monitorear variables ambientales provenientes de un dispositivo de captura. A partir de las mediciones obtenidas, esta plataforma de software debe emitir alertas a los administradores si alguna de las variables presenta valores anormales. Los administrados tendrán la facilidad de acceder a los datos históricos registrados por los sensores de diferentes formas, ya sea

mediante gráficas o usando reportes en varios formatos. Además, se debe incluir comunicación directa con los actuadores, enviando señales y datos hacia los mismos con la finalidad de alterar condiciones ambientales del sistema que se encuentre bajo control.

Mejorar la calidad y productividad debido al control en tiempo real de las condiciones ambientales para el cultivo de plantas. Además, optimizar el uso de los recursos energéticos como el agua, luz y nutrientes que se provee a estos cultivos. Con el registro continuo de las condiciones ambientales se puede guiar el desarrollo de estas plantas bajo las condiciones más adecuadas para su desarrollo.

En general el presente proyecto debe proveer al sector agrícola tecnología capaz de monitorear y controlar condiciones ambientales en sistemas aislados, como es la técnica de cultivo basada en invernaderos.

### **1.8 Objetivos específicos**

- Crear un sistema independiente del dispositivo usado para la captura de variables ambientales, que pueda adaptarse con cambio mínimos a configuraciones diferentes de hardware.
- Crear un sistema que pueda ser usado tanto por personal calificado como administradores de invernaderos, así como personas que estén empezando a usar sistemas informáticos como agricultores en áreas rurales, que han tenido poco contacto con sistemas tecnológicos.
- Almacenar datos leídos desde los sensores, con el objetivo de acceder a un histórico de los mismos, especificando rangos de tiempo.
- Mantener retroalimentación del estado de las variables. Si estas se encuentran dentro de los rangos establecidos o fuera de los mismos. En el segundo caso comunicar por medio de notificaciones dentro de la aplicación, o vía correo electrónico si el usuario no se encuentre conectado.

- Garantizar la visualización de los datos provenientes desde los sensores en tiempo real, ofreciendo retroalimentación del microclima al interior de los invernaderos en todo momento.
- Gestionar manejo de personal por parte del sistema. Se provee un sistema de autenticación para administradores y usuarios generales, creando una jerarquía en la cual podemos asignar tareas y áreas de control a cada usuario.
- Diseñar un sistema haciendo uso de las últimas tecnologías de forma que faciliten su mejora y mantenimiento en futuras actualizaciones.

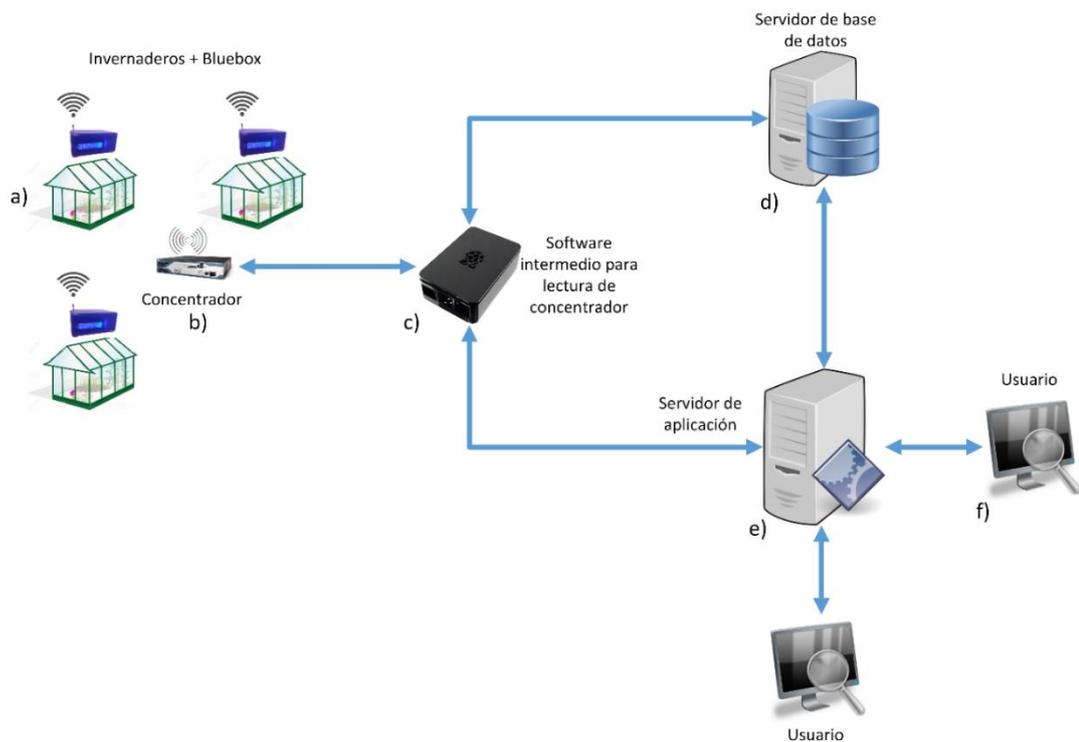
## CAPÍTULO 2

### 2 SOLUCIÓN TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA

En el presente capítulo se describen aspectos técnicos y de implementación, así como todas las características que incluye la solución implementada de software.

#### 2.1 Descripción del proyecto base

En la actualidad se dispone de un dispositivo base para este proyecto, el cual es una solución de hardware ya implementada que cuenta con sensores, actuadores y comunicación para transmitir los valores medidos en los sensores y recibir señales para los actuadores. La Figura 2.1 (a) y (b) corresponden al componente de hardware existente sobre el cual se construyó la solución de software, potenciando así las capacidades de este proyecto.



**Figura 2.1: Arquitectura completa del sistema, los puntos (a) y (b) son el hardware existente, la solución de software implementada en este proyecto corresponde a los puntos (c), (d), (e) y (f).**

Como se observa en Figura 2.1 (a) se cuenta con un hardware con la capacidad de recibir y enviar señales desde el interior de los invernaderos, la Figura 2.2 muestra el componente final colocado al interior de los mismos, adicional en la Figura 2.1 (b) se muestra un concentrador dotado con capacidad de manejar señales desde y hacia el interior de todos los invernaderos. A continuación, se explica con mayor detalle la función de cada componente dentro de la solución final.



**Figura 2.2: Sensor medidor de variables (Bluebox)**

El componente base que va dentro de los invernaderos es una caja, que en adelante la llamaremos *Bluebox*. Dicho componente de hardware presenta un microcontrolador Atmega328p conectado a tres sensores:

- Temperatura y humedad relativa - HTU21D
- Luminosidad - TEMT 6000
- Temperatura al interior del dispositivo - LM35

Además de los sensores, se tiene un dispositivo XBee PRO Series 1 conectado al mismo microcontrolador Atmega328p, que será el encargado de transmitir los datos de forma inalámbrica hacia el concentrador, gracias a una configuración

en modo API. Dicha configuración del XBee permite crear una red de varios blueboxes transmitiendo a un mismo concentrador sin que haya interferencias, y diferenciando al bluebox que reporta los datos. Cada uno de los blueboxes se ubicará dentro de un invernadero. Además, hay que señalar que cada invernadero puede tener más de un bluebox, para tener una mejor retroalimentación del microclima dentro del mismo.

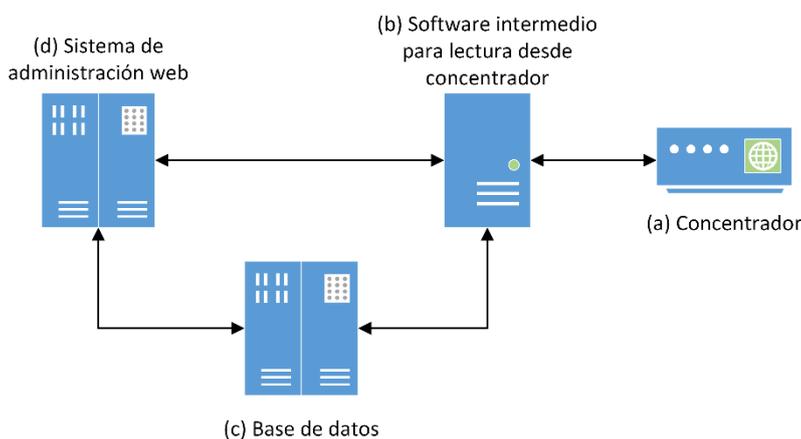
Una vez definida la función de cada bluebox, se puede describir la función que cumple el concentrador de datos. Es el dispositivo al cual se conectan los blueboxes usando el componente XBee. En el concentrador se cuenta con un XBee configurado también en modo API para recibir información de forma inalámbrica, esto permite la recepción de datos provenientes de los sensores en los dispositivos instalados dentro de los invernaderos. Este concentrador tiene la tarea de verificar los datos recibidos y empaquetarlos para ser transmitidos vía puerto serial a una computadora o microcomputadora, como puede ser una Raspberry Pi o un BeagleBone.

## **2.2 Flujo de datos dentro del sistema**

El flujo de datos dentro del sistema, como se muestra en la Figura 2.3, es un aspecto clave dentro del mismo. Los datos que generan los sensores son recogidos por el concentrador, representado en la Figura 2.3(a). Este dispositivo empaqueta los datos en un estándar conocido, para luego ser transmitido vía puerto serial hacia un microcomputador o computador que se encuentre corriendo un servicio dedicado a la lectura constante del puerto serial, representado en la Figura 2.3(b). Una vez que los datos han arribado desde el concentrador, estos son desempaquetados, analizados y, utilizando comunicación con una base de datos, son directamente almacenados en la misma, como muestra la Figura 2.3(c). Este flujo fue desarrollado de la forma descrita con anterioridad para que no exista dependencia entre el sistema de administración web y la lectura de datos desde el concentrador. Debido a que este último siempre debe estar conectado a un microcomputador o computador por el arribo de datos vía puerto serial, se vuelve complejo tener un servidor de aplicaciones cerca del concentrador. Este concentrador se encuentra siempre

cerca de los invernaderos, los cuáles no necesariamente van a tener un computador cerca. Por otro lado, un servidor de aplicaciones se encuentra generalmente en la nube.

Con la información proveniente desde el concentrador ya almacenada en la base de datos, se comunica al sistema de administración web, representado en la Figura 2.3(d), que hay nuevos registros disponibles. Esta información es transmitida con parámetros adicionales hacía el sistema de administración web con el fin de verificar si existe algún usuario conectado, para empezar a transmitir en tiempo real hacia el o los clientes conectados. Para este último tramo, el sistema de administración web posee conexión directa con la base de datos.



**Figura 2.3: Diagrama del flujo de datos del sistema**

### 2.3 Alcance del diseño propuesto

La implementación para este proyecto contempla el desarrollo de una solución integral de software que sea capaz de recoger los datos provenientes desde el concentrador, y a partir de esto crear todo un ecosistema de manejo de datos, errores, alertas, administración de invernaderos, manejo de usuarios y asignación de roles, tareas elementales que están contempladas para la solución propuesta.

Esta implementación se basa en el desarrollo de los puntos (a, b y c) de la Figura 2.1. Para la ejecución del proyecto se escogieron herramientas avanzadas de

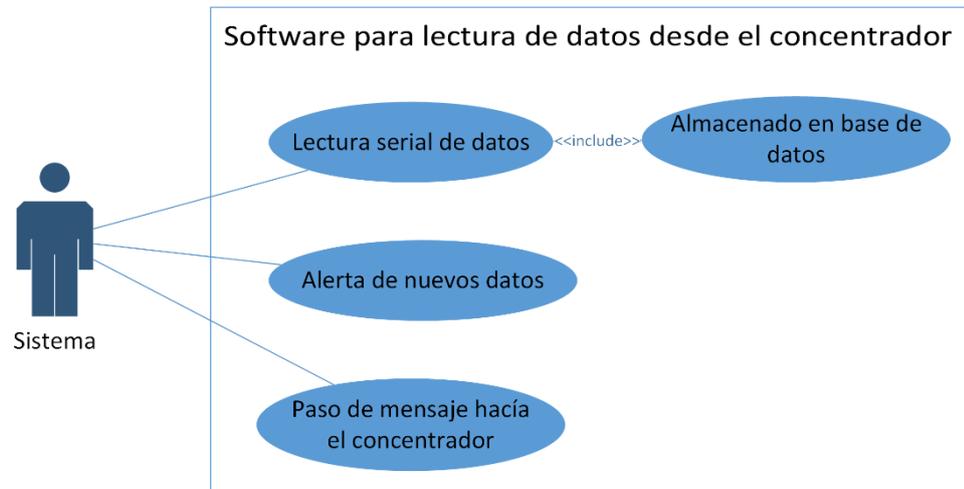
software que faciliten el mantenimiento y desarrollo, así mismo la instalación y compatibilidad. Además, se tomó en cuenta que el software intermedio puede ser utilizado sobre algún microcomputador y que el concentrador podría ser cualquier producto dentro de una amplia gama de equipos de hardware para recibir información desde los invernaderos y enviarlos hacia un computador. Como se mencionó con anterioridad, este producto ya se encuentra desarrollado, pero no está exento de actualizaciones o mejoras en los equipos de hardware, es por eso que esta solución debe ser capaz de acoplarse de la mejor forma a estos cambios con una mínima cantidad de modificaciones.

#### **2.4 Casos de uso detallados del sistema**

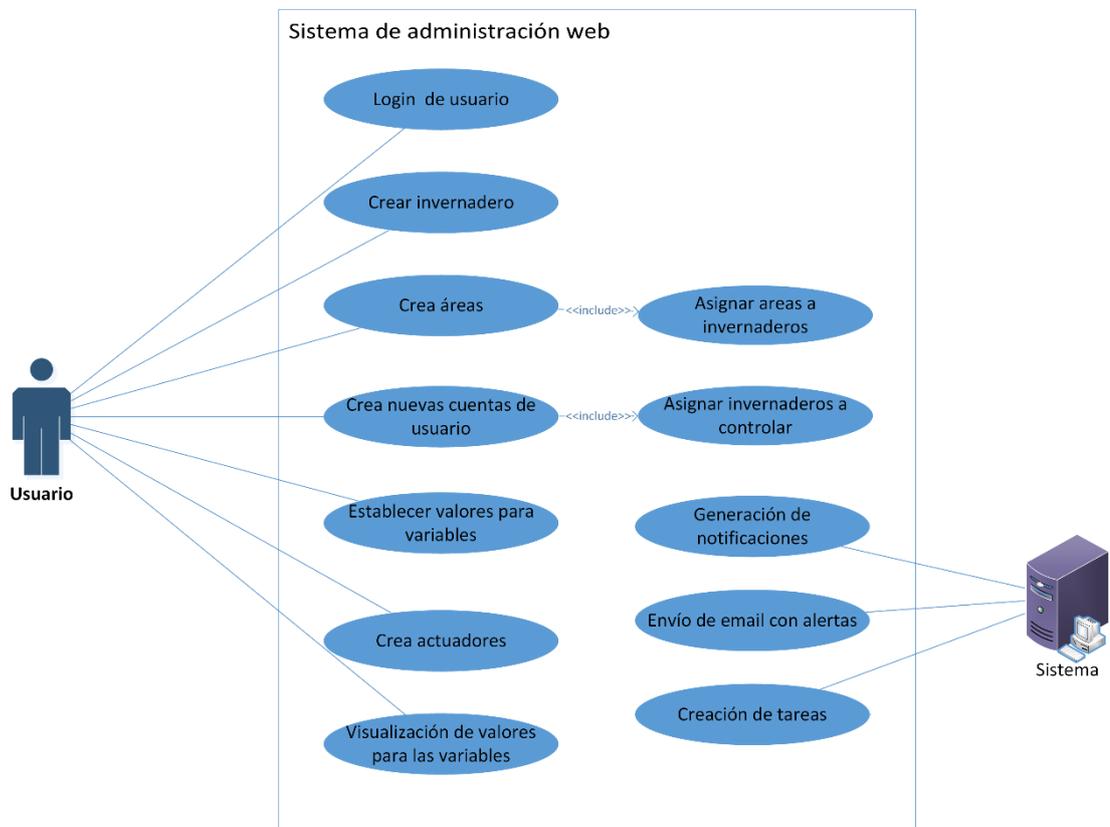
Las acciones del sistema van a ser gobernadas por dos partes importantes de software, que van a trabajar cada una de forma independiente para evitar la interdependencia y facilitar la modularización y actualización de la solución final propuesta.

La Figura 2.4 describe todas las acciones que tendrá a cargo el software de lectura de datos desde el concentrador, parte crucial de la implementación, ya que será la encargada de mantener el flujo de datos dentro del sistema; pasando la información desde el concentrador hacia la aplicación web, comunicando la presencia de nuevos registros al sistema de administración web para su análisis y emisión de alertas y almacenando los mismos en una base de datos para su posterior consulta.

La segunda parte del sistema es el software de administración web, el cual tiene la capacidad de resumir la información desde los sensores, verificar automáticamente valores en las variables, emitir alertas en caso de que alguna medición esté fuera de rango, enviar datos hacia los actuadores haciendo uso del software intermedio para la comunicación con el concentrador, y demás acciones de manejo de usuario presentes en un software de administración. La descripción detallada de los casos de uso se muestra en la Figura 2.5.



**Figura 2.4: Diagrama de casos de uso del software intermedio para lectura de datos desde el concentrador**



**Figura 2.5: Diagrama de casos de uso para el sistema de administración web.**

## 2.5 Características de la solución propuesta

La solución de software propuesta se basa en arquitecturas similares usadas en esta clase de sistemas. Características esenciales que deben estar presentes son la persistencia de datos, comunicación en tiempo real, software compatible tanto para PC y microcomputadores [13] y una aplicación de administración potente que le dé al usuario final del producto la capacidad de analizar la información generada por los sensores. Además, debe contar con comunicación hacia los actuadores para accionar o efectuar cambios en el hardware conectado al sistema. Finalmente debe ser capaz de evaluar de forma automática los datos provenientes desde los sensores y emitir alertas si existen valores fuera de rango.

Adicional a lo previamente descrito, el análisis de la solución gira en torno a la compatibilidad del software, tanto para la solución de hardware ya existente, como para futuras actualizaciones. A continuación, se detallan aspectos importantes del diseño propuesto:

- Compatibilidad a futuro. El software, además de funcionar con el proyecto actual, debe ser expandible y acoplable a otro tipo de hardware, incluso a posibles actualizaciones del mismo.
- Independencia de sistemas. El aplicativo de administración funciona de forma separada a la aplicación remota para captura y almacenamiento de datos provenientes de los sensores, esto permite evitar la pérdida de datos desde los sensores, incluso si el sistema de administración web no está funcionando.
- Capacidad de reacción mediante notificaciones y envío de correos electrónicos a los encargados de dichos invernaderos ante lecturas anómalas de los sensores.
- Transmisión en tiempo real de datos hacia los clientes en el momento en que estos se encuentren conectados.

- Generación de reportes con opciones de resúmenes y datos en formato compatible para exportar hacia otras aplicaciones.

## 2.6 Descripción del software intermedio para comunicación con el concentrador

Antes de empezar a describir de manera detalla la solución de software implementada, se deben tener claro los requerimientos previos:

El software necesita un aplicativo de capa media que administre los datos de entrada al sistema. Estos datos provenientes desde el concentrador tendrán una estructura similar a la mostrada en la Figura 2.6. La información recibida cuenta con un id, este parámetro es único para cada bluebox conectado al sistema. Este id ayuda a identificar la sección del invernadero a la que se encuentra asignado cada bluebox.

```
{id:<id>, temp:<valor_temperatura>, hum:<valor_humedad>, luz:<luminosidad>}
```

**Figura 2.6: Formato de datos provenientes desde el concentrador**

Como parámetros propios de los sensores tenemos *temperatura (temp)*, *humedad (hum)* y *luz (luz)* que hacen referencia al nombre de la variable medida dentro de los invernaderos. Estos valores son tomados por el sistema y a luego almacenados en una base de datos. Una vez que la recepción de datos termina, inmediatamente se inicia la verificación y guardado de los mismos en una base de datos. Esto es primordial, ya que el sistema debe tener persistencia en los datos para ser consultados en cualquier momento si así un usuario lo requiriese.

Finalmente, el servicio en C++ tiene la capacidad de comunicarse tanto con los blueboxes, como con el software de administración web. Esto es necesario por dos razones importantes, la primera vía de comunicación hacía los blueboxes se usa para enviar comandos hacía los actuadores, esto permite activar o desactivar luces, ventiladores, encender sistemas de riego o cualquier sistema que se encuentre conectado a los blueboxes; mientras tanto la segunda vía de

comunicación hacia el aplicativo de administración web se usa para enviar mensajes de confirmación y recibir comandos o señales que luego serán pasados a los blueboxes como comandos hacia los actuadores.

### 2.6.1 Descripción de herramientas de software usadas en el desarrollo del aplicativo de capa media

En el aplicativo de capa media se usaron 3 librerías distintas Figura 2.7 para conectar a los diferentes componentes de los cuales se recibe y envía información:

- SocketIO, POCO C++ Libraries
- Conexión a puerto serial, Boost.Asio C++ Libraries
- Conexión con MySQL, MySQL++ Connector



**Figura 2.7: Librerías utilizadas para el lenguaje C++ para construir el aplicativo de capa media**

Se escogió el lenguaje C++ para producir este aplicativo de capa media debido a que gran parte de microcomputadores utilizan este lenguaje como base para sus sistemas embebidos. El objetivo final es que este software pueda correr incluso en dispositivos embebidos con el objetivo de reducir costos, para eso necesitamos un lenguaje compatible con el mencionado tipo de hardware. Además, se ha usado software libre en todas las instancias del proyecto para no incurrir en violaciones a

derechos sobre software privativo en la implementación cuando se la esté comercializando.

## **2.7 Descripción del software de administración web**

La utilidad e importancia de esta parte del sistema hacen del diseño algo esencial. En primer lugar, esta aplicación será usada por personas con diversas experiencias en el uso de sistemas informáticos debido a que apunta a un amplio espectro en el mercado, desde biólogos encargados del cuidado de invernaderos hasta agricultores con poco entrenamiento tecnológico previo. Es por esto que en el diseño, esquematización y presentación del mismo se prestó mucha atención para que logre ser muy intuitivo.

El sistema cuenta con una etapa de autenticación a través de un nombre de usuario y contraseña. Una vez dentro del mismo, éste debe ser capaz de mostrar de forma vistosa las alertas acerca de las variables fuera de rango, con el propósito que el encargado del mismo tome acciones y verifique los invernaderos o haga el encendido/apagado de algún actuador. Además de alertas, se muestran las diferentes gráficas con históricos recientes de los valores medidos por los sensores, dispuestos en cada una de los blueboxes, con el fin de dar una clara retroalimentación y una idea de lo que está sucediendo dentro de cada uno de los invernaderos.

Otro aspecto importante es establecer umbrales de funcionamiento para los diferentes sensores de los blueboxes, que van a controlar el microclima en los invernaderos. Esto es crucial dentro del sistema, ya que de estos parámetros dependen las alertas emitidas hacia los usuarios. Esta característica de administración debe ser visible para un usuario con certificados de administrador dentro del sistema, debido a que debe ser un especialista y conocer con certeza los valores adecuados para hacer crecer los cultivos dentro de los invernaderos.

Finalmente se tiene una vía de comunicación hacia la base de datos para consultar todos los registros y se mantiene una segunda vía de comunicación hacia el aplicativo de capa intermedia para alertar eventos como encendido o

apagado de los actuadores que luego serán comunicados por este aplicativo a los diferentes blueboxes.

### **2.7.1 Descripción de herramientas de software usadas en el desarrollo del sistema de administración web**

Para el desarrollo del sistema de administración web se decidió usar tecnologías modernas, y con un uso generalizado que permita extender el mantenimiento de esta herramienta por un tiempo considerable. En el lado del servidor se usó un framework basado en el patrón MVC llamado Sails.js, el cual presenta características de real time y está construido para funcionar sobre Node.js haciéndolo compatible con una de las mayores colecciones de librerías de todo tipo para este último, entre las características de Sails.js se tiene el soporte de conexión a cualquier base de datos sea esta relacional o no relacional, 100% escrito en Javascript, comunicación en tiempo real usando web sockets y compatibilidad con cualquier plataforma de desarrollo front-end. De este último punto se parte para explicar que el framework usado para el front-end de la aplicación fue AngularJS, dada su característica de mantener todo el flujo de la aplicación en una sola página, haciendo que el cambio entre pantallas dentro de la aplicación sea fluido, esto es ideal en sistemas de administración como el presentado en este trabajo ya que el usuario siempre tiene en primer plano la interfaz de control, interactuando con ella, manipulando datos y visores de acuerdo a su necesidad sin salir de la página principal, y evitando recargar la página con cada cambio realizado dentro de la misma.

### **2.7.2 Características del diseño propuesto**

Una vez definidos los objetivos, usuarios involucrados en el manejo del sistema y la forma de interacción con el mismo, se especifica los siguientes principios de diseño:

- Tomar en cuenta las variables mostradas, ya que la distribución y la relevancia de la misma afecta de forma drástica el diseño de la interfaz en el panel de control.
- Tomar constancia en la navegación: Conlleva a que los flujos de las distintas pantallas dentro de la aplicación no cambien. Con esto se busca brindar al usuario una experiencia constante dentro de la interfaz.
- Proveer alertas y respuestas inmediatas: se proporciona alertas para que el usuario pueda saber en todo momento que hace lo correcto; por ejemplo, el encender un ventilador debe estar sustentado posiblemente con una alerta de temperatura fuera de rango. Estas alertas deben mostrarse de forma clara, ser de fácil lectura y comprensión para el usuario final.

### **2.7.3 Selección de los tipos de diagramas para los datos**

Para que los beneficios y utilidad de este tipo de sistemas se maximicen deben contar con una forma clara y concisa de transmitir los valores medidos, mostrar el estado actual e histórico del sistema para que el usuario final tenga una buena retroalimentación de lo acontecido en cada uno de los invernaderos, y pueda tomar decisiones con respecto a activar o desactivar actuadores, cambios en los valores máximos o mínimos de las variables y demás acciones.

Las variables medibles dentro del sistema son la temperatura, humedad y luminosidad. Estas 3 variables se van a graficar contra el tiempo y se va a describir la estrecha relación que existe entre la temperatura y humedad, temperatura y luminosidad y finalmente la relación entre la temperatura, humedad y luminosidad. A continuación, se describe de forma específica las gráficas presentadas dentro del sistema.

- **Temperatura, Humedad y Luminosidad vs. Tiempo**

Como retroalimentación fundamental para un usuario del sistema se le presenta la información de los tres sensores: temperatura, humedad y

luminosidad versus el tiempo, como se aprecia en la Figura 2.8.. Esta información es de suma importancia y muy básica para tener una idea del microclima dentro de los invernaderos. Esta vista puede acceder a datos históricos o generados en tiempo real por los sensores.

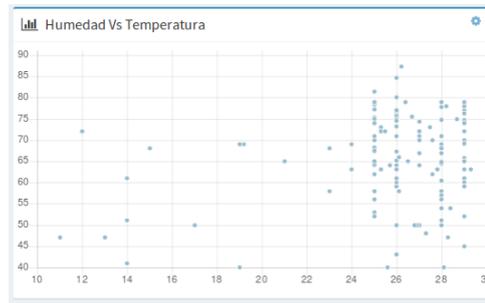


**Figura 2.8: Ejemplo de una gráfica de Temperatura vs Tiempo presentada en el sistema de administración web**

- **Humedad vs. Temperatura**

La estrecha relación entre temperatura y humedad y su importancia en sistemas de control para variables ambientales es más que demostrada [14] y evidente debido a que a un aumento de temperatura tenemos una mayor evaporación de agua; por lo tanto, mantener el control de cuánta agua rociamos a los invernaderos es crucial, sobre todo por el control de hongos y parásitos que pueden acabar con las hortalizas que están siendo cultivadas. Y dependiendo del tipo de cultivo y de la etapa, sea ésta crecimiento o floración se requiere una temperatura específica.

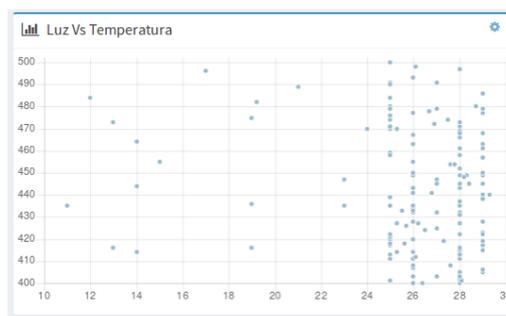
La ventilación o extracción de aire de este tipo de ambientes baja tanto la temperatura como la humedad, es por esto que necesitamos rociadores para volver a introducir humedad en caso de que esté muy baja. Estos cambios son importantes para los encargados de los invernaderos, por estas situaciones la Figura 2.9 es una gráfica importante a mostrarse en el sistema.



**Figura 2.9: Ejemplo de una gráfica de Humedad vs. Temperatura presentada en el sistema de administración web.**

- **Luminosidad y temperatura**

La relación entre luminosidad y temperatura es también importante, usada en muchos campos de la investigación [15] por su demostrada correlación. Dentro de un microclima como los invernaderos, la presencia de una gran cantidad de luz produce un efecto invernadero aumentando la temperatura al interior del mismo. Por tal motivo es importante que exista un registro, una forma fácil y rápida para un encargado del invernadero de detectar cambios de temperatura debido a la variación de la luminosidad y que a su vez pueda tomar correctivos de inmediato. La gráfica para este propósito mostrada en la Figura 2.10 pertenece a la representación original dentro de nuestro sistema de administración web.

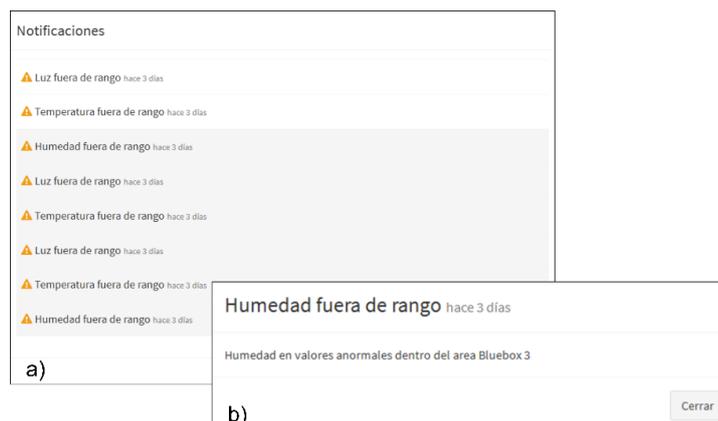


**Figura 2.10: Ejemplo de una gráfica de Temperatura vs Luminosidad presentada en el sistema de administración web**

#### 2.7.4 Sistema de alertas

La emisión de alertas es parte vital dentro del sistema de administración web. Una vez que se obtienen los datos desde el concentrador, éste publica una señal hacia el sistema de administración web, accionando mecanismos para verificar la nueva información y emitir alertas de dos tipos: dentro del sistema como notificaciones y fuera del sistema vía correo electrónico. Este sistema creará notificaciones de forma automática y enviará correos electrónicos a los usuarios interesados en los invernaderos afectados. Todo este mecanismo se dispara si existe algún sensor con valores en sus lecturas fuera del rango preestablecido.

Las notificaciones dentro del sistema nos muestran información detallada del error o variable fuera de rango con su respectivo invernadero y cuál fue el área o punto de control afectado, como se muestra en la Figura 2.11 Además de esto el sistema presenta una tonalidad de color rojo, a modo de advertencia al usuario. Una vez que todas las notificaciones para determinado bluebox hayan sido revisadas, el sistema regresa a su apariencia normal, acción que sirve como retroalimentación para el usuario de que en dicho bluebox los valores a partir de ese momento se encuentran en lecturas normales.



**Figura 2.11: en a) se muestra las notificaciones automáticas generadas por el sistema, en b) una vista de una notificación en detalle**

Además de las notificaciones dentro del aplicativo web, el sistema cuenta con alertas vía email, como se aprecia en la Figura 2.12. Éstas se producen por cada invernadero al que el usuario se encuentre asignado. Es decir, a diferencia de las notificaciones que se generan por cada bluebox, las alertas vía email son un resumen de los problemas dentro de la última hora en determinado invernadero, el cuál puede contener más de un bluebox.

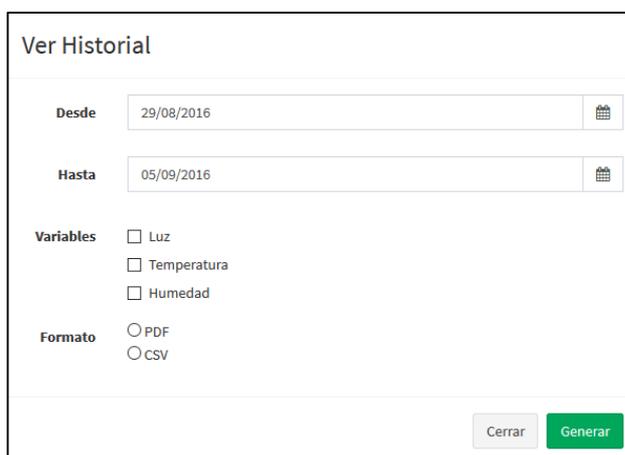


**Figura 2.12: Correo electrónico enviado de forma automática con un resumen de los errores dentro de un invernadero**

### 2.7.5 Generación de reportes

Una de las características de los sistemas de administración para sensores es su capacidad de ofrecer reportes, funcionalidad presente en nuestra implementación. Desde la pantalla principal de la aplicación se puede acceder a un menú que brinda las opciones mostradas en la Figura 2.13, aquí se cuenta con la posibilidad de obtener reportes en dos formatos diferentes, el primero un PDF que tiene como característica ser un documento resumido de los valores máximos y mínimos que presentaron los sensores dentro de los rangos de tiempos seleccionados, como segundo tipo de reporte se tiene el formato CSV el cual, al igual que el PDF, permite elegir el tipo de sensor a mostrar en el reporte así como los rangos de tiempo. El formato CSV presenta la información completa dentro del intervalo de tiempo requerido y no un resumen como lo hace la opción de PDF, adicional, esto da la

facilidad de exportar los datos a una aplicación diferente debido a que se encuentra en un formato ampliamente extendido para compartir registros.



The screenshot shows a web interface titled "Ver Historial". It contains two date input fields: "Desde" with the value "29/08/2016" and "Hasta" with the value "05/09/2016". Below these are three checkboxes under the heading "Variables": "Luz", "Temperatura", and "Humedad", all of which are currently unchecked. Under the heading "Formato", there are two radio buttons: "PDF" and "CSV", both of which are currently unselected. At the bottom right of the form, there are two buttons: a grey "Cerrar" button and a green "Generar" button.

**Figura 2.13: Interfaz para generar reportes, con opciones de rangos de tiempo, tipos de sensores y formato del archivo.**

### 2.7.6 Comunicación con actuadores

Otra de las características a destacar del sistema es la comunicación hacia los actuadores desde la aplicación web, esto se ilustra en la Figura 2.1, las flechas nos indican conexión desde los clientes hacía el servidor de aplicaciones y de ahí hacía el software intermedio de comunicación con el concentrador que a su vez direcciona las instrucciones hacia el bluebox al cual va dirigido el mensaje. Desde la aplicación cliente se tiene una interfaz de configuración para establecer el valor a comunicar al actuador y definir con que sensor está emparejado dicho actuador, ambos valores pueden quedar en blanco en caso de que el actuador sea por ejemplo un interruptor con estados de encendido y apagado y no se necesite emparejarse a ningún sensor, una vez definidos estos parámetros la interfaz nos muestra un botón de dos estados que indica el envío de la señal hacía el bluebox correspondiente en donde se halla conectado un actuador.

## 2.8 Descripción de la base de datos

El software empleado para este componente del sistema es una base de datos relacional MySQL, dado que es OpenSource (código libre) y existe el soporte para realizar una conexión tanto desde Sails, framework usado para el desarrollo del aplicativo web, como desde C++, lenguaje usado para lectura de datos desde el concentrador. En el diseño de la base se tomó en cuenta las tablas que serán accedidas por el software intermedio de captura de datos desde el concentrador y las accedidas por el sistema de administración web.

La importancia de este componente dentro de la solución propuesta es alta, dado que es éste el que alimenta de datos a toda la aplicación de administración web, y a su vez sirve como repositorio final de la información provista por los sensores. Esto automáticamente lo transforma en un punto crítico de esta solución. Tomando en cuenta los aspectos antes mencionados, se plantearon los siguientes lineamientos para el diseño de la estructura de la base de datos:

- El software intermedio para captura de datos desde el concentrador únicamente puede acceder a las tablas de registro de información para los sensores.
- El software de administración web puede acceder a todas las tablas de la base de datos.
- Tomar en cuenta la gran cantidad de información que va a manejar la base de datos debido a lecturas periódicas de los sensores.
- Realizar un buen análisis incluyendo particiones de tablas para evitar cuellos de botella en las consultas masivas de datos desde el sistema de administración.

Finalmente, el esquema relacional se desarrolló haciendo uso de los lineamientos descritos. Se puede apreciar en el enlace al final del párrafo el diseño usado en el presente proyecto (<http://goo.gl/cguscR>).

## CAPÍTULO 3

### 3 RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Concluida la implementación de todos los componentes del proyecto se procedió a realizar la comunicación con el hardware descrito con anterioridad en la Figura 2.1(a)(b), punto de partida del presente proyecto que lo usa como base para alimentar de datos al sistema de administración web. Esta etapa fue clave en el desarrollo del proyecto, dado que durante la implementación se simularon blueboxes conectados al concentrador de datos, esto, para agilizar etapas tempranas del proyecto y evitar el uso físico de los mismos.

#### 3.1 Pruebas con concentrador de datos

Al ejecutar las pruebas con el concentrador de datos, la aplicación desarrollada en C++ se comportó según lo esperado, realizando el análisis de la información proveniente del mismo y almacenando dicha información en una base de datos ubicada en la nube. En la etapa de pruebas se propusieron mejoras a la forma en que el concentrador recibe y transmite los datos, haciendo uso del formato JSON en su comunicación, simplificando el proceso de agregar o eliminar variables en futuras actualizaciones del hardware.

El tiempo de muestreo establecido para la recepción y almacenado de datos fue de treinta segundos, debido a que en sistemas cubiertos de tipo invernadero el cambio en variables como temperatura, humedad o luminosidad nunca se produce de forma abrupta. Otra consideración que se tomó en cuenta fue la capacidad de procesamiento del sistema de base de datos, por este motivo si la medición se realiza en intervalos pequeños de tiempo se tendrá una acumulación desmedida de información. Por ejemplo, si la toma de datos se planifica cada segundo, en apenas un mes de uso del sistema y con solo un sensor se tendría más de 2.6 millones de registros en una sola tabla, lo que provoca un bajo rendimiento en el sistema de base de datos, afectando algunas funcionalidades del sistema.

Por las razones expuestas, y dado que no se afecta la retroalimentación que se brinda a los usuarios del sistema o alguna de sus funciones, se decidió tener una frecuencia de muestreo de treinta segundos para todos los sensores, resolviendo cualquier problema en cuanto a rendimiento de la base de datos a largo plazo.

### **3.2 Pruebas del software intermedio para comunicación con el concentrador**

El componente de software mostrado en la Figura 2.1 es parte crucial en la arquitectura y funcionamiento correcto de todo el sistema, ya que está en contacto con todos los componentes del mismo, por separado. Debido a esto se ejecutaron pruebas con el objetivo de verificar la capacidad de este software de reponerse a situaciones como pérdidas de comunicación, desconexión de redes o hardware e inclusive algún tipo de reinicio forzado del microcomputador debido a fallas eléctricas. Para superar los problemas antes mencionados se implementaron rutinas en shell script que verifican de forma constante si el hardware (concentrador) está conectado físicamente al microcomputador. Además, se asegura que exista una conexión estable tanto con el servidor de base de datos como de aplicaciones, caso contrario, relanza el software para superar estos inconvenientes. En cuanto al reinicio del microcomputador, se cuenta con rutinas que ejecutan el software una vez iniciado el sistema, del mismo modo, verificando que todas las conexiones estén habilitadas de forma correcta.

### **3.3 Pruebas del sistema de administración web**

Una vez realizado el despliegue de la aplicación en el servidor, se probaron varios aspectos como la resiliencia de la aplicación en caso de fallos, la velocidad al generar resúmenes en PDFs o reportes en CSVs de cantidades masivas de datos, la correcta comunicación hacía los clientes en tiempo real y el envío de datos al software intermedio para comunicar información a los actuadores conectados a cada uno de los blueboxes. Luego de probar la aplicación por algunos días y con una cantidad considerable de datos en la base se mantuvo la estabilidad y el correcto funcionamiento de la aplicación de administración web de acuerdo a lo esperado.

### **3.4 Validación de interfaz de usuario**

Para asegurarnos que la interfaz de usuario sea la correcta y no afecte la calidad del producto desarrollado se verificó que todo el flujo del sistema se encuentre en una sola pantalla, accediendo a las diferentes configuraciones mediante el uso de menús emergentes. De esta forma se da al usuario la sensación de estar frente a una aplicación de escritorio, debido a que no necesita recargar la página o moverse a través de enlaces dentro de la misma, además, el uso de nomenclatura conocida como los íconos para notificaciones, alertas, configuraciones, mensajes, agregar o eliminar elementos son muy parecidos al estándar usado por la mayor parte de aplicaciones en la actualidad.

Finalmente se pidió a 4 usuarios que prueben la interfaz sin tener una explicación de para que se usa el sistema ni cómo se usa, 3 usuarios fueron universitarios que han tenido experiencia con sistemas informáticos pero nunca dentro de esta clase de sistemas de monitoreo, el cuarto sujeto fue un ingeniero agrónomo que no ha tenido contacto con esta clase de sistema debido a que su labor se basa en trabajo de campo, todos los usuarios respondieron en una escala de uno al cinco cuán fácil es identificar dentro del sistema las secciones para realizar configuraciones, recepción de mensajes, alertas y visualización de información, esta calificación alcanzó un promedio de 4.25.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

En el presente trabajo se implementó y probó de forma exitosa el software necesario para trabajar junto con el hardware especificado en etapas iniciales del proyecto.

Enfocados en minimizar los costos del sistema desarrollado, se decidió probar el software de comunicación con el concentrador de datos en una Raspberry pi y haciendo uso del lenguaje C++, con el objetivo de que sea compatible incluso con microcomputadores más económicos simplemente compilando el proyecto para dichas arquitecturas.

La actualización de datos en tiempo real desde los invernaderos da al administrador de los mismos la facilidad de conocer de forma remota los diferentes parámetros, obviando muchas veces la medición física de estas condiciones y en intervalos muy amplios de tiempo que hacen difícil llegar a las condiciones óptimas para los cultivos.

El uso del framework Sails.js basado en la plataforma Node.js permitió agilizar el desarrollo de la plataforma de administración web, debido a que este provee comunicación en tiempo real vía web sockets, es independiente de las librerías front-end y permite desarrollar con facilidad la conexión a distintas bases de datos. Sumado a esto, se debe mencionar el amplio soporte y actualizaciones constantes que recibe el framework Sails.js.

La generación de diferentes tipos de reportes es clave en la retroalimentación que obtienen los administradores de los invernaderos. La información se puede exportar en diferentes formatos obteniendo resúmenes o datos crudos de los sensores que se puedan importar en otras herramientas para su análisis.

## **Recomendaciones**

Con el sistema desarrollado en su totalidad, buscar un canal para ponerlo en producción con invernaderos, de modo que se pueda recibir una retroalimentación real basada en las mejoras que pueda ofrecer el sistema al proceso de cultivo en invernaderos. A través de una alianza con el Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Sistemas computacionales (CIDIS) de la ESPOL, se contactó un potencial cliente como lo es la Sociedad Ecuatoriana de Biotecnología C.A (SEBIOCA). SEBIOCA está dispuesto a usar el sistema, el cual les permita tener control de sus invernaderos, ayudándolos en la medición de variables de entorno. El CIDIS ofreció el bluebox, como una solución; y de la mano al hardware. Se ofreció además BlueSensor, el software que les permitiría administrar y verificar condiciones remotamente.

El desarrollo de software para algún hardware específico, siempre que esto sea posible, se debe realizar de forma simulada, debido a que pocas veces se cuenta con las unidades de hardware suficientes para que todos los desarrolladores realicen pruebas durante el proceso de implementación.

En revisiones futuras del proyecto, se deben implementar reglas que controlen de forma automática todos los actuadores dentro del invernadero dependiendo del tipo de cultivo, condiciones internas y externas del ambiente y con el aval de expertos en dicha área.

La información generada por sistemas que cuentan con sensores, en su gran mayoría producen cantidades considerables de información, debido a que son sistemas que verifican el entorno en intervalos pequeños de tiempo para obtener una retroalimentación en tiempo real de lo que ocurre en el ambiente. Por esto, es necesario tener un sistema de base de datos que sea capaz de lidiar con esta cantidad considerable de información o utilizar mecanismos dentro de los sistemas convencionales para mejorar la eficiencia en este tipo de escenarios.

Probar el sistema con configuraciones diferentes de hardware ya que, por su diseño, ofrece la flexibilidad de usar varios tipos de sensores como dispositivos de captura en los invernaderos. Realizando adaptaciones mínimas en el software para captura de datos desde el concentrador, se puede comunicar con gran parte del hardware disponible en la actualidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Locke, «ABC,» ABC, 7 Junio 2016. [En línea]. Available: <http://www.abc.net.au/news/2016-06-08/ag-technology-in-australia/7488824>.
- [2] L. Drotleff, "Greenhouse Grower," 16 Mayo 2016. [Online]. Available: <http://www.greenhousegrower.com/business-management/greenhouse-growers-top-100-growers-talk-technology-automation-sustainability-and-marketing/>.
- [3] M. Schut, J. Rodenburg, L. Klerkx, A. v. Ast and L. Bastiaans, "Systems approaches to innovation in crop protection. A systematic literature review," *Crop Protection*, vol. 56, p. 98–108, 2014.
- [4] W O Baudoin, "Protected cultivation in the Mediterranean region," *Acta horticulturae*, vol. 2, p. 491, 1999.
- [5] K. Morejón, «El Ciudadano,» El Ciudadano, 22 Agosto 2015. [En línea]. Available: <http://www.elciudadano.gob.ec/ecuador-tiene-uno-de-los-invernaderos-mas-modernos-de-america-latina/>.
- [6] Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, «Agricultura gobierno nacional,» Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 23 Diciembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.agricultura.gob.ec/pequenos-productores-de-azuay-cultivan-bajo-invernadero-con-excelentes-resultados/>.
- [7] Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, "Agricultura Gobierno," Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 25 Octubre 2013. [Online]. Available: <http://www.agricultura.gob.ec/magap-impulsa-agricultura-mediante-cultivos-en-invernaderos-en-el-canar/>.
- [8] Farm Credit Canada, "Update on the North American Greenhouse Vegetable Industry," Farm Credit Canada, 2012.
- [9] The Canadian Encyclopedia, "The Canadian Encyclopedia," 23 April 2013. [Online]. Available: <http://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/greenhouse-crops/>.
- [10] Climate Control Systems Inc, "Climate Control," Climate Control Systems Inc, 2014. [Online]. Available: <http://www.climatecontrol.com/>.
- [11] ARGUS, "Automation systems for engineered environments," Argus Controls, 2014. [Online]. Available: <http://www.arguscontrols.com/>.

- [12] G. A. V. P. S. A. D. L. Oziel Lugo Espinosa, "Technological Package for Monitoring Greenhouse Environment," *Terra Latinoamericana*, vol. 32, pp. 72-84, 2014.
- [13] M. G. Lawrence, "The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air," American Meteorological Society, Massachusetts, 2004.
- [14] Astronomy Education at the University of Nebraska-Lincoln, "The Hertzsprung-Russell Diagram," [Online]. Available: [http://astro.unl.edu/naap/hr/hr\\_background3.html](http://astro.unl.edu/naap/hr/hr_background3.html).