

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE  
MONITOREO Y CONTROL DE UN CULTIVO DE  
CHAMPIÑONES EMPLEANDO UN MICROCONTROLADOR**

Tutor Académico: Prof. Servando Álvarez

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Christian Alberto Rangel Torres  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista.

Caracas, 2018.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE  
MONITOREO Y CONTROL DE UN CULTIVO DE  
CHAMPIÑONES EMPLEANDO UN MICROCONTROLADOR**

Tutor Académico: Prof. Servando Álvarez

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Christian Alberto Rangel Torres  
para optar al título de  
Ingeniero Electricista.

Caracas, 2018.

## **CONSTANCIA DE APROBACION**

Caracas , de de 2018

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Christian Alberto Rangel Torres, titulado:

### **“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITOREO Y CONTROL DE UN CULTIVO DE CHAMPIÑONES EMPLEANDO UN MICROCONTROLADOR”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Electrónica, Computación y Control, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

JURADO

JURADO

Servando Álvarez  
Tutor Académico

## **DEDICATORIA**

CUERPO DEL MENSAJE...

## **RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS**

CUERPO DEL MENSAJE...

## **RESUMEN**

**Rangel, T. Christian, A.**

### **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE MONITOREO Y CONTROL DE UN CULTIVO DE CHAMPIÑONES EMPLEANDO UN MICROCONTROLADOR**

**Tutor Académico o Prof. Guía: Servando Álvarez. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Electrónica, Computación y Control. 2018. 100h. + anexos.**

**Palabras Claves:** Microcontrolador, Sensores, Cultivos, Sistema, Champiñones, Datos, Funcionamiento.

**Resumen:** Uno de los retos u objetivos del milenio trazados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) es erradicar el hambre a nivel mundial para el año 2030. Los HSC son frutos con alto nivel proteínico que pueden reemplazar diferentes tipos de carnes los cuales pueden ser usados para ayudar a poblaciones con déficit alimenticio y cooperar al cumplimiento del objetivo de la FAO además pueden ser fuentes de financiamiento para poblaciones rurales. Con la finalidad de generar soluciones para la sociedad y específicamente lograr la realización de siembras de champiñones sanas, eficaces y productivas durante todo el año con el propósito de aportar nuevas soluciones a la igualdad dentro de la condición alimenticia de los pueblos se planteó el diseño de un sistema automatizado de monitoreo y control para un cultivo de champiñones empleando un microcontrolador, de esta forma se estará integrando la electrónica con la agricultura para poder fomentar nuevas investigaciones y desarrollos. Como se trabajó con un cultivo se utilizaron sensores tanto analógicos como digitales para adquirir los datos, módulos para la transmisión de los datos y un microcontrolador para coordinar todo el sistema. El software desarrollado para controlar el sistema se basó en estados los cuales ejecutan tareas específicas para el sistema, siendo importante el control de los tiempos. En conjunto se probó el desarrollo del sistema tanto en áreas abiertas como cerradas y durante tiempos de ejecución bastante largos en los cuales el sistema dio estabilidad y efectividad para asegurar su buen funcionamiento y la comprobación del mismo que permiten una correcta verificación entre software y hardware, con lo cual se conforma el sistema de monitoreo y control para un cultivo de champiñones empleando un microcontrolador.

## ÍNDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACION.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS .....	iv
RESUMEN.....	v
LISTA DE TABLAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE ECUACIONES.....	xiii
ACRÓNIMOS.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	16
1.    CAPITULO I.....	18
1.1.    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2.    JUSTIFICACION.....	20
1.3.    OBJETIVOS.....	22
2.    CAPITULO II .....	23
2.1.    ANTECEDENTES .....	23
2.2.    MARCO TEORICO .....	24
2.2.1.    Sistemas.....	24
2.2.2.    Automático. ....	25
2.2.3.    Sistema Automatizado.....	25
2.2.4.    Control.....	25
2.2.5.    Monitoreo. ....	25
2.2.6.    Sensor. ....	26
2.2.7.    Microcontroladores. ....	26
2.2.8.    Convertidor Analógico-Digital (A/D). ....	27
2.2.9.    Protocolo de comunicación 1wire. ....	28

2.2.10.	Tecnología GPRS. ....	29
2.2.11.	Temperatura Ambiental. ....	31
2.2.12.	Humedad Ambiental. ....	32
2.2.13.	Temperatura del suelo.....	35
2.2.14.	Humedad del suelo.....	35
2.2.15.	Cultivos.....	37
2.2.16.	Hongos Silvestres Comestibles (HSC). ....	39
2.2.17.	Alimentación de los HSC. ....	40
2.2.18.	Hongos Saprófitos.....	41
2.2.19.	Hongos Simbióticos:.....	42
2.2.20.	Tipos de hongos comestibles y cultivables.....	43
2.2.21.	Agaricus Bisporus (Champiñón de París o Portobello). ....	44
2.2.22.	Modo de reproducción de los Agaricus Bisporus.....	46
2.2.23.	Producción del Agaricus Bisporus.....	47
2.2.24.	Control del ambiente en los cuartos de cultivo del champiñón. ....	51
2.2.25.	Temperatura Ambiental para la producción de los Agaricus Bisporus. 53	
2.2.26.	Humedad Ambiental para la producción de los Agaricus Bisporus. ..	54
2.2.27.	Humedad del suelo para los Agaricus Bisporus. ....	55
2.2.28.	Temperatura del Suelo para los Agaricus Bisporus.....	55
2.2.29.	Poder de evaporación en los Agaricus Bisporus.....	56
2.2.30.	Intercambio de aire para el cultivo de Champiñón. ....	58
2.2.31.	Sistemas de cultivo. ....	59
3.	CAPITULO III.....	63
3.1.	DEFINICION DEL HARDWARE .....	63
3.2.	DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE.....	67
3.3.	DEFINICION DEL SOFTWARE.....	80



3.4. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE .....	84
4. CAPITULO IV .....	90
4.1. PRUEBAS Y RESULTADOS .....	90
CONCLUSIONES .....	105
RECOMENDACIONES .....	107
BIBLIOGRAFIA .....	108
ANEXOS .....	111

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas y Desventajas del uso de la red GPRS.....	30
Tabla 2: Número de especies de hongos silvestres comestibles y medicinales. ...	43
Tabla 3: Resumen de las condiciones ambientales para un cultivo de champiñones según su periodo de cultivación. ....	58
Tabla 4: Organización del envío de datos del DHT11.....	69
Tabla 5: Especificaciones de la tarjeta de desarrollo Núcleo-64 F401RE.....	78
Tabla 6: Comandos de comunicación con el cultivo a través de mensajería de texto.....	95
Tabla 7: Controles y condiciones para activar actuadores y/o válvulas a través del sistema.....	96

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de un microcontrolador. ....	27
Figura 2: Esquema básico de los conversores analógicos-digitales. ....	28
Figura 3: Cultivo Hidropónico. ....	38
Figura 4: Cultivo Organopónico. ....	39
Figura 5: Cultivo no tradicional de champiñón. ....	39
Figura 6: Hongo Saprófito de Cataluña, España. ....	41
Figura 7: Relación Simbiótica entre los Hongos y los árboles. ....	42
Figura 8: Partes de un hongo del género <i>Agaricus bisporus</i> . ....	46
Figura 9: Forma del compost antes y después de apilar y compactar. ....	49
Figura 10: Llenado de las naves de cultivo en EEUU. ....	49
Figura 11: Llenado de las naves de cultivo en China. ....	49
Figura 12: Semilla o inóculo del champiñón de París. ....	50
Figura 13: Línea de cosecha de champiñones en España. ....	51
Figura 14: Problema del punto de rocío en champiñones. ....	55
Figura 15: Problemas de escamas en la superficie del champiñón. ....	57
Figura 16: Gráfica para obtener valores del poder de evaporación. ....	57
Figura 17: Sistema de producción en cordones de compost. ....	61
Figura 18: Producción de champiñones en estantes. ....	61
Figura 19: Producción de champiñones en sacos. ....	61
Figura 20: Producción de champiñones en bandejas. Sistema Holandés. ....	62
Figura 21: Esquema básico del sistema automatizado implementado. ....	66
Figura 22: Sensor digital de temperatura ambiental y humedad relativa del ambiente DHT11. ....	69
Figura 23: Sensor digital de temperatura DS18B20. ....	71
Figura 24: Sensor digital de temperatura DS18B20 y cubierta. ....	71
Figura 25: Sensor Higrómetro implementado para medir la humedad dentro del sustrato del compost. ....	73
Figura 26: LDR Fotoresistencia. ....	74
Figura 27: Módulo SIM800L GSM/GPRS de la empresa SimCom. ....	75
Figura 28: Display LCD de 16x2 para la interfaz de entrada/salida del sistema. .	76

Figura 29: Microcontrolador ARM en la tarjeta de desarrollo Núcleo F401RE de la empresa STMicroelectronics.....	78
Figura 30: Bloques de control y monitoreo tanto en campo como remoto y bloque de emergencias y/o alertas. ....	84
Figura 31: Estructura general de programación. ....	85
Figura 32: Estructura de la programación del bloque de monitoreo remoto.....	86
Figura 33: Estructura de la programación del bloque de monitoreo en campo. ...	87
Figura 34: Logotipo de las empresas que desarrollaron los software y el hardware a utilizar en este trabajo.....	89
Figura 35: Grafico que representa los datos tomados por el sistema en campo cerrado para la humedad relativa del ambiente y la humedad del suelo para el 27 de Enero. ....	91
Figura 36: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo cerrado de temperatura ambiental y del suelo para el 27 de Enero.....	91
Figura 37: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo cerrado de temperatura ambiental y de suelo. ....	93
Figura 38: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo cerrado de humedad ambiental y de suelo para el día 28 de Enero. ....	93
Figura 39: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo cerrado de temperatura ambiental y de suelo con oportunidad de control On-Off. ....	97
Figura 40: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo cerrado de humedad ambiental y de suelo con oportunidad de control On-Off. ..	97
Figura 41: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo abierto de temperatura ambiental y de suelo sin oportunidad de control On-Off. ...	99
Figura 42: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo abierto de humedad ambiental y de suelo sin oportunidad de control On-Off. ..	100
Figura 43: Grafico que representa los valores de la Humedad relativa del ambiente y del suelo para el día 09 de marzo del 2018. ....	101
Figura 44: Grafico que representa los valores de la Temperatura ambiental y del suelo para el día 09 de marzo del 2018. ....	101

Figura 45: Grafico que expresa el valor de la Humedad relativa del ambiente y del suelo para el día 10 de Marzo del 2018 en campo cerrado sin oportunidad de control. ....	102
Figura 46: Grafico que expresa el valor de la temperatura del ambiente y del suelo para el día 10 de Marzo del 2018 en campo cerrado sin oportunidad de control. ....	103

## **LISTA DE ECUACIONES**

Ecuación 1: Cantidad de agua en forma vapor que puede tener un recinto. ....	32
Ecuación 2: Calculo de la humedad relativa del ambiente en porcentajes. ....	33
Ecuación 3: Ecuación para los gases ideales.....	33
Ecuación 4: Humedad Relativa porcentual con respecto a las presiones.....	34

## ACRÓNIMOS

- **HSC:** Hongos Silvestres Comestibles.
- **IOT:** Internet Of Things (Internet de las cosas).
- **GPRS:** General Packet Radio Service (Paquete General de Radio Servicio).
- **GSM:** Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicaciones Moviles).
- **MCU:** Microcontroller Unit (Unidad de Microcontrolador).
- **HTTP:** Hypertext Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Hipertexto).
- **ONU:** Organización de las Naciones Unidas.
- **FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- **EEUU:** Estados Unidos de América.
- **PFNM:** Productos Forestales No Madereros.
- **CPU:** Central Processing Unit (Unidad Central de Procesamiento).
- **ROM:** Read Only Memory (Memoria de Solo Lectura).
- **RAM:** Random Acces Memory (Memoria de Acceso Aleatorio).
- **SPI:** Serial Peripheral Interface (Interfaz Periferica Serial).
- **UART:** Universal Asynchronous Receiver Transmitter (Transmisor-Recepotor Asíncrono Universal).
- **I<sup>2</sup>C:** Inter-Integrated Circuit (Circuito Inter-Integrado).
- **SCI:** Serial Communications Interfaces (Interfaces de Comunicaciones en Serie).
- **TCP:** Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de Transmision).
- **IP:** Internet Protocol (Protocolo de Internet).
- **GSN:** Gateway Support Node (Nodo de Soporte de Puerta de Enlace).

- **CLNP:** Connection Less Network Protocol (Conexión Menos Protocolo de Red).
- **RTI:** Road Traffic Informatics (Informatica de Trafico Vial).
- **HA:** Humedad Ambiental.
- $M_{vap}$ : Masa del vapor de agua.
- $V_{aire}$ : Volumen del aire.
- $M_{vapmax}$ : Máxima masa de vapor.
- **EMC:** Ectomicorriza.
- **LCD:** Liquid Crystal Display (Pantalla de Cristal Líquido).
- **RISC:** Reduced Instruction Set Computing (Reduccion del Conjunto de Instrucciones de Computacion).
- **ROHS:** Restriction of Hazardous Substances (Restriccion de ciertas sustancias peligrosas).
- **PCB:** Printed Circuit Board (Placa de Circuito Impreso).



## INTRODUCCIÓN

La alimentación es parte fundamental y vital para los seres humanos. Ésta nos llena de energía para realizar distintas tareas durante el día además tiene un componente que llena de placer en muchas ocasiones al consumidor. Uno de los retos u objetivos del milenio trazados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) era reducir a la mitad la pobreza y la inseguridad alimentaria a nivel mundial para el año 2015 y erradicar el hambre completamente para el año 2030.

Los Hongos Silvestres Comestibles (HSC) tienen múltiples variedades y en su gran mayoría pueden ser ingeridos por los seres humanos. Éstos contienen un fino sabor. Un kilogramo de este rubro puede contener iguales cantidades de sales y minerales que su equivalente en carne u otra hortaliza. Por lo tanto, alrededor del mundo, muchos países exportan este tipo de alimento como lo son EEUU, Japón, Chile, entre otros. La zona central de la región africana se caracteriza por demandar en grandes cantidades los HSC, ya que durante el año existe una época en la cual el clima afecta enormemente los cultivos de la región ocasionando un desabastecimiento de alimentos que se puede combatir con la distribución de HSC.

La producción de los HSC puede ser innumerable y sostenible siempre y cuando se mantengan sus condiciones ambientales óptimas para su desarrollo ya que es un cultivo exigente y delicado, por lo tanto, tan cotizado. En el presente trabajo se plantea la realización de cultivos inteligentes, que no es más que la interrelación del mundo electrónico con la agricultura dado que el aspecto tecnológico actualmente está muy desarrollado y con lo cual se pretende entrar en el mercado mundial de los HSC y competir con los países exportadores como lo son: EEUU, Zimbabwe, Turquía, Polonia, Bhutan, República Democrática de Corea, entre otros, o tratar de sustentar al menos el abastecimiento de este tipo de alimento dentro de la región.

Aplicando conceptos teóricos y prácticos de electrónica y computación, se diseñó e implementó un sistema automatizado de control y monitoreo de dichos cultivos con una maqueta ilustrativa a nivel escala, para así en buena parte dejar de lado el factor humano a la hora del mantenimiento de las condiciones ambientales del cultivo y poder obtener un alimento correcto, de buena calidad, en menor tiempo y disminuyendo los costos. Para lograr el diseño del sistema se cumplieron una serie de pasos que serán detallados en el presente trabajo. Éstos pasos serían el de la investigación previa, selección de variables a monitorear y componentes a usar para dicho propósito, conexión del sistema al Internet de las Cosas (IOT), vigilancia de la operatividad del sistema y otros aspectos que serán desarrollados en capítulos posteriores.

Este sistema vigilará el cultivo midiendo constantemente las variables de gran importancia dentro del mismo y así poder realizar un control de ciertas variables que estén fuera de rangos limitados. Todo el sistema estará conectado a un servidor local a través de la red inalámbrica GPRS/GSM 2G en el cual toda la información necesaria que se genere a partir del cultivo llegará a dicho servidor, en donde podrá ser visualizada junto con otros datos relevantes del sistema.

De acuerdo a lo señalado se presenta la investigación la cual se encuentra estructurada en seis (6) capítulos, distribuidos de la siguiente forma: Capítulo I. Planteamiento del problema, Objetivo General, Objetivos Específicos, Justificación de la Investigación, Alcances y Limitaciones. Capítulo II. Marco Teórico: Antecedentes de la Investigación, Bases Teóricas. Capítulo III. Desarrollo del hardware y software Capítulo IV. Comprobaciones y Resultados. Conclusiones y Recomendaciones. Por último, se señalan las referencias bibliográficas y los anexos.

## **1. CAPITULO I**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La libertad de la alimentación o el poder de alimentación a nivel mundial está totalmente desbalanceada, existen poblaciones las cuales en ocasiones no pueden acceder a un plato de alimento al día mientras hay otras en las cuales acceden hasta en cinco (5) ocasiones a los alimentos diariamente. Esta desproporcionalidad se suscita con mayor fuerza en los países más pobres en los cuales se destaca el poco abastecimiento de alimentos o una mínima capacidad por parte de las poblaciones para poder acceder a una alimentación completa.

Dado esta problemática las Organizaciones a nivel mundial se han planteado la posibilidad de tratar de erradicar el hambre con el plan "Hambre Cero" en donde se sugiere un tiempo limitado para lograr erradicar el hambre a nivel mundial. Países en la zona del África central son los más afectados por este desbalance alimenticio y por ello han tenido que solventar sus problemáticas encontrando soluciones prácticas y una de ellas es utilizar los Hongos Silvestres Comestibles como su plato principal en su dieta diaria, ya que este rubro contiene altos niveles proteínicos importantes para el ser humano que son capaces de ser suplemento alimenticio de hortalizas, verduras y/o frutas más costosas y complicadas de producir y hasta de carnes.

El Hongo Silvestre Comestible es sumamente versátil dentro de la cocina además de un gran acompañante, en países como EEUU o Japón se consume en grandes cantidades por su fineza y por los platillos que con éste se pueden realizar. Pero esa fineza deriva de un proceso de cultivación bastante complejo y delicado, en el cual si no se posee un control óptimo de las condiciones puede que resulte en muchas oportunidades en pérdidas de cultivo, tiempo e inversiones no aprovechadas. Esto deja al cultivo de HSC en pocas manos lo cual genera que no exista un amplio abastecimiento de todo el mercado que a su vez desencadena una

elevación en los precios de este rubro. Además, es peligroso no llevar un control ni monitoreo correcto del cultivo de este hongo ya que puede generar enfermedades severas para el consumidor.

Como se explicó anteriormente por el alto beneficio económico que pudiera generar la exportación de este producto a países altamente consumidores del mismo. Por cumplir y apoyar a las Organizaciones Mundiales a tratar de erradicar el hambre fomentando el cultivo de alimentos de una forma organizada, precisa, confiable y rápida, se plantea la creación de un sistema automatizado de monitoreo y control de un cultivo de champiñones<sup>1</sup> empleando un microcontrolador ARM con una gran cantidad de sensores que medirán variables de suma importancia para el cultivo, como lo son la humedad relativa, la temperatura y la iluminación.

En este sentido el microcontrolador ARM, funcionará como maestro y será quien analice los datos que llegan a través de los sensores, para ejecutar la acción que corresponda según el análisis de los datos recibidos. Todo esto conectado a través de una red inalámbrica a un servidor local para poder ver los datos que arroja el cultivo a través de internet, así como poder hacer control del sistema y de esa forma realizar un cultivo más sencillo, preciso y confiable logrando solventar la problemática antes expuesta. Esta situación, hace que el investigador del siguiente estudio plantee las siguientes interrogantes, a fin de conocer el sistema automatizado para el cultivo de champiñones, entre las cuales están:

¿Cómo diseñar un sistema automatizado de control y monitoreo para un cultivo de champiñones? ¿Cuáles serán los componentes que integrarán el sistema automatizado de monitoreo y control para un cultivo de champiñones? ¿Cómo establecer el proceso de monitoreo y control de la cultivación de los champiñones?

---

<sup>1</sup> Los champiñones son un tipo de HSC en su especie más cultivada es el *Agaricus bisporus* perteneciente a la familia Agaricaceae

## **1.2. JUSTIFICACION**

Antiguamente la población mundial se encontraba abastecida completamente de alimentos ya que existían muchos espacios en los cuales se podía sembrar y cosechar muchas verduras, frutas, legumbres y criar animales para consumo humano. Actualmente eso ha cambiado de forma drástica, con el aumento de la población se han reducido los espacios para la agricultura y la agropecuaria. Aunado a eso, el esfuerzo físico que demanda el trabajo de campo versus la remuneración que es muy poca, ha hecho que las personas pierdan el interés por la tierra.

Muchas industrias han dejado de invertir en el campo dado que existe muy poco personal interesado en trabajar en ello, los costos se elevan cada vez más y la probabilidad de perder la siembra por enfermedades o mal manejo son muy altas. Con la realización de esta investigación, se plantea el diseño de un sistema automatizado de monitoreo y control que permita la constante evaluación y cuidado del tipo de siembra en diferentes tipos de ambientes, con la finalidad de que se pueda sembrar varios tipo de rubro, en distintos tipos de entorno, y en diferentes épocas del año, maximizando la calidad y disminuyendo los costos, esto será realizado mediante un microcontrolador de 32 bits ARM Cortex-M4 diseñado y fabricado por la empresa británica dedicada a la electrónica de consumo STMicroelectronics, el cual es uno de los microcontroladores más poderosos y económicos en el mercado.

Este recibirá los datos a través de los sensores en campo y analizará dicha data para luego tomar decisiones y ejecutar las acciones pertinentes a cada caso. Además, se agrega un módulo GSM/GPRS inalámbrico que mantendrá conectada la siembra con su responsable inmediato para así lograr una revisión efectiva, rápida e innovadora.

También, el presente estudio abre caminos a nuevas investigaciones en el ámbito metodológico, por lo que esta investigación tiene importancia, debido a que los resultados obtenidos pueden servir para revisar, desarrollar o apoyar teorías, generar hipótesis en estudios posteriores y como antecedente en otras

investigaciones relacionadas con la temática, con la intención de generar el interés y la inquietud en los profesionales en el área de control de los Ingenieros Eléctricos.

Así mismo con este estudio se pretende dar una visión global del problema que facilite corresponder sus alcances y posibles soluciones a fin de conseguir información válida y de alta confiabilidad que sirva de soporte para dar paso a crear conclusiones y recomendaciones consiguiendo de esta forma, puntualizar las decisiones que han de ponerse en práctica para abordar el problema y con esto se pueda implementar el sistema en cualquier lugar donde se encuentre sin necesidad de una excesiva cantidad de cables y comunicándose de forma remota.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **Objetivo General**

Diseñar un sistema de automatización y monitoreo de un cultivo de champiñones.

#### **Objetivos Específicos**

- Investigar la forma de cultivación de los champiñones y de todas las variables implicadas en el proceso.
- Seleccionar las variables a monitorear y controlar dentro del proceso.
- Determinar todos los componentes que integraran el sistema.
- Establecer el proceso de monitoreo y control de la cultivación de los champiñones.
- Interconectar el sistema automatizado con un servicio en la nube y/o servidor local.
- Realizar pruebas para validar el funcionamiento del sistema de forma precisa y correcta, con una maqueta ilustrativa a nivel escala.

## **2. CAPITULO II**

### **2.1. ANTECEDENTES**

Desde eras prehistóricas el hombre ha tenido que aprender a cultivar, cosechar y cazar sus propios alimentos, para así poder tener energía para realizar sus actividades. Los hongos en tiempos modernos se han vuelto muy atractivos para su cultivo y cosecha debido al alto grado vitamínico que este posee y por ser un lujo en muchos países europeos es también un factor de ganancia dentro de los negocios. Muchos trabajos se han realizado desde los años 50 hasta la actualidad sobre los hongos silvestres comestibles y sobre los champiñones.

En el año 2005 la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) publicó un trabajo realizado por Eric Boa el cual trataba sobre los HSC y se tituló “Los hongos silvestres comestibles Perspectiva global de su uso e importancia para la población”. Este trabajo se basaba en los usos tradicionales y contemporáneos que les daban los pueblos a los hongos tanto como alimento, como medicina y principalmente fomentaba la producción y desarrollo de Productos Forestales No Madereros (PFNM) con la finalidad de poder contribuir con uno de los objetivos de desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas que es: reducir a la mitad la pobreza y la inseguridad alimentaria a nivel mundial para el año 2015 y erradicar completamente el hambre para el año 2030.

Esta investigación ha sido de gran interés para el desarrollo del presente trabajo de grado, debido a que guardan relación ya que se está elaborando en base a los HSC específicamente en el champiñón. En el escrito realizado por Eric Boa se pretendía documentar y analizar el papel de los HSC en la seguridad alimentaria y por ello se recopiló toda la información dispersa que se encontraba sobre los HSC concentrándola en un solo trabajo, por lo tanto, sirvió de documentación teórica y de entendimiento para el presente trabajo de grado, despertando así aún más el interés por este tipo de cultivo en el autor.



En la Universidad de la Rioja, España, en el año 2014 un estudiante llamado Iván López Fernández realizó su proyecto de fin de carrera el cual se titulaba así “Estudio de climatización en naves de cultivo de champiñón”. Este trabajo tenía como finalidad proyectar una instalación para la climatización de naves de cultivo de champiñones con las condiciones medioambientales correctas, tanto en invierno como en verano. Aquí, se detallaron todos los conceptos pertinentes para la cultivación del champiñón, detalles técnicos para las naves de cultivo empleadas específicamente en el del champiñón.

El trabajo de López Fernández pretendía acondicionar una nave de cultivo ya hecha, para la cultivación de los champiñones en la zona centro de España y que pudiera resultar eficiente para cualquier época del año. En dicho trabajo se emplearon conceptos y técnicas similares a las que se sustentan más adelante en este trabajo, estando así ampliamente relacionados ambos desarrollos con el mismo fin que es el de poder cultivar champiñones de calidad en naves de cultivo automatizadas.

“Automatización de un cultivo hidropónico para el control de variables” fue otro trabajo realizado con la finalidad de automatizar una siembra y así lograr mejores resultados a costos menores con la aplicación de conceptos de Ingeniería Electrónica. El escrito fue elaborado por Nelson Humberto Zambrano Cortes Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica y por Mery Catherine Behrentz Pfalz quien es Pedagoga para el desarrollo del aprendizaje autónomo y Master of Business Administration, ambos de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería en la UNAD CCAV Zipaquirá, Colombia.

## **2.2. MARCO TEORICO**

### **2.2.1. Sistemas.**

Es un conjunto de elementos que relacionadas entre sí de una forma ordenada pueden contribuir a un determinado propósito. En el ámbito computacional se refiere a un programa o conjuntos de programas que tienen la

capacidad de dar respuestas semejantes a las que daría un experto en la materia pertinente. En este sentido en el área electrónica un sistema es una gran cantidad de dispositivos interconectados entre sí de forma ordenada con el fin de dar soluciones a diferentes problemas o la observación de los mismos.

#### 2.2.2. Automático.

Proceso en el cual una maquinaria o dispositivo puede trabajar de forma independiente de la acción humana. El hecho de automatizar en las industrias se ha convertido en una ciencia la cual tiene como propósito mejorar la manufactura, reducir los costos y sustituir en ciertos procesos al operador humano.

#### 2.2.3. Sistema Automatizado.

Es aquel que trabaja de forma ordena, interconectada entre si con un propósito determinado y que además puede trabajar de forma independiente a la intervención humana, emitiendo señales de alerta, informando sobre ciertos procesos y solventando diferentes problemas. En sí, un sistema automatizado es capaz de realizar diferentes tareas, en diferentes momentos, dar respuestas similares a las de un experto.

#### 2.2.4. Control.

Comprobación, inspección, fiscalización o intervención de un sistema, proceso o tareas a ejecutar para así tener una mayor seguridad del resultado a obtener y aumentar la calidad. Este puede realizarse a distancia a través de comunicación bien sea por conexión física o inalámbrica.

#### 2.2.5. Monitoreo.

Supervisión del estado de un proceso, sistema o situación, generalmente a través de monitores, pantallas u otros afines. Este también puede realizarse de forma remota.

#### 2.2.6. Sensor.

Dispositivo que detecta una determinada acción externa de diferente índole, como puede ser temperatura, presión, humedad, velocidad, etc; la cual transmite de forma adecuada con cierto grado de seguridad.

#### 2.2.7. Microcontroladores.

Son dispositivos integrados digitalmente los cuales presentan una alta capacidad de cómputo y que incorporan la mayor parte de los elementos que configuran un controlador. Está compuesto por una unidad central de proceso (CPU), memorias (ROM y RAM) y líneas de entrada y salida denominadas periféricos. Entre los periféricos usualmente encontrados en estos dispositivos se tiene:

- a) Unidad Central de Proceso (CPU).
- b) Unidad Aritmética Lógica (ALU).
- c) Puertos paralelos y seriales.
- d) Buses de comunicación (SPI, UART,  $I^2C$ ).
- e) Convertidores Analógicos-Digitales.
- f) Osciladores y Temporizadores.

Estos dispositivos son capaces de trabajar en frecuencias elevadas las cuales permiten que sus ejecuciones sean con tiempos muy cortos lo cual hace ver que el proceso llevado por el microcontrolador se ejecuta en paralelo, es decir, que realiza una gran cantidad de tareas todas en paralelo, sin embargo, esto no es así el microcontrolador es una maquina secuencial y por lo tanto realiza acciones una detrás de otra. En la siguiente Figura se presenta la estructura básica de un microcontrolador.

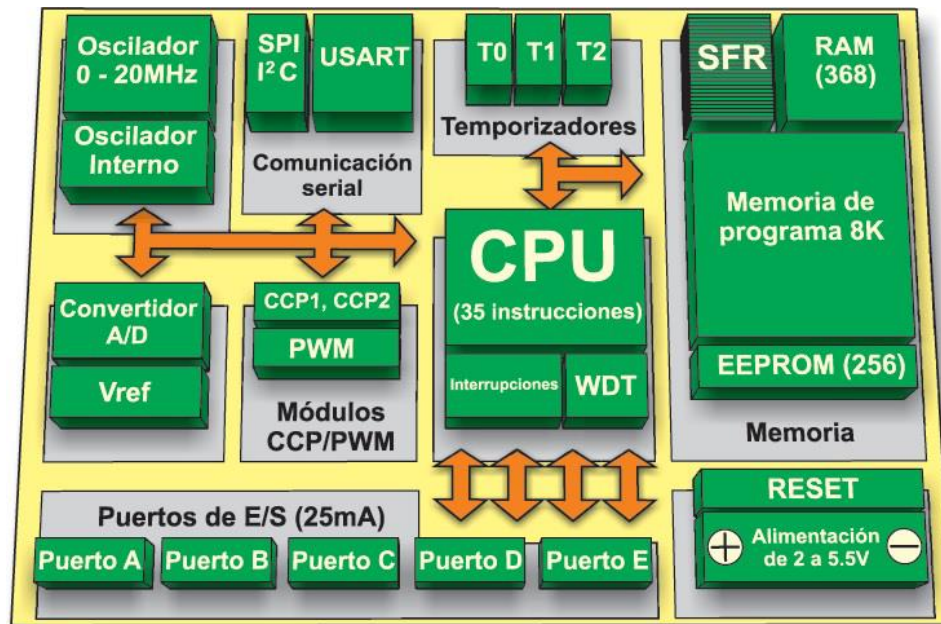


Figura 1: Estructura de un microcontrolador.

El microcontrolador además cuenta con diferentes módulos de comunicación que hacen que el mismo pueda transferir data y comunicarse con diversos dispositivos, presentando así interoperabilidad. Algunos de los módulos de comunicación mayormente implementados en un microcontrolador son:

- a) UART (Universal Asynchronous Receive Transmitter).
- b) SPI (Serial Peripheral Interface).
- c) SCI (Serial Communications Interfaces).
- d)  $I^2C$  (Integrate Circuit).

#### 2.2.8. Convertidor Analógico-Digital (A/D).

Una de las dificultades a la hora de la integración de los microcontroladores con el mundo físico es que en este se presentan señales analógicas, es decir meramente continuas, mientras que, en el mundo de los microcontroladores se trabaja con señales digitales o discretas. Por lo tanto, los convertidores analógico-digital tienen como misión poder interconectar el mundo físico con el digital de una forma óptima, para así facilitar el procesamiento y,

adicionalmente, aumentar la inmunidad al ruido y otras interferencias de las cuales estas son muy sensibles. Todas las conversiones son similares y siguen el mismo esquema presentado en la Figura 2.

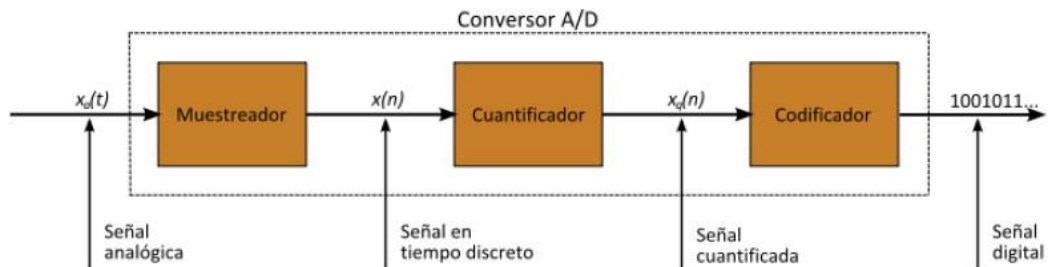


Figura 2: Esquema básico de los conversores analógicos-digitales.

#### 2.2.9. Protocolo de comunicación 1wire.

El bus one wire es un protocolo de comunicación de un solo hilo de cable por el cual se alimenta y se transmite la información. Este sistema es usado por los dispositivos de comunicación de baja velocidad y de bajo consumo. Este bus opera en un ambiente open-colector (open-drain), por lo tanto, es necesaria la utilización de una resistencia pull-up. Este bus opera entre voltajes de 2.0V a 5.5V. La comunicación es asincrónica el cual trabaja con un esquema maestro-esclavo y la comunicación es half-duplex. En el bus 1wire solamente se permite un maestro y se puede transmitir cada 60 micro segundos un bit de datos. Existen 2 modos de operación, el de velocidad estándar que presenta una tasa de 16,3kbit/s y el de sobre manejo de velocidad que es 10 veces mayor que la estándar.

Una de las ventajas más interesantes de este protocolo es que se pueden conectar una gran cantidad de esclavos a un mismo hilo de cable, que permite la alimentación de forma parásita lo cual hace que se empleen menos cantidades de cables a la hora de la interconexión de un maestro con múltiples sensores, reduciendo así los costos de implementación y facilitando el mantenimiento del mismo. Sin embargo, este protocolo no se puede emplear en casos donde las distancias sean considerablemente elevadas, alrededor de cientos de kilómetros,

por lo tanto, es usado para distancias de hasta 20 km. La transferencia de datos solo se puede dar entre maestro y esclavo, nunca entre esclavos y además no es requerido un reloj de sincronismo, cada esclavo es sincronizado por un oscilador interno que se sincroniza con el flanco de bajada del bus.

Cuando se emplea la comunicación one wire el maestro debe iniciar con un bit de transmisión el cual se logra colocando en un nivel lógico bajo en todo el bus con la finalidad de sincronizar los tiempos lógicos de todas las unidades. Hay 5 señales básicas para poder comunicarse utilizando el protocolo de comunicación 1wire, además, este estándar de comunicación se basa en un código ROM que tiene integrado desde su fabricación cada uno de los sensores de este tipo, por lo tanto, existe una forma de distribuir los bits de estos códigos ROM para cada uno de los dispositivos sensores y unos comandos a ejecutar por parte del maestro para que el mismo pueda sincronizarse con los sensores y transmitir la data, lo anteriormente expuesto puede observarse en Anexo (1), Anexo (2) y Anexo (3). Si desea saber más sobre el estándar de comunicación 1wire diríjase a la referencia 5.

#### 2.2.10. Tecnología GPRS.

Con la evolución a nivel mundial del mundo informático, avanzaron también las redes y las tecnologías móviles en las cuales se necesitaban una mayor transferencia de datos debido a que el mundo se estaba interconectando. La red GSM (Global System for Mobile Communications) presentaba una desventaja a la hora del intercambio de datos ya que las velocidades de transferencia eran muy bajas oscilaban los 9,6kbps y además el cobro se realizaba por tiempo de conexión y no por paquetes de datos. Esto dio pie a que se avanzara en una tecnología que remediara los males de la red GSM. De aquí que se obtenga la red GPRS (General Packet Radio Service) la cual es una tecnología que llegó en su momento para fortalecer la ya existente red GSM. Esta introdujo una red de conmutación de paquetes que trabaja de forma paralela a la red de conmutación de circuitos del GSM.

La red GPRS reutiliza parte de las infraestructuras actuales de la red GSM y el acceso de las redes de paquetes se lleva al nivel del usuario del móvil a través de protocolos como TCP/IP, X.25 y CLNP (Connection Less Network Protocol). GPRS permite la transmisión de paquetes en modalidad link by link, esto se refiere a que los paquetes de información se encaminan en fases separadas a través de los diversos nodos de soporte del servicio, denominados GSN (Gateway Support Node).

El servicio GPRS está orientado generalmente a aplicaciones con las siguientes características:

- a) Transmisión poco frecuente de pequeñas o grandes cantidades de datos.
- b) Transmisión intermitente de tráfico de datos bursty o a rafagas.
- c) RTI (Road Traffic Informatics).
- d) Telemetría.
- e) Telealarma.
- f) Control de tráfico ferroviario.

A continuación, se presenta la siguiente tabla con las ventajas y desventajas de la red GPRS.

Tabla 1: Ventajas y Desventajas del uso de la red GPRS.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Velocidad de transferencia de 171.2 kbps.	Pocas veces se alcanzan las velocidades máximas.
Pago por cantidad de información recibida.	Canal que este transmitiendo datos no puede recibir llamadas telefónicas.
Tiempo de establecimiento de conexión inferior a un segundo.	A la hora del envío de paquetes se pueden dañar o perderse ya que se emplean en caminos separados.

Fuente: Rangel (2018).

#### 2.2.11. Temperatura Ambiental.

Es aquella temperatura en la cual se encuentra el aire en el ambiente, la cual puede fluctuar entre frío y caliente. Por lo general, se relaciona en los individuos con la sensación térmica y tendrá que ver con la sensación de calor y frío. Temperatura a la cual se encuentra agradable un espacio para los seres humanos. Esta variable es fundamental para los cultivos ya que se presenta como un dispersor natural de las especies vegetales.

El desarrollo y crecimiento de las plantas, como en todo organismo vivo, bajo condiciones adecuadas está sujeto a la temperatura del entorno en el cual se desarrolla. Esta variable se puede presentar en 3 niveles:

- a) Temperatura mínima: Bajo la cual el crecimiento del cultivo se detiene.
- b) Temperatura optima: En la cual el crecimiento del cultivo es más rápido, sano y fuerte.
- c) Temperatura máxima: Sobre la cual el crecimiento se detiene o sufre deformaciones.

Sin embargo, estas temperaturas no son iguales para todos los tipos de cultivos, por ende, es que se pueden separar en agrupaciones para así poder realizar una clasificación térmica de las plantas u hortalizas. Esta clasificación es: grupos de hortalizas de estación cálida (verano) y grupos de hortalizas de estación fría (invierno).

Las hortalizas de estación cálida se caracterizan por presentar requerimientos de temperaturas elevadas y estas son originarias de zonas tropicales o subtropicales las cuales pueden presentar daño por susceptibilidad por enfriamiento o por heladas. En cambio, las hortalizas de estación fría se caracterizan por tener un requerimiento de temperaturas más bajas que las de estación cálida. La mayoría de estas especies son originarias de zonas templadas o mediterráneas y no presentan susceptibilidad por daño por enfriamiento o por heladas. Los champiñones podrían entrar como hortalizas de estación fría y húmeda, sin embargo, estos no son hortalizas más adelante se detallará la causa de esta afirmación.



### 2.2.12. Humedad Ambiental.

El aire es incoloro e inodoro, este es liviano y por lo general es transparente a los ojos de los seres humanos, sin embargo, este gas o compuesto trae consigo una gran cantidad de moléculas y materiales que no se pueden percibir fácilmente. El aire como se ve comúnmente parece ser solo aire y nada más, pero en su composición está acompañado de otras sustancias y gases, una de ellas es el vapor de agua el cual flota en el ambiente y es muy liviano. Se encuentra en forma de gotas muy diminutas y convive con el aire en el mismo ambiente, a estas gotas de agua diminutas se le denomina humedad.

La humedad del aire es un parámetro realmente importante en la vida cotidiana del ser humano ya que es factor fundamental para muchos procesos biológicos, industriales y hasta para la vivencia del ser humano. Una humedad elevada es molesta al igual que poca humedad. En las bibliotecas o los museos de artes es de vital importancia controlar la humedad dentro de unos rangos ya que poca o mucha humedad puede perjudicar los libros, papeles y lienzos. La humedad se puede clasificar en 2 formas que no son más que formas de expresión distintas, las cuales son:

- a) Es la cantidad de agua en forma de vapor que puede tener cada metro cubico de un recinto o un área.

$$HA = \frac{M_{vap}}{V_{aire}}$$

Ecuación 1: Cantidad de agua en forma vapor que puede tener un recinto.

Siendo  $M_{vap}$  la masa de vapor de agua en existe en el aire y su unidad es el kg, mientras que  $V_{aire}$  es el volumen del aire del recinto o área y su unidad es el  $m^3$ . Por ser este tipo de expresión de humedad de un lugar poco descriptiva para el ser humano se empezó a crear otro concepto u otra forma de expresión de la humedad, la cual es la Humedad Relativa del Ambiente.

- b) Humedad Relativa del Ambiente: Es la cantidad de vapor que tiene el aire comparada con la máxima cantidad de vapor que podría llegar a contener. El recinto, área o ambiente en donde se esté midiendo esta variable tiene un volumen específico y ese volumen admite una cierta cantidad de vapor de agua en su interior, llegara un momento en el cual la cantidad permitida del recinto en vapor de agua se supere y es en ese preciso instante cuando dicho ambiente se encuentra saturado es decir su volumen no puede albergar más vapor de agua y este empieza a condensarse. Se deposita en forma de agua en las paredes de la habitación, en el techo, en el piso, en los objetos, etc.

Para calcular la humedad relativa del ambiente se tiene la siguiente ecuación:

$$HR = \left( \frac{M_{vap}}{M_{vapmax}} \right) (100)$$

Ecuación 2: Calculo de la humedad relativa del ambiente en porcentajes.

En la anterior formula  $M_{vap}$  se refiere a la masa de vapor real que contiene el ambiente en cuestión.  $M_{vapmax}$  es la máxima masa de vapor que puede llegar a contener un área determinada. Toda la formula se multiplica por 100 para obtener los valores en formas porcentuales. Existe otra ecuación similar a la anterior que se emplea para obtener el valor de la humedad relativa del ambiente, esta se basa en la ecuación de los gases ideales ya que plantea que el aire se comporta como si fuese un gas ideal, por lo tanto:

$$\begin{aligned} pv &= nRT. \\ (p_{vap})(V) &= (M_{vap})RT \\ (p_{vapmax})(V) &= (M_{vapmax})RT \end{aligned}$$

Ecuación 3: Ecuación para los gases ideales.

Dividiendo las 2 ecuaciones previas se tiene que:

$$\frac{(p_{vap})(V)}{(p_{vapmax})(V)} = \frac{M_{vap}RT}{M_{vapmax}RT}$$

De lo anterior se obtiene que:

$$\frac{M_{vap}}{M_{vapmax}} = \frac{P_{vap}}{P_{vapmax}}$$

Ahora,  $n_{vap}$  y  $n_{vapmax}$  son los números de moles. Pero el número de moles es proporcional a la masa. De manera que el valor  $\frac{n_{vap}}{n_{vapmax}}$  es proporcional a  $\frac{m_{vap}}{m_{vapmax}}$ , lo cual se reemplaza en la ecuación numero 2:

$$HR = \left(\frac{p_{vap}}{p_{vapmax}}\right)(100).$$

Ecuación 4: Humedad Relativa porcentual con respecto a las presiones.

En esta fórmula  $p_{vap}$  es la presión de vapor que tiene el aire.  $p_{vapmax}$  es la presión de vapor que contiene el aire cuando ese aire está saturado de vapor. O sea, el valor  $p_{vapmax}$  es la máxima presión de vapor que el aire puede llegar a contener. Acá también toda la fórmula se multiplica por 100 para tener los valores en porcentaje.

Como se ha podido observar en las ecuaciones anteriores, un valor importante en todas ellas es la  $p_{vapmax}$ , esta depende de la temperatura del aire para ese momento de la medición. Existen muchas tablas de valores que sirven como apoyo durante la realización de las mediciones, para el caso de la humedad relativa esta la tabla de valores de las presiones de vapor máximo, estas ya fueron medidas y colocadas todas en una tabla en la cual se destaca que la presión de

vapor máxima aumenta conforme aumente la temperatura. Como  $p_{vapmax}$  se encuentra como denominador dentro de la ecuación anterior al aumentar este valor la HR se ve disminuida por lo tanto una temperatura elevada disminuye la humedad relativa debido a que aumenta la presión de vapor máximo secando así el ambiente y eliminando vapor de agua del mismo. Por lo anteriormente expuesto se puede concluir en que, al calentar una masa de aire, la humedad relativa de ese aire disminuye y al enfriarla aumenta su humedad relativa.

#### 2.2.13. Temperatura del suelo.

Esta condiciona los procesos microbianos que se tienen lugar en el suelo. Influye en la absorción de los nutrientes, especialmente del fósforo que es menor en suelos fríos. Se considera como una buena práctica mantener por encima de los 5°C la temperatura del suelo para así evitar la posible generación de patógenos. Esta variable es de suma importancia dentro de los procesos bióticos y químicos.

#### 2.2.14. Humedad del suelo.

Esta variable es muy importante dentro de los cultivos ya que constituye un factor determinante en la formación, conservación, fertilidad y productividad en estos, así como para la germinación y crecimiento de plantas cultivadas. Se puede entender este concepto como la cantidad de agua por volumen de terreno que exista en una determinada zona.

En la agricultura los esfuerzos deben ser concentrados en el incremento de la proporción de agua que entra en el suelo (infiltración) minimizando la pérdida de humedad causada por la escorrentía y la evaporación, aumentando la disponibilidad de agua del suelo y la eficiencia de su uso mediante el mejor manejo del suelo. En algunos casos los bajos rendimientos están relacionados con una insuficiente humedad del suelo y no con un mal suministro de agua a la siembra.

Cuando se realiza riego a las siembras, por lo general, puede infiltrarse algo del agua en el suelo, escapar como escorrentía sobre la superficie,

acumularse dentro de las hojas de la planta o charcos o evaporarse hacia la atmósfera. Lo anterior se evita al manipular el suelo a conveniencia de la misma siembra, se puede disminuir la escorrentía, la evaporación directa de la superficie del suelo, modificar la profundidad de las raíces de la planta, entre otros. Los suelos por su parte difieren en su arquitectura y capacidad para mantener su disponibilidad de agua, debido a la textura y profundidad del mismo, a la actividad biológica y al contenido de materia orgánica.

Al momento de incrementar la humedad del suelo se logran altos rendimientos gracias a la máxima utilización del recurso hídrico. En este sentido, se recarga el agua subterránea y, por lo tanto, se mejora el nivel del agua en los pozos y la continuidad de los ríos y de los flujos de las corrientes.

Los factores responsables de las bajas tasas de infiltración del agua en las siembras son:

- a) La compactación resultante del deterioro de los poros del suelo.
- b) Baja permeabilidad del suelo.

Existen prácticas prohibidas que afectan al contenido de humedad del suelo, las cuales son:

- a) Quema de residuos del cultivo.
- b) Labranza del suelo y el cultivo mecánico de malezas.
- c) Drenaje.

Por lo tanto, se busca mejorar la infiltración del agua por parte del suelo, para ello, se pueden realizar las siguientes acciones:

- a) Mejoramiento de la estructura del suelo a través de procesos biológicos.
- b) Limitación de la escorrentía por medio de barreras físicas o estructurales.
- c) Incremento de la porosidad mediante labranza y la preparación de la tierra.

Es posible también incrementar la capacidad de almacenamiento de agua por parte del suelo tomando las acciones siguientes:

- a) Incremento del contenido de materia orgánica en el suelo.
- b) Incremento en la profundidad efectiva del suelo.

Actualmente existen varias formas de medir la cantidad de humedad que yace en un terreno, se pueden dividir en 5 grupos:

- a) Gravimétricas.
- b) Tensiométricas.
- c) Atenuación de neutrones.
- d) Disipación de calor.
- e) Técnicas dieléctricas.

Sin embargo, ninguna de las anteriores es una medición directa de la cantidad de agua en el suelo. La única manera de poder realizar este tipo de medición de forma directa es a través de un proceso de pesada y secado de un volumen de suelo conocido, pero, este tipo de mediciones es un tanto laborioso y destructivo, por lo cual no es habitualmente utilizado en la agricultura.

#### 2.2.15. Cultivos

Un cultivo es un trabajo de preparación de la tierra para la siembra, cuidando así de sus plantas para que den frutos de alta calidad y productividad lo cual generara un beneficio tanto propio como para la colectividad. Se puede decir que son un conjunto de organismos microscópicos desarrollados en un laboratorio en una sustancia preparada para favorecer su aparición. Existen diferentes tipos de cultivo, entre ellos tenemos:

- a) Cultivos Transgénicos: Es un tipo de cultivo que está destinado a potenciar los rendimientos agrícolas aumentando la productividad y rentabilidad disminuyendo las superficies cultivadas. Este tipo de cultivo es estudio en la Ingeniería Genética ya que se basa en la modificación genética de los cultivos, presentando un futuro prometedor para el sector agroalimentario.
- b) Cultivos Hidropónicos: Están diseñados para ambientes pequeños en donde la disponibilidad de espacios y recursos es limitada (ver Figura 3: Cultivo Hidropónico.), por lo tanto, es importante su ahorro. Por lo general se emplean en ambientes cerrados donde es posible la recirculación de aire, el reciclaje de agua y de soluciones nutritivas para los cultivos.

Empleando así de una mejor forma todos los recursos lo cual conlleva a una reducción de costos y una menor contaminación hacia el ambiente.

- c) Cultivos Organopónicos: Aquí se producen mayormente vegetales comestibles, plantas medicinales y condimentosas. Su siembra se realiza en un sustrato formado por el suelo y la materia orgánica, mezclados en un contenedor y los cuales se basan en los principios de la agricultura orgánica. En su gran mayoría los contenedores están hechos por distintos tipos de materiales, pero siempre creados de forma artesanal, siendo lo más frecuente su construcción sobre el suelo empleando sólo los contenes laterales. Los cultivos Organopónicos son una modalidad de agricultura útil para las condiciones en las que no se dispone de un suelo cultivable fértil y se quiere utilizar este espacio para la producción vegetal de forma intensiva y bajo principios de producción orgánica. Por lo general, este tipo de cultivo se observa en sitios con poco espacio o en sitios urbanos. Véase la Figura 4: Cultivo Organopónico.
- d) Cultivos Tradicionales: Son aquellos tipos de cultivos cotidianos para la alimentación de la población de esa región o zona por ejemplo, aquí en Venezuela los cultivos tradicionales son: maíz, arroz, trigo, caraotas, entre otros, mientras que los cultivos no tradicionales son aquellos que no son cotidianos para la alimentación de la comunidad por ejemplo: tabaco, vainilla, chocolate, champiñones, algodón y entre otros, los cuales se dan en condiciones especiales de clima. En la Figura 5: Cultivo no tradicional de champiñón., se puede observar un cultivo no tradicional de champiñón.



Figura 3: Cultivo Hidropónico.



Figura 4: Cultivo Organopónico.



Figura 5: Cultivo no tradicional de champiñón.

#### 2.2.16. Hongos Silvestres Comestibles (HSC).

Son un grupo que incluyen una gran cantidad de tipos de hongos o setas (palabra ampliamente usada en España para referirse a los hongos comestibles) que son recolectados o cultivados los cuales son muy apreciados dentro de la gastronomía. Esto dependerá fundamentalmente de la región en donde se este y de su cultura. Se puede decir que estos hongos conforman un grupo bien diferenciado de organismos los cuales presentan carpóforos grandes y visibles, que se denominan macromicetos (macrohongos u hongos superiores). Tienen tallo y sombrero y su hábitat natural es en los bosques húmedos o templados. Según la



FAO solo un 10% de estos hongos son comestibles mientras que el restante se reparte entre tóxicos y medicinales.

En el siguiente artículo se detalla algunos nombres para los HSC en diferentes regiones (Los Hongos Silvestres Comestibles Perspectiva global de su uso e importancia para la población, p.2) *“En italiano los hongos silvestres son llamados funghi commestibili (hongos comestibles), y no existe una palabra que corresponda a la traducción de “seta”. En ingles se usa wild edible fungus. Mushrooms tiene un significado similar a “setas” pero no indica que esta especie particular de hongos sea comestible. En el dialecto Chewa de Malawi, bowa describe un hongo comestible, una terminología que tiene, en práctica, el mismo significado de Hongo Silvestre Comestible”*

Los HSC son importantes por 3 razones principales:

- a) Son fuentes de alimentación y de salud.
- b) Son fuentes de ingresos.
- c) Mantienen la salud de los bosques.

Los Macromicetos son una categoría en general que describe las especies que tienen una estructura que se puede observar a simple vista y que produce esporas, tales como las setas o las trufas. A las estructuras visibles generalmente se le denominan “carpóforos” o cuerpos fructíferos. Los hongos se presentan como un tejido de filamentos que, en su conjunto forman un micelio. Los sombreros de los hongos también se componen de un conjunto de filamentos, densamente agrupados que conforman el carpóforo, estos filamentos de una forma especial producen una gran cantidad de esporas que se difunden de diversas maneras.

#### 2.2.17. Alimentación de los HSC.

La alimentación de los hongos no es igual a cualquier hortaliza ni vegetal, esta se basa de materiales vivos y muertos para su crecimiento. Los organismos autótrofos son aquellos tipos de organismos que producen ellos mismos sus nutrientes mediante la acción de su metabolismo. En cambio, los

organismos heterótrofos son aquellos que se alimentan de otros organismos, de residuos de su metabolismo o bien residuos que los mismos dejan al morir. Todos los hongos, incluyendo los champiñones, son heterótrofos, por lo que deben procurarse los nutrientes que los alimentarán. Por lo tanto, los hongos pueden obtener sus nutrientes en tres formas básicas:

- a) Saprófito (crecimiento en materia orgánica muerta).
- b) Simbiótico (crecimiento en asociación con otros organismos).
- c) Patógeno (crecimiento con daño a otro organismo).

#### 2.2.18. Hongos Saprófitos.

Basan su crecimiento en las sustancias orgánicas que están presentes en el suelo colonizando la madera en putrefacción (véase Figura 6: Hongo Saprófito de Cataluña, España.), por lo general se les recolecta en los bosques, pero son comúnmente cultivados. Recientemente fue calculada una cifra de 18 mil millones de dólares estadounidenses para el comercio anual global de estas especies. Uno de los factores limitantes para su desarrollo es que estas especies necesitan de un aprovisionamiento constante de materia orgánica adecuada para sostener la producción en su hábitat natural.



Figura 6: Hongo Saprófito de Cataluña, España.

### 2.2.19. Hongos Simbióticos:

La micorriza está asociada a la simbiosis que ocurre en los HSC, muchas plantas dependen de esta asociación hongos-raíces para crecer sanas. Un tipo especial conocido como ectomicorriza (EMC) se encuentra en los árboles que crecen en la taiga rusa y en los bosques tropicales del Borneo e incluye tanto leguminosas arbóreas como coníferas. La micorriza contribuye al crecimiento de los árboles en los terrenos carentes de nutrientes.

Una especie de guante de filamentos envuelve a la raíz, penetrando en su estructura, pero no en sus células, formando un contacto viviente entre los hongos y el árbol. Los hongos contribuyen a que los árboles succionen el agua de una cuenca más amplia y le suministran sustancias nutritivas recogidas en un área mayor. El árbol, por su parte, les proporciona a los hongos los carbohidratos esenciales para su desarrollo. En la Figura 7: Relación Simbiótica entre los Hongos y los árboles. se puede observar una imagen en la cual se muestra la relación simbiótica entre el hongo y el árbol.



Figura 7: Relación Simbiótica entre los Hongos y los árboles.

#### 2.2.20. Tipos de hongos comestibles y cultivables.

A continuación, se presenta la tabla 4 en la cual se expresan los diferentes tipos de géneros de hongos comestibles y sus otros usos. Información obtenida principalmente de los países desarrollados. Véase [www.wildusefulfungi.org](http://www.wildusefulfungi.org) para mayores detalles sobre los registros individuales por especies y por países.

Tabla 2: Número de especies de hongos silvestres comestibles y medicinales.

<b>Genero</b>	<b>Número de especies</b>	<b>Usos</b>
Agaricus	60	Alimento, Combustible, Medicinal.
Amanita	88	Alimento, Combustible, Medicinal.
Auricularia	13	Alimento, Combustible, Medicinal.
Boletus	72	Alimento, Combustible, Medicinal.
Cantharellus	42	Alimento, Combustible, Medicinal.
Cordyceps	37	Combustible, Medicinal.
Cortinarius	50	Alimento, Combustible, Medicinal.
Laccaria	14	Alimento, Combustible, Medicinal.
Lactarius	94	Alimento, Combustible, Medicinal.
Leccinum	22	Alimento, Combustible, Medicinal.
Lentinula	3	Alimento, Combustible, Medicinal.
Lentinus	28	Alimento, Combustible, Medicinal.
Lycoperdon	22	Alimento, Combustible, Medicinal.
Macrolepiota	13	Alimento, Combustible, Medicinal.
Morchella	18	Alimento, Combustible, Medicinal.
Pleurotus	40	Alimento, Combustible, Medicinal.
Polyporus	30	Alimento, Combustible, Medicinal.
Ramaria	44	Alimento, Combustible, Medicinal.
Russula	128	Alimento, Combustible, Medicinal.
Suillus	27	Alimento, Combustible, Medicinal.

Fuente: Rangel (2018).

Tabla 2: Número de especies de hongos silvestres comestibles y medicinales.  
(continuación)

<b>Genero</b>	<b>Número de especies</b>	<b>Usos</b>
Terfezia	7	Alimento, Combustible.
Termitomyces	27	Alimento, Combustible, Medicinal.
Tricholoma	52	Alimento, Combustible, Medicinal.
Tuber (trufas)	18	Alimento, Combustible.
Volvariella	12	Alimento, Combustible, Medicinal.

Fuente: Rangel (2018).

Los HSC proporcionan 2 beneficios fundamentales para la población: fuentes de alimentación e incentivo económico. En algunas ocasiones son importantes en el ámbito medicinal y de entretenimiento. Se cree que la fuente de ingresos mediante la recolección de HSC es enorme, pero la realidad es que la cantidad de dinero ganado es menor que los beneficios obtenidos por los amplios usos de los hongos para la subsistencia. Por lo general, los beneficios fundamentales son obtenidos por las poblaciones de los países en desarrollo. En los últimos tiempos los investigadores de los hongos (micólogos) se están concentrando en los factores sociales y económicos, fomentada por una percepción mucho más amplia de la importancia de los Productos Forestales No Madereros (PFNM) para las economías rurales y la población en general.

Un plato de hongos es una exquisitez en Suiza o Estados Unidos, pero es una alternativa contra el hambre en Malawi. El dinero ganado por la recolección de HSC sirve para enviar a los niños a las escuelas en la India.

#### 2.2.21. Agaricus Bisporus (Champiñon de París o Portobello).

El Agaricus Bisporus o el Champiñon de París o Portobello como es comúnmente conocido es una especie de hongo perteneciente a la familia de Agaricales que es originaria de Europa y Norteamérica, ésta es famosa a nivel

mundial por su uso gastronómico y su importante aporte tanto energético como nutricional. El género *Agaricus* pertenece a la familia de los Agaricaceae.

El primer método de cultivo para *Agaricus Bisporus* fue plasmado por el botánico francés Tournefort, este decía que los champiñones se originaban de los caballos y creía que las esporas estaban en su estado natural en el estiércol de este animal. El método consistía en colocar porciones de estiércol de caballo cubiertas con moho en una cama y cubriéndolo con una capa de suelo. En la década de 1780, Chambry, un jardinero francés, noto que el *Agaricus Bisporus* podía crecer sin luz y que las cuevas proveían condiciones favorables para la producción del hongo.

Reconocer un hongo perteneciente al género *Agaricus* es tarea sencilla. Al inicio de su desarrollo, el esporóforo joven está encerrado en una envoltura llamada velo general, que se rompe rápidamente al mismo tiempo que el esporóforo aumenta de tamaño. Otro velo, liga el margen del píleo al estípite y se fractura al mismo tiempo que el sombrero se abre como un paraguas. En la madurez, el esporóforo está constituido de un estípite montado por un sombrero bajo el cual las láminas están dispuestas radialmente. Estas laminas tapizan el himenio constituido de células estériles (cistidios) y de basidios productores de esporas de color café que en masa le confieren un color café oscuro. Al romperse, los velos dejan restos que decoran el sombrero y el estípite; en particular este último presenta varios anillos que pueden descender desde lo alto del pie (anillo descendente) o, al contrario, ascender desde la base del pie (anillo ascendente).

En la Figura 8: Partes de un hongo del género *Agaricus bisporus*. Se puede observar la estructura completa de un hongo del tipo *Agaricus Bisporus* ya desarrollado.

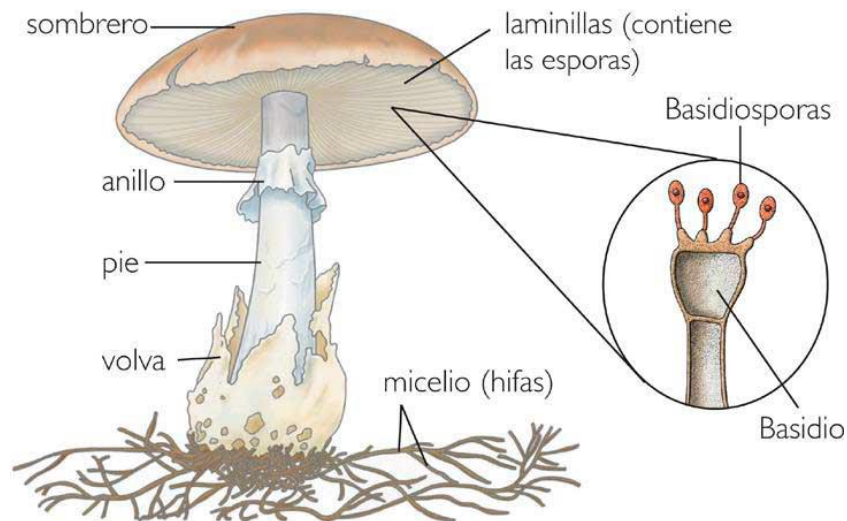


Figura 8: Partes de un hongo del género *Agaricus bisporus*.

#### 2.2.22. Modo de reproducción de los *Agaricus Bisporus*.

La meiosis es el punto fundamental en el cual se basa este género de hongos para su método de reproducción. Estas se reproducen de forma vegetativa a través de la fragmentación del micelio o por las basidiósporas de manera sexual, en las cuales los núcleos serán productos de la meiosis. Los micelios heterocarióticos no tienen fíbulas y las células que las constituyen generalmente son multinucleadas. Existen tres tipos de reproducción sexual en el género, como en los basidiomicetos en general. El ciclo heterotálico, el ciclo pseudohomotálico y el ciclo homotálico. Solamente el ciclo heterotálico permite el cruce entre 2 individuos. En todas las especies del género *Agaricus* estudiadas, el sistema de incompatibilidad sexual es unifactorial y multialélico, por lo tanto, se puede dar el cruzamiento a través de la plasmogamia entre dos homocariones surgidos de esporas de un mismo esporóforo (autofecundación), sin embargo, la fecundación podría también provenir de dos esporóforos diferentes (interfecundación) siempre y cuando sean sexualmente compatibles.

Los métodos de reproducción sexual conocidos del género *Agaricus* *Bisporus* son:

- a) Heterotalismo.
- b) Anfitalismo.
- c) Homotalismo.
- d) Fenómeno de Buller.

#### 2.2.23. Producción del *Agaricus Bisporus*.

Para la producción del *Agaricus Bisporus* hay que tener en cuenta que es un hongo y por lo tanto como la gran mayoría de estas especies carecen de clorofila y por ello no pueden alimentarse de forma normal con las sustancias que hay en la tierra y ha de vivir sobre un sustrato que le proporcione debidamente preparados los alimentos que este necesita.

El proceso de producción se puede dividir en 2 grandes partes. Primero la realización del sustrato, compost o tierra base, este sustrato será el alimento del champiñón y donde este se reproducirá y desarrollará, cabe destacar que este hongo es un hongo saprófito y no simbiótico por lo cual no vive de otros organismos, sino que se alimenta de la descomposición de ellos. La 2da parte para el cultivo de los champiñones se basa en la incubación del sustrato y la siembra del hongo. Ya con el sustrato listo se debe inocular el mismo o sembrar la semilla del hongo de la cual se desarrollarán los diferentes *Agaricus Bisporus* para su posterior cosecha. En estos procedimientos existen una gran cantidad de variables y parámetros a verificar para el correcto desarrollo de estos alimentos y garantizar su alta productividad.

Desde los años 1950 el proceso de composteo (preparación del sustrato) se ha basado en 2 fases distintas:

- a) Fase I Composteo (Inicio de la composta): Dentro de las materias primas para la realización de la composta se destaca diferentes combinaciones de heno, rastrojo, cascara de semilla de algodón, olote, pasto, estiércol de pollo y de caballo, corteza de árbol, harina de semillas de algodón y de soja, desechos de destilación de etanol, yeso y entre otros. En la Figura 9:



Forma del compost antes y después de apilar y compactar. se puede observar como la materia prima se apila, compacta y trabaja para que tome forma y empiece a desarrollarse el sustrato.

- b) Fase II Composteo (Terminación de la composta): Se realiza en interiores siendo estos túneles, anaqueles, bolsas o camas. Para esta etapa uno de los objetivos fundamentales es poder pasteurizar la composta, reducir la cantidad de amonio presente y desarrollar una composta selectiva para el champiñón. Con este proceso se reducen las probabilidades de que hongos indeseables, insectos y nematodos puedan infectar el champiñón causando así enfermedades, daño o alteraciones durante su crecimiento. Esta fase puede durar de 6 a 8 días según la habilidad de la población de microorganismos para convertir el amonio en proteína microbiana. La Fase II es un proceso controlado que se lleva a cabo por lo general en túneles, bunkers o anaqueles, como se muestran en la Figura 10: Llenado de las naves de cultivo en EEUU. y la Figura 11: Llenado de las naves de cultivo en China.
- c) Fase III Semilla, siembra e incubación: La producción de semilla es una tarea de vital importancia para el desarrollo del *Agaricus Bisporus* el cual requiere de una tecnicidad impecable, ya que se debe realizar mantenimiento de las cepas, prueba del inóculo e inoculación aséptica de grano estéril para así asegurarse la producción de una semilla de alta calidad. Una vez que el tipo apropiado de semilla ha sido escogido, el cultivador deberá sembrarlo en la composta, es decir mezclarlo en el sustrato. En la Figura 12: Semilla o inóculo del champiñón de París. se observa como un productor de *Agaricus Bisporus* prepara la semilla del hongo previo a su siembra.



Figura 9: Forma del compost antes y después de apilar y compactar.



Figura 10: Llenado de las naves de cultivo en EEUU.



Figura 11: Llenado de las naves de cultivo en China.



Figura 12: Semilla o inoculo del champiñón de París.

Naturalmente la producción de los *Agaricus Bisporus* se produce en oleadas o mal llamadas cortes, cada siete días se presenta la mayor cantidad de producción de estos hongos. Por lo general se realizan de 2 a 4 oleadas de producción por cultivo ya que a partir de allí la producción declina estrepitosamente. Un punto importante durante este proceso es el riego que más que una técnica o practica es un arte en este mundo de los HSC. Se debe lograr colocar en el suelo de cobertura la mayor cantidad de agua de forma tal que no se drene hacia el compost que lo sostiene. Como una buena práctica se consideran  $500ml \frac{H_2O}{m^2}$  de superficie de producción pueden ser aplicados una sola vez.

El aire fresco del exterior es parte fundamental de este proceso de cultivo de los champiñones ya que beneficia a estabilizar el nivel de bióxido de carbono en el recinto y además controla la temperatura al interior de este. Este bióxido de carbono es producido por el micelio del champiñón cuando está en crecimiento y los hongos en maduración. Como mayor nivel de crecimiento y de actividad orgánica producen los hongos al principio del cultivo en esos momentos se requieren mayores niveles de aire exterior en las naves de cultivo. Para hacer circular el aire que ha sido acondicionado en temperatura y humedad se usan ventiladores. El calentamiento y enfriamiento puede ser originado con serpentines de agua fría o agua caliente mientras que la humedad se llevara a control mediante la inclusión de una neblina fría o vapor, o por simple mojado de las paredes o

pisos. Los hongos son cosechados entre 7 a 9 días, dependiendo de la temperatura, la humedad y el estado en el cual son cosechados. En la Figura 13: Línea de cosecha de champiñones en España. se puede observar cómo se elabora la cosecha de los champiñones en líneas de producción en movimiento, esto es una industria del rubro en España.



Figura 13: Línea de cosecha de champiñones en España.

Cuando se emplea un sustrato para el cultivo de champiñones el cual ha sido pasteurizado y con el sustrato tratado, las temperaturas dentro de éste pueden ser un poco elevadas debido a la acción de los microorganismos que interactúan al interior. Bajo condiciones normales al cultivar se pueden observar temperaturas mayores a los 27°C las cuales serán generadas por otros organismos presentados en el compost (ya sean auxiliares, competidores o patógenos), para los cuales estas temperaturas más altas les son favorables; por ello, en un cultivo bajo condiciones normales debe ponerse todo el empeño y esfuerzo para que el rango de temperaturas sea de 25°C a 26°C alejándose lo más pronto posible de temperaturas superiores a 29°C, en donde empiezan incluso a darse daños genéticos que afectarán la capacidad de fructificación del champiñón.

#### 2.2.24. Control del ambiente en los cuartos de cultivo del champiñón.

El cultivo del champiñón o *Agaricus Bisporus* es uno de los que presenta unas condiciones ambientales especiales en diferentes etapas de su desarrollo, si no se cuidan cada uno de estos parámetros es posible que la producción de este decaiga rápidamente o que si quiera se logre producción alguna. Por lo tanto,

desde los últimos años con el desarrollo de nuevas tecnologías, cada vez más avanzadas y con un menor coste se ha decidido implementar elementos o sistemas electrónicos que puedan revisar constantemente y controlar algunas o todas las variables implicadas dentro del proceso de cultivación de los champiñones, para así lograr una mayor productividad con altos índices de calidad y reduciendo los costos.

El champiñón presenta diferentes etapas dentro de su desarrollo como fruto, estas son:

- a) Periodo de germinación: Esta es la etapa inicial del champiñón, luego de inoculado la semilla en el sustrato aquí se inicia la incubación. Este periodo tarda alrededor de 15 a 20 días si las condiciones ambientales dentro del cultivo se mantienen.
- b) Periodo de pre-fructificación: Se inicia ya la fructificación del champiñón, se ha logrado la incubación de la semilla y empieza el micelio invadir todo el sustrato. Si las condiciones ambientales del periodo se cumplen, el periodo debería extenderse hasta los 13 días.
- c) Inducción a la fructificación: En este paso ya se observa blanco del champiñón a lo largo de todo el sustrato y tarda de 5 a 7 días con las condiciones ambientales óptimas. Es durante este periodo cuando se debe aplicar la tierra de cobertura y esparcir el micelio propagado por el sustrato.
- d) Plena fructificación: Se observa en este periodo ya el sombrero o carpóforo del champiñón y solo hace falta completar su desarrollo para su posterior cosecha. En este momento ya se inician las floreadas u oleadas productoras de los champiñones y tarda de 10 a 15 días.
- e) Resto de fructificación: Se presentan aquí el resto de las oleadas productoras del champiñón, se realizan cosechas y ya está finalizando el proceso de producción del champiñón.

Para que los periodos anteriores se cumplan eficazmente se deben controlar y vigilar las condiciones ambientales del cultivo y así poder mantener a estas dentro del rango requerido y cumplir así con una producción a tiempo, buena

y altamente productiva. Las variables implicadas dentro de estas condiciones ambientales son:

- a) Temperatura ambiental.
- b) Humedad del ambiente.
- c) Humedad del suelo.
- d) Temperatura del suelo.
- e) Intercambio del aire.

Cada una de estas variables son de vital importancia dentro del desarrollo de estos hongos ya que si exceden valores límites pueden fomentar el desarrollo de patógenos o microorganismos competidores en el sustrato del *Agaricus Bisporus* y lograr que se detenga el crecimiento del mismo. También es de mucha importancia una renovación del aire constante a una velocidad baja ya que una excesiva velocidad del aire dentro de la nave de cultivo puede ocasionar que el champiñón se reseque y por ende detenga su evolución, además de crearse unas escamas en el micelio que afectan al propósito comercial del champiñón ya que deteriora su apariencia.

Por este hongo no poseer clorofila ni necesitarla puede producirse en sitios oscuros, se recomienda su desarrollo sin iluminación alguna ya que esta puede detener su reproducción sexual y deteriorar la productividad entre oleadas. Es importante destacar que el movimiento del aire a través de la superficie de crecimiento de los hongos libera oxígeno y que el intercambio de aire aleja  $CO_2$ , calor y humedad.

#### 2.2.25. Temperatura Ambiental para la producción de los *Agaricus Bisporus*.

La temperatura del ambiente es una de las variables fundamentales para el desarrollo del champiñón dentro de la nave de cultivo. Generalmente, el *Agaricus Bisporus* puede desarrollarse perfectamente entre temperaturas de 12°C y 14°C, puede darse también con temperaturas entre 8°C y 20°C. Sin embargo, cuando la temperatura del ambiente es inferior a los 10°C, el cultivo va muy lento los champiñones, aunque seguirán apareciendo lo harán en pequeñas cantidades y crecerán muy lentamente. En este sentido, se recomienda que en la nave de cultivo

la temperatura no puede ser mayor a 23°C. En la Tabla 3: Resumen de las condiciones ambientales para un cultivo de champiñones según su periodo de cultivación. se observa como son las condiciones ambientales para cada periodo de cultivación de los champiñones.

#### 2.2.26. Humedad Ambiental para la producción de los Agaricus Bisporus.

Perfectamente el champiñón se puede desarrollar con una humedad relativa ambiental del 75% al 80 %, sin embargo, se puede dar entre el 70% y el 90 %. La humedad del cuarto de cultivo se puede elevar mojando las paredes o el piso o con corrientes de aire húmedas.

Es importante mantener la humedad relativa del ambiente entre los rangos establecidos por el periodo en cuestión, ya que si en un dado caso la humedad relativa del ambiente dentro de la nave de cultivo es mayor a la máxima necesaria, el vapor de agua se condensará sobre la superficie del píleo como se observa en la Figura 14: Problema del punto de rocío en champiñones., lo cual genera problemas de estética y afecta al fruto comercialmente.

En los casos en los cuales se desee disminuir la humedad relativa del ambiente por problemas de condensación se puede quitar el vapor de agua del aire con un serpentín de enfriamiento, como un aire acondicionado, el cual condensara el vapor o la otra alternativa seria mezclar aire exterior más seco con el aire húmedo del cuarto con ventilación. Sin embargo, la segunda alternativa es poco confiable ya que puede haber días en los cuales el aire exterior tiene un punto de rocío arriba del valor deseado para el cuarto de cultivo. Se recomienda medir las condiciones del aire exterior para estar seguros de las condiciones del mismo. Por ende, la mejor alternativa sería la primera.



Figura 14: Problema del punto de rocío en champiñones.

#### 2.2.27. Humedad del suelo para los *Agaricus Bisporus*.

Es recomendable monitorear y controlar la humedad del sustrato o suelo ya que este no debe inundarse de agua, debido a que esto hará que el champiñón no crezca lo necesario, detenga su reproducción y hasta su desarrollo. Por lo tanto, es importante vigilar y controlar este parámetro tanto en los periodos de inicio del cultivo como en los posteriores a la colocación de la tierra de cobertura en donde con un valor del 60% de humedad el sustrato puede desarrollar al champiñón de forma óptima. Se puede aumentar la humedad del mismo mojando las paredes, techos, pisos del cuarto de cultivo o hasta realizando un riego puntual con sumo cuidado para controlar esta variable. Para el caso que se desee disminuir esta humedad se deberá elevar la temperatura del cuarto de cultivo y del sustrato gradualmente ya que por gases ideales al aumentar la temperatura se seca el ambiente, es decir, se evapora las moléculas de vapor de agua. Esto queda demostrado en la Ecuación 4: Humedad Relativa porcentual con respecto a las presiones..

#### 2.2.28. Temperatura del Suelo para los *Agaricus Bisporus*.

Al inicio de la siembra al ingresar el sustrato al cuarto de cultivo es posible que la temperatura del mismo se encuentre en unos 35°C o 40°C, esto debido a la activada biológica dentro de este compost, después poco a poco se irá disminuyendo esta temperatura. El momento de sembrar será cuando la



temperatura del sustrato ya haya descendido y se encuentre entre 23°C o 24°C y vaya en bajada. En el caso que la temperatura vaya en ascenso es importante tratar de disminuir la misma mediante riego puntual o con árboles de riego y en dado caso de no disminuir la temperatura no sembrar o estar prevenido ya que podría quemarse el champiñón y detener su desarrollo. Los riegos podrían realizarse cada 3 o 4 días, mojando bien las paredes y pasillos del local. Se debe mantener una temperatura del sustrato entre 25°C a 27°C alejándose de los 29°C.

#### 2.2.29. Poder de evaporación en los *Agaricus Bisporus*.

El poder de evaporación puede ser calculado a partir de la multiplicación de la velocidad del aire dentro del cuarto de cultivo por el déficit de presión de vapor. El déficit de presión de vapor se conoce como la diferencia entre la presión de saturación del vapor de agua en el aire a una temperatura dada y la presión de vapor de agua en el aire en ese preciso instante. Cuando hay muchas moléculas de vapor de agua, la presión de vapor de agua es alta. Si hay solo unas pocas moléculas de vapor de agua, se dice que la humedad es baja, y consecuentemente la presión de vapor es baja. El déficit de presión de vapor es un indicador de cuantos lugares vacíos hay disponibles para moléculas adicionales de agua.

En la Figura 15 se observa como unos champiñones con mucho poder de evaporación y por corrientes de aire muy veloces empiezan a crear escamas en el sombrero, a diferencia de la Figura 14: Problema del punto de rocío en champiñones. en la cual se observa como con poco poder de evaporación y un mal control del punto de rocío el píleo del hongo empieza a sudar. Entre más grande sea el déficit de presión de vapor, más fácilmente las moléculas de agua serán tomadas por el aire porque hay más espacios para el vapor de agua.

Dos de los problemas más comunes a la hora de cultivar champiñones son las manchas en los carpóforos o el aspecto escamoso (enplumado) en los mismos. Las manchas son ocasionadas cuando el aire húmedo se presenta en baja velocidad mientras que las escamas se dan cuando hay aire seco a una alta velocidad.



Figura 15: Problemas de escamas en la superficie del champiñón.

En la Figura 16: Gráfica para obtener valores del poder de evaporación. se puede obtener el poder de evaporación a través de una gráfica, para la cual, se necesitarán los valores de la humedad relativa del ambiente y la velocidad del aire que atraviesa al champiñón, a partir de allí se puede obtener el poder de evaporación del aire el cual puede estar muy húmedo, bien o seco.

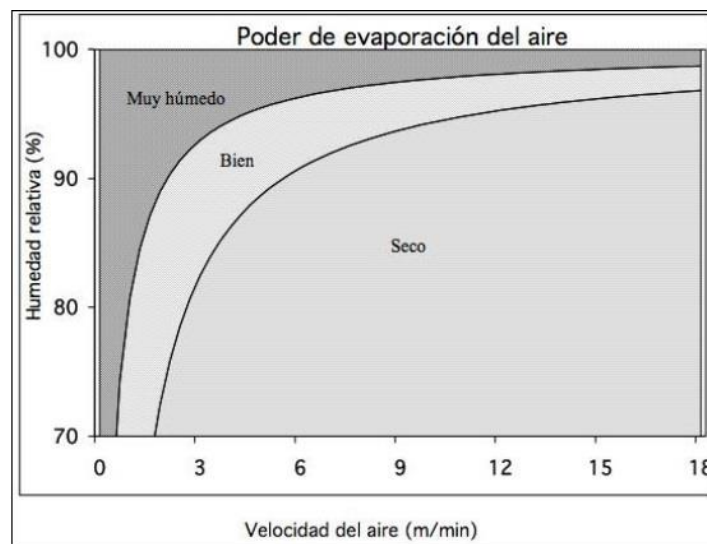


Figura 16: Gráfica para obtener valores del poder de evaporación.

### 2.2.30. Intercambio de aire para el cultivo de Champiñón.

Si no hay entradas y/o salidas del aire en el cuarto del cultivo se podrá estropear por asfixia la siembra. La salida del aire debe estar próxima al suelo para que se renueve el aire de la parte más baja del cuarto de cultivo, de forma que no se formen corrientes de aire que den directamente sobre los champiñones. El aire del local generalmente debe renovarse de 3 a 4 veces al día.

A continuación, en la Tabla 3: Resumen de las condiciones ambientales para un cultivo de champiñones según su periodo de cultivación. se observa un breve resumen de lo que serían las condiciones ambientales que debe tener un cuarto de cultivo para champiñones, en el cual se detallan ciertos valores para los parámetros más importantes como lo son la temperatura y la humedad. Desde el inicio es sumamente importante el cuidado del sustrato ya que este será la base de desarrollo y alimentación para el hongo, por lo tanto, este se debe cuidar con énfasis de la desecación, por lo general se protege el sustrato con sacos, papeles, bolsas, entre otros y además se le suministra de forma regular agua al ambiente para lograr mantener las condiciones óptimas dentro del cultivo. Esto dependerá de cómo se encuentre el ambiente exterior al cuarto y por ende de en qué estación del año se encuentren, ya que para otoño el suministro de agua será mayor que para invierno y en verano será mayor que las 2 estaciones anteriores.

Tabla 3: Resumen de las condiciones ambientales para un cultivo de champiñones según su periodo de cultivación.

<b>Periodo de cultivación.</b>	<b>Temperatura ambiental.</b>	<b>Humedad relativa del ambiente.</b>	<b>Temperatura del sustrato.</b>	<b>Humedad del sustrato.</b>
Germinación (15 – 20 días)	(18-23°C)	(90-100 %)	(24-28°C)	(40 %-70 %)
Prefructificación (10-13 días)	(16-21°C)	(83-93 %)	(21-26°C)	(40 %-70 %)

Fuente: Rangel (2018).

Tabla 3: Resumen de las condiciones ambientales para un cultivo de champiñones según su periodo de cultivación. (continuación)

<b>Periodo de cultivación.</b>	<b>Temperatura ambiental.</b>	<b>Humedad relativa del ambiente.</b>	<b>Temperatura del sustrato.</b>	<b>Humedad del sustrato.</b>
Inducción a la fructificación (5 – 7 días)	(16-19°C)	(80-90 %)	(17-21°C)	(50 %-60 %)
Plena fructificación (primeras 2 oleadas) (10 – 15 días)	(15-21°C)	(80-87 %)	(17-22°C)	(50 %-60 %)
Resto de la fructificación (otras oleadas) (30 - 45 días)	(15-21°C)	(75-90 %)	(17-25°C)	(40 %-70 %)

Fuente: Rangel (2018).

#### 2.2.31. Sistemas de cultivo.

El champiñón de París o portobello puede producirse básicamente en 4 diferentes formas, las cuales se han ido desarrollando conforme al tiempo para aumentar productividad, calidad y reducir costos. Entre los sistemas de cultivos más desarrollados a nivel mundial para el cultivo de champiñón se encuentran:

- a) Producción en cordones de compost: Es uno de los sistemas que más se aplica a nivel artesanal, es decir, para procesos no industrializados. Luego de que el sustrato ya paso la etapa de compostaje y pasteurización se procede a llevar a los túneles o bunkers y en este se organizan en cordones de 25-40 cm de base y de 25-35 cm de altura, dejando entre cada grupo un pasillo para los cultivadores. Este sistema se observa en la Figura 17: Sistema de producción en cordones de compost.

- b) Producción en estantes: En este sistema el compost se introduce en pisos superpuestos de estantes de madera, sujetos lateralmente por medio de fuertes soportes. Sobre estos estantes se colocan de 15 a 30 cm de compost, dejando entre cada dos estantes una distancia de 45-60 cm. Las estanterías se separan entre sí por pasillos. Con este sistema se han obtenido rendimientos de  $10 - 13,5 \frac{kg}{m^2}$  de cultivo. Véase la Figura 18: Producción de champiñones en estantes.
- c) Producción en sacos: Consiste en llenar al 75% de su volumen sacos de plástico con 30-40 kg de compost pasteurizado, donde se siembra el hongo. Los sacos se disponen agrupadamente en varias alturas, con temperaturas de 12-14°C. Se obtienen hasta 8-10 kg por saco, en un periodo de ocho semanas. En la Figura 19: Producción de champiñones en sacos. se puede notar como de los sacos por la parte superior se desarrollan los champiñones. Pertenece al denominado sistema Francés y en Venezuela es el que más se emplea por el estado Trujillo específicamente en Bocono.
- d) Producción en bandejas: Este proceso consiste básicamente en rellenar con sustrato bandejas estandarizadas (Figura 20: Producción de champiñones en bandejas. Sistema Holandés.). Esta forma de cultivación se mantiene desde el momento de la pasteurización y compostaje, pasando por la siembra, la incubación y la cosecha. Los rendimientos medios obtenidos con este sistema se sitúan entre  $5 y 8 \frac{kg}{m^2}$  de bandeja por ciclo. Este proceso es uno de los preferidos por las empresas y cultivadores ya que es aquel en el cual se interviene menos en la composta. Además, es el sistema que tiene la mayor tecnología a nivel de producción del champiñón y pertenece al denominado sistema Holandés.

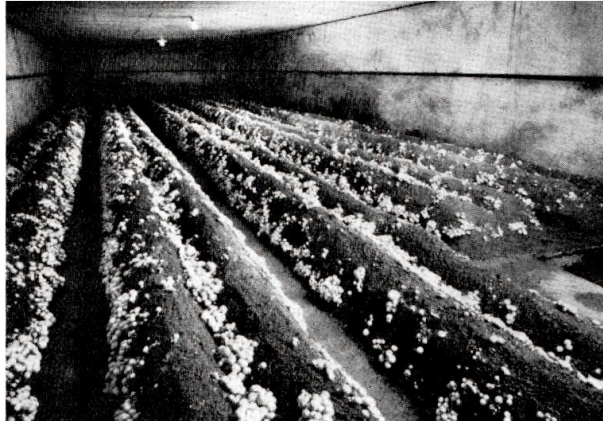


Figura 17: Sistema de producción en cordones de compost.



Figura 18: Producción de champiñones en estantes.



Figura 19: Producción de champiñones en sacos.



Figura 20: Producción de champiñones en bandejas. Sistema Holandés.

### **3. CAPITULO III**

#### **3.1. DEFINICION DEL HARDWARE**

A la hora de realizar el diseño del sistema se consideraron diferentes puntos como lo son, las condiciones específicas en donde estaría situado el dispositivo y cuáles serían los requerimientos mínimos de funcionamiento en dicho lugar, ya que, se pretende automatizar los cultivos de champiñones empleando la menor cantidad de elementos reduciendo los costos y logrando resultados beneficiosos. También se consideró que el sistema debe ser actualizable por lo que se diseñó el mismo tal que sea lo más compacto y ligero posible para así garantizar la integración dentro de las granjas verticales.

En la Tabla 3 se detallan las condiciones ambientales específicas que son esenciales para la siembra y posterior cosecha satisfactoria del cultivo, estos son los parámetros que debe cumplir nuestro sistema para poder satisfacer el objetivo de este trabajo y conseguir una buena y sana producción de champiñones.

El sistema realizado comprende varias conexiones desde los sensores que miden los valores físicos de relevancia y los envían a la unidad de control hasta los indicadores que muestran el estado de la siembra y realizan el monitoreo tanto local como remoto del mismo. Para el caso del cultivo de los champiñones, el ambiente de la siembra presenta temperaturas bajas y humedades altas debido a que son parámetros específicos y fundamentales para el desarrollo de este fruto.

Los sistemas automatizados controlan y vigilan procesos, los cuales presentan variables. Por lo general, con estos sistemas se pretende vigilar las variables y controlar su comportamiento según unos valores ya pre-establecidos o según sea el entorno que rodea al proceso en cuestión. Para el cultivo de champiñón existen 5 parámetros fundamentales que determinan el estado del fruto, su reproducción y su buena cosecha, los cuales son:

1. Temperatura ambiental.
2. Humedad Relativa del Ambiente.
3. Temperatura del Suelo.



4. Humedad Relativa del Suelo.
5. Iluminación del entorno.

El dispositivo que se elaboró en este trabajo fue un dispositivo no ciego, es decir, se tiene la posibilidad de monitorear el sistema localmente a través del mismo artefacto. Por lo general, estos dispositivos cuentan con pantallas, teclados, interfaces, etc. En este sistema se integró una pantalla en la cual se pueden visualizar las variables, mediciones, configuraciones y entre otras cosas destacadas para el sistema por ello se decidió implementar una pantalla LCD de matriz de puntos de 16 caracteres por 2 filas la cual se consideró suficiente para mostrar el nombre de la variable y valor, para lograr ver las otras variables el sistema contara con 4 botones con los cuales se podrá navegar a través de un menú en el cual el usuario escogerá cual variable desea monitorear, que periodo de cultivación escoger y encender o apagar el sistema.

Para el caso del monitoreo remoto que se contempló en el trabajo se tenían diferentes alternativas todas eficientes, algunas más económicas que otras al igual que complejas, en este caso se decidió utilizar el monitoreo remoto a través de una página web en internet y también por mensajería de texto para no utilizar más elementos dentro del sistema físico. Estos sistemas son bastante económicos, cómodos y eficientes para los usuarios el sistema se conecta a través de red móvil para enviar los datos bien sea por mensajería de texto o hacia internet.

El sistema al tener un monitoreo remoto este requiere de comunicación entre el dispositivo y los servidores y/o radio bases que completaran la transmisión del mensaje al destinatario final. Existen un sinnúmero de protocolos de comunicación, redes de comunicación y enlaces que hacen posible la transmisión de información entre uno o más puntos entre sí, dado que el dispositivo es ligero, compacto e independiente con la menor cantidad posible de limitaciones se decidió tomar la alternativa de la comunicación GSM/GPRS ya que esta nos permite con un elemento diminuto establecer comunicaciones para SMS y para internet a través de paquete de datos.

Para que el sistema este completo debe existir un administrador o gerente que pueda llevar todas las ejecuciones del dispositivo de manera ordenada y eficiente, además de admitir los datos suministrados por cada uno de los sensores a implementar. Dada esta necesidad se requiere de un elemento que sea capaz de organizar acciones, ejecutar, dirigir y coordinar los procesos para que se cumplan con todos los requerimientos exigidos por el sistema por ende se decidió escoger un microcontrolador que es el artefacto más pequeño que cumple con las tareas requeridas, este coordina, gestiona e implementa diferentes acciones que logran realizar el monitoreo local y remoto, el establecimiento de la comunicación, la operatividad de la interfaz de entrada-usuario y el uso correcto de las directrices de control.

El microcontrolador a utilizar requerirá de ciertos elementos para poder comunicarse, interpretar los valores recibidos por los sensores, ejecutar las acciones de control correspondientes y llevar los tiempos para los periodos de ejecución y para otras tareas. A continuación, se muestran algunos de los requerimientos para la escogencia del microcontrolador a usar:

- Puertos de comunicación serial (UART, SPI,  $I^2C$ ).
- Reloj interno en tiempo real (RTC).
- Pines de propósito general (GPIO).
- Conversores Analógico-Digital (ADC).
- Unidad de chequeo cíclico redundante (CRC).

Un esquema básico del sistema automatizado implementado se presenta en la Figura 21: Esquema básico del sistema automatizado implementado.

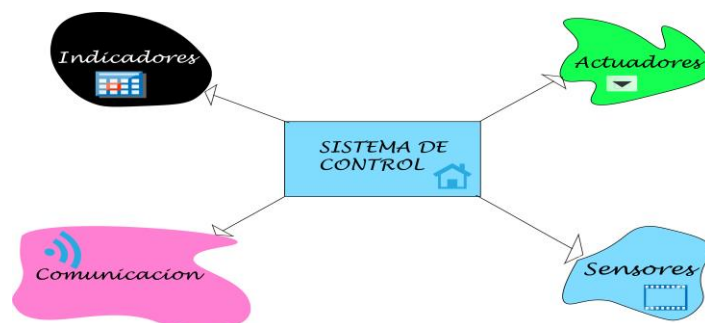


Figura 21: Esquema básico del sistema automatizado implementado.

En el esquema presentado anteriormente se observa como todo converge en el sistema de control, este es el corazón del sistema automatizado. Los valores medidos por los sensores van al sistema de control, se generan los comandos a ejecutar por los actuadores, se informan a los indicadores del proceso y se envían los datos para establecer la comunicación y reportar el estado del cultivo.

### **3.2. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE.**

En la Tabla 3 se puede observar como varia cada parámetro conforme se cumplen los periodos de cultivación del champiñon. Para la temperatura ambiental se observa que esta presenta un rango de variación desde los 15°C hasta los 23°C, sin embargo, en muchas ocasiones dependiendo del entorno que lo rodee esos valores pueden aumentar o disminuir. Para realizar la medición de la temperatura ambiental se requiere de un sensor que cumpla con las siguientes especificaciones:

- Rango de medida: 0°C - 50°
- Precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

A partir de estos datos se podría seleccionar un sensor que cumpla con estas características, sin embargo, para lograr hacer el sistema lo más compacto, ligero y económico posible se decidió utilizar un solo sensor para medir tanto la temperatura ambiental como la humedad relativa del ambiente ya que actualmente en el mercado existen infinidad de sensores que pueden realizar estas 2 tareas.

Para la humedad relativa del ambiente según la Tabla 3 esta puede variar a través de los periodos desde 75% hasta 100%, ya con estos datos se concluye que el sensor seleccionado para medir la humedad relativa del ambiente presenta un rango de medidas de al menos 50% hasta el 100% con una precisión del  $\pm 1\%$ . Dentro de la infinidad de sensores en el mercado que pudieran medir temperatura ambiental y humedad relativa del ambiente en un mismo dispositivo y que además cumplan con los parámetros especificados se escogió el sensor SHT35 de la empresa Sensirion The Sensor Company, este cumple ampliamente los requerimientos del sistema para la medición de humedad relativa del ambiente y temperatura ambiental para el cultivo, a continuación, se presentan sus características:

- Rango de medida: 0% - 100% (Humedad relativa del ambiente) / -40°C - +125°C (Temperatura ambiental).
- Precisión:  $\pm 1.5\%$  (Humedad relativa del ambiente) /  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  (Temperatura ambiental).

- Resolución: 0.01% (Humedad relativa del ambiente) / 0.015°C (Temperatura ambiental).

Este sensor sería el idóneo para la medición de la temperatura ambiental y la humedad relativa del ambiente en el sistema, sin embargo, en el país no se logró conseguir tienda o distribuidor que tuviese a su disposición dicho sensor para vender, a través de Digikey un distribuidor mundial de componentes electrónicos se puede encontrar el sensor por un precio de 12.41\$, por ello, debido a restricciones económicas y de mercado que imposibilitaron adquirir el sensor SHT35, se decidió y adquirió un sensor que también puede medir humedad relativa del ambiente y temperatura ambiental a un menor costo pero obviamente con menor resolución y precisión, este sensor es el DHT11 se encuentra ampliamente disponible en tiendas electrónicas en el país y además es más económico que el SHT35. El DHT11 a través de Digikey se puede obtener por tan solo 5\$ y actualmente en el país se consigue alrededor de 400.000Bs a 700.000Bs el mayor problema de este sensor es su poca resolución y precisión, a continuación, se presentan algunas de sus características:

- Rango de medida: 20% - 90% (Humedad relativa del ambiente) / 0°C - 50°C (Temperatura ambiental).
- Precisión:  $\pm 4\%$  (Humedad relativa del ambiente) /  $\pm 1^\circ\text{C}$  (Temperatura ambiental).
- Resolución: 1% (Humedad relativa del ambiente) / 1°C (Temperatura ambiental).

Es importante detallar que el sensor DHT11 puede medir hasta 100% la humedad relativa del ambiente, pero con una precisión del 5%, por lo tanto, se considera este sensor que no es el mejor para trabajar con estos cultivos ni con el sistema, pero es con el que se contaba para la realización de este trabajo, sin embargo, este posee algunas bondades como lo es posibilidad de comunicación a través de un solo hilo de cable haciendo el sistema más compacto y ligero.

En la Figura 21 se puede observar el sensor que se adquirió y que esta implementado en el sistema para recoger los datos de humedad relativa del

ambiente y temperatura ambiental para el cultivo de champiñones. Además, en la Tabla 4 se puede apreciar como es el envío de datos del sensor DHT11 al microcontrolador.

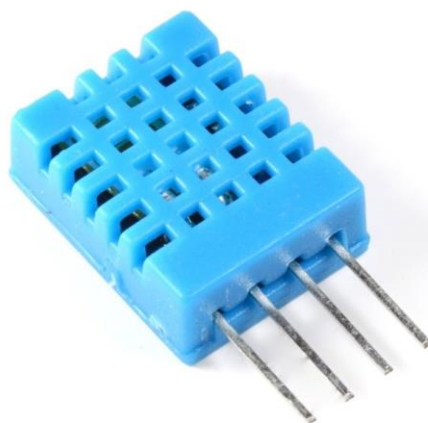


Figura 22: Sensor digital de temperatura ambiental y humedad relativa del ambiente DHT11.

Tabla 4: Organización del envío de datos del DHT11.

8 bits enteros de datos HR	8 bits decimales de datos HR	8 bits enteros de datos de temperatura	8 bits decimales de datos de temperatura
-------------------------------	---------------------------------	--	--

Fuente: Rangel (2018).

La temperatura del suelo es otro parámetro de importancia para el cultivo de champiñones ya que como se expresó en el Capítulo II los champiñones pertenecen al Reino Funghi el reino de los hongos los cuales no presentan clorofila y, por lo tanto, no realizan fotosíntesis, además no crecen en el suelo común como las verduras, vegetales y/o frutas, estos requieren de un suelo específico con ciertas condiciones para desarrollarse.

Dentro de la Tabla 3 se observa que los cambios para la temperatura del suelo permitidos durante los periodos de cultivo del champiñón oscilan entre 17°C y 28°C por lo cual se sugiere la utilización de un sensor que pueda medir la temperatura dentro del sustrato, invadiendo el mismo, pero sin afectar el suelo, es decir, que el sensor no produzca alguna bacteria o desarrollo de plagas que puedan

afectar la cultivación, por ende, se necesita un sensor con sonda libre de plomo y que cumpla con la directiva ROHS. El sensor seleccionado que cumple con los requerimientos para la medición de esta variable es el sensor DS18B20 de la empresa Maxim Integrated, este es un sensor que viene con una sonda disponible para inserción en líquidos y en partes húmedas.

El DS18B20 es un termómetro digital que provee de 9 bits a 12 bits de resolución en las mediciones de temperatura en grados Celsius. Este sensor se comunica sobre un bus 1wire que según sus definiciones solo requiere de una línea de datos (y tierra) para las comunicaciones con el microcontrolador central. Adicionalmente, el DS18B20 puede alimentarse directamente de la línea de datos (alimentación parásita), eliminando así la necesidad de una alimentación externa. Cada dispositivo DS18B20 tiene un código serial único de 64 bits, el cual permite la función de múltiples DS18B20 sobre el mismo bus 1wire u otro dispositivo que soporte comunicación 1wire y sea fabricado por la empresa Maxim Integrated. Entre las características más resaltantes se presentan:

- a) Interfaz de comunicación 1wire.
- b) Reduce la cantidad de componentes con el sensor de temperatura integrado y la memoria EEPROM.
- c) Mediciones de temperatura de -55°C a 125°C.
- d) Resolución programable de 9 bits a 12 bits
- e)  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  de precisión desde -10°C hasta +85°C.
- f) Libre de plomo.

Este sensor se usó para la realización de este trabajo ya que el mismo se pudo conseguir en el país actualmente oscila un precio de 500.000Bs a 700.000Bs<sup>2</sup> con sonda incluida y a través del distribuidor electrónico Digikey se puede conseguir en 2.78\$ y hasta 5\$ con sonda. Cumple con las especificaciones necesarias para medir la temperatura dentro del suelo del cultivo sin afectarlo, además, por comunicarse a través de un solo hilo de cable hace más compacto el sistema y además es pequeño.

---

<sup>2</sup> Revisión de los precios a fecha de: 07/03/2018

En la Figura 23 se puede observar como es el empaquetado del sensor el cual es similar a los típicos transistores BJT el cual es un empaquetado TO-92 y en la Figura 24 se observa el sensor colocado en su sonda para ingresar al sustrato o a líquidos.

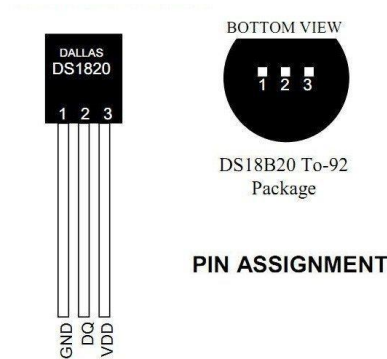


Figura 23: Sensor digital de temperatura DS18B20.

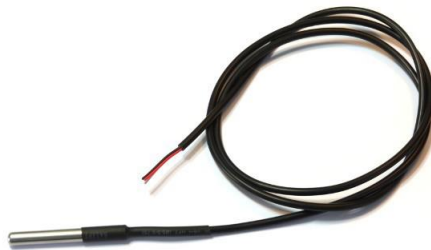


Figura 24: Sensor digital de temperatura DS18B20 y cubierta.

Junto con la temperatura del suelo también se debe medir la humedad del suelo, este es importante ya que un suelo muy húmedo puede ahogar al champiñón y detener su desarrollo y un suelo muy seco no aporta los nutrientes suficientes para que este pueda reproducirse, por lo tanto, es importante monitorear esta variable de forma constante para controlar la variable cuando un desvío ocurra. Según la Tabla 3 para los periodos de cultivación la variable no debería oscilar mucho en sus valores manteniéndose entre un 40% y un 70%, por lo tanto, el sensor a escoger debe cubrir ese rango de medidas con una precisión de  $\pm 2\%$  y además ser un artefacto libre de plomo y que cumpla con la directiva ROHS para no afectar el cultivo.



Luego de una exhaustiva investigación sobre sensores que pudieran cumplir con esos parámetros dados para la medición de la humedad del suelo del cultivo, se encontraron muy pocos dispositivos que logaran cumplir con todos los requerimientos. Los únicos que se lograron encontrar son los higrómetros que son sensores que van insertados en el suelo y miden la humedad del mismo a partir de la variación de su resistencia eléctrica, es una resistencia que varía con respecto a la humedad o a la cantidad de agua que el suelo posea.

El sensor idóneo para este trabajo que cumple con los requerimientos para la medición de esta variable es el higrómetro comercializado por la empresa de desarrollo electrónico Sparkfun SEN-13322, este cumple con la directiva ROHS y además presenta un baño de oro en sus puntas de prueba para lograr aumentar la vida útil del sensor ya que es un problema común de estos sensores que pierdan funcionalidad debido a la exposición constante a altos niveles de humedad. Este artefacto se puede adquirir directamente en la página de Sparkfun por 5\$, en el país no se logró encontrar el mismo dispositivo y, por lo tanto, se usó un higrómetro encontrado en las tiendas electrónicas del país del cual lo único que se logró detallar es que es de fabricación China, pero no tiene hoja de datos ni otra información que indique precisión, resolución, rango de medida, etc. A través de pruebas realizadas al sensor dentro del sistema, se detalló que funciona de la misma manera que funciona el SEN-13322 de Sparkfun pero con una precisión mucho menor y una vida útil mucho más corta.

A continuación, en la Figura 25 se ve en detalle el sensor empleado para la medición de la humedad en el suelo del cultivo, es importante destacar que estos sensores deben ser libres de plomo ya que estarán en contacto directo con el sustrato del cultivo y no deben interferir con el desarrollo del mismo.

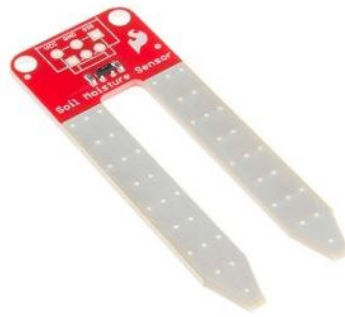


Figura 25: Sensor Higrómetro implementado para medir la humedad dentro del sustrato del compost.

Finalmente, la última medición de variables del cultivo de champiñón es la iluminación del entorno, una iluminación excesiva a los champiñones y estos detendrán su fructificación dando así unos champiñones totalmente deformes y pequeños que para comercialización no sirven.

Por la naturaleza de este fruto la medición de esta variable no es tan específica y se refiere más a un indicio de cómo se encuentra en un área determinada. En realidad, la iluminación se proporciona en los cultivos meramente para uso de los cosechadores o cultivadores para que no estropeen la siembra por poca visibilidad con lo cual se entiende que en el sitio debe existir poca luz y queda fijada estrictamente por la experiencia de los cultivadores. Dado que no es exigente la medición se utilizó en este trabajo el sensor para medir luz más sencillo y económico que existe en el mercado electrónico el cual es una resistencia sensible a la luz (LDR) esta varía su valor de resistencia a medida que tiene más o menos iluminación, es muy económico, ligero y fácil de implementar. En el presente trabajo se plantean usar 2 para tener una medida promediada y tratar de ser exactos en la medición.



Figura 26: LDR Fotoresistencia.

El sistema está permanentemente comunicando su estado al encargado del mismo y a los operadores esto se realizó tanto de forma local como de forma remota. En el caso de la forma remota se decidió implementar un módulo capaz de transmitir datos de forma inalámbrica a internet y como mensaje de texto a cualquier usuario, por ende, se tomó el módulo SIM800L este es capaz de transmitir información a través de estas plataformas de manera rápida y eficiente enviando reportes, datos, mensajes y alertas sin necesidad de una línea telefónica a través de cable sino que se realiza a través de la red móvil.

El controlador será quien dicte el funcionamiento de este subsistema, se empleará el envío de información a través de la red GSM transmitiendo mensajes de texto y de la red GPRS para el envío de paquetes de datos a la internet a través del protocolo HTTP y sobre TCP/IP. Aquí, es donde en concreto se estará aplicando el concepto de Internet de las Cosas, interconectando el sistema embebido con la página web. El principal actor de este subsistema es el módulo SIM800L de la empresa SimCom quien realizara el envío de datos y de mensajes conectándose al controlador a través del UART.

El SIM800L es un módulo de 4 bandas (quad-bands) GSM, GPRS, que opera con los siguientes rangos de frecuencia GSM 850 MHz, EGSM 900 MHz, DCS 1800 MHz, PCS 1900 MHz. Este módulo tiene una configuración minúscula de 15,8x17,8x2,4mm. Cuenta con 88 pines de estilo almohadilla en un paquete LGA, y provee todas las interfaces de hardware entre el módulo y la tarjeta de

desarrollo. Algunas de las características importantes del módulo SIM800L se muestran a continuación:

- a) Alimentación de 3,4V a 4,4V.
- b) Interfaz de Sim Card.
- c) Soporta FM y PWM.
- d) Entrada y salida programables de propósito general.
- e) Salvado de alimentación (operación a 0,7 mA en modo sleep).
- f) Rangos de temperatura: -40°C a +85°C.

En la siguiente imagen se muestra el módulo SIM800L a implementar dentro del sistema para la comunicación GSM/GPRS.

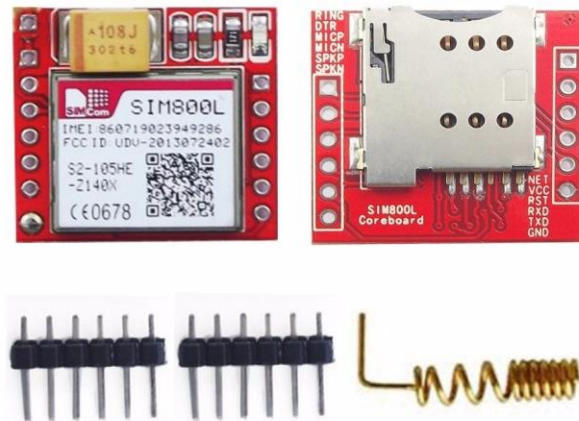


Figura 27: Modulo SIM800L GSM/GPRS de la empresa SimCom.

La interfaz de entrada-usuario es la que tiene como finalidad mostrar en campo el estado del sistema y del cultivo en general. Esta muestra las señales de alarma indicando algún mal funcionamiento del sistema o una variable que se encuentra fuera de control para que así el encargado del cultivo y del sistema pueda atender rápidamente la emergencia. Se cuenta con una pantalla de matriz de puntos LCD de 16 caracteres por 2 filas con el cual se pueden observar los valores de las variables más importantes para el cultivo y así llevar un seguimiento estricto de la siembra. A través de la LCD también se realizan las configuraciones

del sistema, como elegir el periodo de cultivación en el que se encuentra el cultivo. En la Figura 29 se podrá detallar el display LCD implementado. Junto al display se integran unos botones del tipo pulsadores con los cuales el operador puede navegar a través de un menú de selección y además un LED RGB que es capaz de indicar cuando el sistema esta encendido o apagado.

La Figura 28 muestra una pantalla de matriz de puntos LCD de 16 caracteres por 2 filas implementada en el sistema.



Figura 28: Display LCD de 16x2 para la interfaz de entrada/salida del sistema.

En la Figura 21 se puede observar como todos los elementos detallados en la parte anterior convergen en un solo equipo, este es el controlador responsable de ejecutar las acciones de control, de enviar la información a través del módulo SIM800L, de mostrar en el display LCD las variables, el menú y las configuraciones y además de coordinar operaciones, tiempo y gestionamiento de protocolos y servicios. Todo este trabajo es llevado a cabo por un microcontrolador el cual debe tener tanto la capacidad de conectividad como de procesamiento para trabajar en este sistema.

Debido a la cantidad de sensores que están conectados en el sistema se requirió de una gran cantidad de pines de entradas y salidas tanto analógicos como

digitales. Específicamente se necesitan 4 puertos analógicos para los sensores de humedad del suelo y de iluminación se usan 2 y 2 respectivamente. Un terminal UART para la comunicación con el módulo SIM800L y poder enviar la información a través de mensajería y al internet. A lo sumo 6 pines de entrada para la conectividad con el display LCD y la muestra de mensajes por pantalla, pines de entrada-salida para la comunicación con los sensores digitales y un reloj en tiempo real interno para el control de los tiempos dentro del proceso y permitir un sistema eficiente en sus tareas y ejecuciones.

Dentro del mercado electrónico existen muchos microcontroladores unos más potentes que otros y algunos más baratos que otros, en este caso se decidió por utilizar un microcontrolador del tipo ARM ya que estos son microcontroladores muy potentes y están presentes en un 90% de todos los sistemas embebidos producidos a nivel mundial, sin embargo, dentro de esta misma categoría se encuentran una gran cantidad de microcontroladores. En este trabajo se utilizó un microcontrolador ARM Cortex-M4 de la empresa STMicroelectronics<sup>3</sup> específicamente el STM32F401RET que es un microcontrolador de 32 bits con procesador RISC, que se empleó en una tarjeta de desarrollo de la misma empresa, denominada Nucleo-64 F401RE (ver Figura 29).

Se consideró usar este microcontrolador gracias a que posee una gran velocidad de computo que hace posible la ejecución de múltiples tareas en tiempos muy cortos ya que se debe recibir la data, interpretarla, ejecutar los controles pertinentes y generar los reportes para el envío de la información posee además una buena cantidad de pines que es ventajoso a la hora de la conexión de los sensores, actuadores y de la parte comunicacional del sistema. Posee RTC interno, 3 terminales UART para comunicaciones seriales, un convertidor Analógico-Digital de hasta 12 bits con 16 canales para la recepción de señales físicas y además por ser tecnología ARM es uno de los microcontroladores actualizados de menor costo para aplicaciones en sistemas embebido.

---

<sup>3</sup> Empresa británica dedicada al diseño y desarrollo electrónico de sistemas embebidos, sensores, microprocesadores, microcontroladores y entre otros.

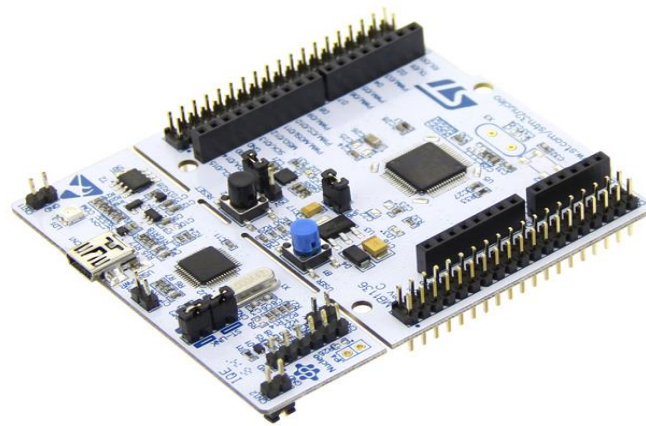


Figura 29: Microcontrolador ARM en la tarjeta de desarrollo Núcleo F401RE de la empresa STMicroelectronics.

La tarjeta de desarrollo en cuestión presenta las siguientes características que se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5: Especificaciones de la tarjeta de desarrollo Núcleo-64 F401RE.

Elemento	Especificaciones
Frecuencia de operación	Hasta 84 MHz.
Memoria Flash	512 kb.
Memoria SRAM	96 kb.
Convertidor A/D	12, 10, 8 bits de hasta 16 canales.
Temporizadores	6 de 16 bits 2 de 32 bits timer PWM para control de motores trifásicos
Interfaces de comunicación estándar	3 USART's 3 $I^2C$ 4 SPI's 3 $I^2S$ USB 2.0 OTG
Pines I/O	36 - 81
Tensión de operación	1.7V – 3.6V
Unidad de calculo	CRC (Cyclic Check Redundation)

Fuente: Rangel (2018).

En la Tabla 5 queda demostrado que el microcontrolador a implementar supera ampliamente los requerimientos mínimos para el sistema, sin embargo, se encontraba a disposición del autor este equipo y por ende fue usado, sin embargo, es posible la realización de este sistema con otro microcontrolador que cumpla con los requerimientos mínimos.

El sistema automatizado puede de esta manera dividirse en 5 grandes bloques o subsistemas, que serán:

- a) Controlador: Es el corazón del sistema automatizado y es quien coordina, administra y gestiona todas las labores del sistema automatizado.
- b) Subsistema Analógico: Es quien mide e informa sobre todos los valores analógicos o señales físicas que ha de obtenerse. Está conformado por un convertidor A/D que está integrado dentro del microcontrolador a utilizar.
- c) Subsistema Digital: Existen algunos sensores y actuadores digitales, todos estos entran en esta unidad. Son sensores que miden variables físicas digitalizan su valor para así enviar a través de diversos protocolos los valores de dichas variables.
- d) Subsistema Comunicacional: Aquí se trabaja lo referente a la comunicación del sistema con los servidores locales, nubes y/o entre otros.
- e) Indicadores: Esta se refiere a la interfaz de hombre-máquina y los leds indicadores, aquí se puede hacer revisión del sistema en campo además de indicar alertas o peligros. Dentro de la interfaz hombre-máquina planteada se encuentra un display LCD de 16x2, botones pulsadores para la selección mediante un menú y leds que informan de ciertos procesos importantes dentro del sistema.



### **3.3. DEFINICION DEL SOFTWARE.**

El software a implementar dentro del controlador STM32F4 pretende gestionar todas las acciones del sistema para el cultivo, las cuales son:

- Adquisición de datos
- Interpretación de los datos
- Calculo y ejecución de control
- Transmisión de datos
- Generación de alarmas

El software implementado se basa principalmente en 3 grandes bloques, que son el de control y monitoreo en campo, el de control y monitoreo remoto y el de emergencias del sistema. En los 2 primeros bloques se nota la acción de control ambos se diferencian debido al tipo de monitoreo que ejecutan. Un monitoreo en campo se refiere a la capacidad de poder vigilar u observar el comportamiento del sistema en el área de ejecución, mientras que, un monitoreo remoto se enfoca en la vigilancia del mismo sistema, pero esta vez no en el área de ejecución sino en otro sector retirado del controlador, puede ser otro país, otra ciudad, otro departamento, etc. Un 3er bloque denominado bloque de emergencias del sistema se plantea para detener el funcionamiento del mismo cuando se presente una emergencia por falla de algún tipo de sensor, de alimentación o por temperaturas excesivamente elevadas que imposibilite el funcionamiento del mismo de forma óptima.

Dentro de los 3 grandes bloques explicados anteriormente, se encuentran otros bloques de programación los cuales se encargan de realizar los siguientes procesos:

- Bloque de programación encargado de la medición.
- Bloque de programación encargado de realizar el control.

- Bloque de programación encargado de la realización del envío de datos al servidor web.
- Bloque de programación encargado de atender las acciones ejecutadas en la interfaz de entrada-salida.
- Bloque de programación encargado de recibir los mensajes de texto y realizar las acciones pertinentes.
- Bloque de programación encargado de atender las alertas generadas en la siembra.

En términos generales, el sistema medirá las variables más importantes para el cultivo a través de los sensores tanto analógicos como digitales, al recibir estos datos se proceden a su análisis y almacenamiento por un periodo de tiempo determinado para posteriormente realizar el control y enviar esos datos al servidor web utilizado, el cual será quien almacene toda la data generada por el sistema y que se mostrará de forma remota. Este proceso se cumple de esta manera para ambos bloques de operación, la diferencia entre uno y otro bloque es que, en el bloque de conexión remota, la interfaz de entrada-salida no se está ejecutando, mientras que, en el bloque de conexión en campo, esta interfaz si está operando.

Es importante destacar que el control realizado por el sistema es netamente un control on/off esto es así debido a que no se cuenta con un sistema modelado del cultivo de champiñones a través del cual se pudiera obtener una función de transferencia para establecer una estrategia de control y además no se cuenta con datos suficientes y consistentes para realizar el modelo del sistema.

- Bloque control/monitoreo remoto: Este será el bloque por defecto al que llegue el sistema al encenderse, reiniciarse o cuando se cumplan todas las condiciones necesarias para que el sistema llegue a este bloque. En este se medirán las variables a través de los sensores, se almacenarán hasta 10 mediciones seguidas en un intervalo de 30 segundos para posteriormente realizar un promedio y enviar a través del módulo SIM800L el valor promediado, acto seguido se analizarán dichos datos, luego se procede a realizar las acciones de control on/off pertinentes para finalmente enviar los datos de las variables al servidor web para su vigilancia remota,

eliminar del MCU la data almacenada y recopilar nuevos valores. El envío de datos no será inmediato, este se realizará en un intervalo de 300 segundos aproximadamente, esto es debido a que las variables son lentas en sus cambios, por lo tanto, se consideró 300 segundos un margen que no amenaza con la estabilidad del sistema y permite el ahorro de energía por la transmisión de datos. Al igual que el envío de la información no será inmediato, la medición y el control tampoco lo será, este se realizará en un intervalo de 30 segundos mientras que para el control se consideró un intervalo de 60 segundos. Además, dentro de este bloque es posible tener una comunicación usuario-sistema a través de la red GSM, ya que, enviando mensajes de texto con una codificación en el texto específica (véase Tabla 6) a el número de teléfono del sistema, el mismo podrá responder con lo que se le solicite, siempre y cuando este correcto la codificación. Las variables a enviar a través del módulo SIM800L serán:

- a) Temperatura ambiental.
  - b) Temperatura del sustrato.
  - c) Humedad del sustrato.
  - d) Humedad relativa del ambiente.
  - e) Periodo de cultivación.
  - f) Temperatura del microcontrolador.
  - g) Temperatura del módulo SIM800L.
- Bloque control/monitoreo en campo: Aquí se continúa midiendo las variables importantes del cultivo a través de los sensores conectados al controlador, almacenando, analizando y ejecutando acciones de control según las variables dentro del tiempo delimitado en el bloque anterior, sin embargo, en este bloque se detiene la transferencia de datos al servidor web empleado durante el tiempo en el cual se encuentra el sistema en dicho bloque. El controlador estará manejando la interfaz de entrada-salida para poder mostrar las variables del cultivo a través del display LCD 16x2 y mediante esta interfaz se podrán realizar hasta configuraciones como por ejemplo escoger el periodo de cultivación que se desee. Un tiempo de

inactividad para este bloque de 150 segundos hará que el controlador cierre la ejecución del mismo y se entra automáticamente en el bloque anterior. Es importante detallar que en este bloque se podrá acceder a las variables medidas directamente, y en este punto se estará midiendo en tiempo real, la variable escogida.

- Bloque de emergencias y/o alertas: Este bloque cumple la función de detener el funcionamiento del sistema o emitir ciertas alarmas dependiendo de los valores de las variables del cultivo. Si algunas de las variables se encuentran fuera de rango se ejerce el control pertinente y además se envía a través de mensajes de texto alarmas para indicar al encargado de la siembra que existe un problema dentro del funcionamiento del sistema o con el bienestar de la siembra.

### 3.4. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

En la Figura 31 y Figura 32 se pueden observar un breve diagrama de flujo del funcionamiento del sistema en general, el bloque de las alertas y las emergencias se presentan como interrupciones externas las cuales detendrán el funcionamiento del sistema y obtendrán el poder de ejecución de todo el software, mientras que los otros bloques se pueden observar en las imágenes descritas.

En la imagen siguiente se detalla las funciones que cumplen cada uno de los bloques explicados anteriormente.

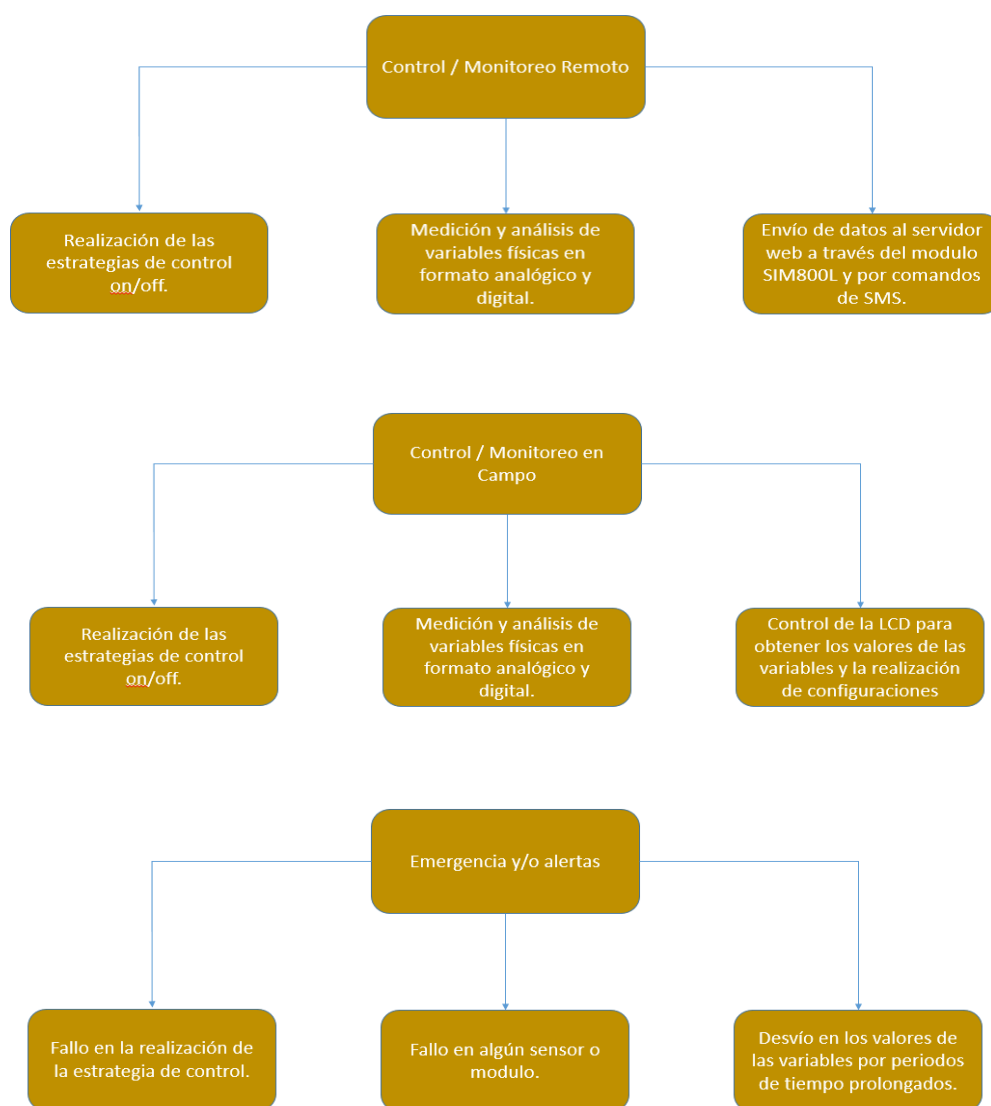


Figura 30: Bloques de control y monitoreo tanto en campo como remoto y bloque de emergencias y/o alertas.

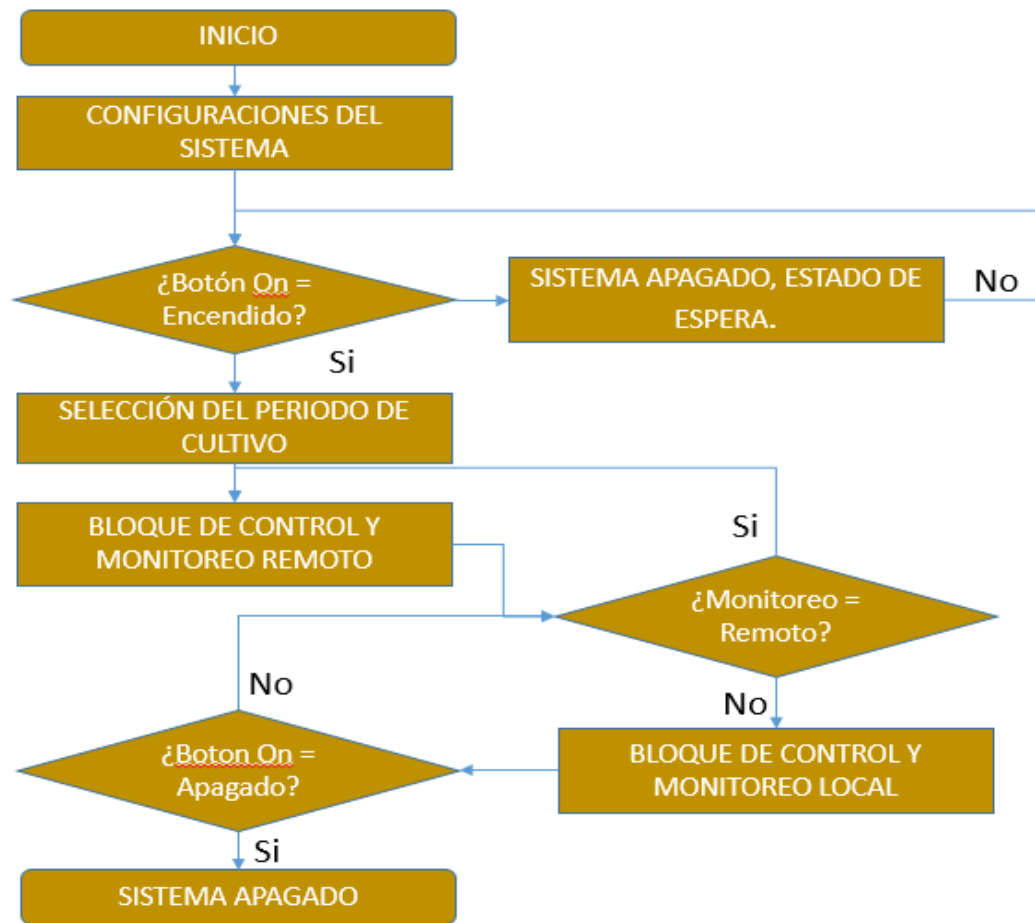


Figura 31: Estructura general de programación.

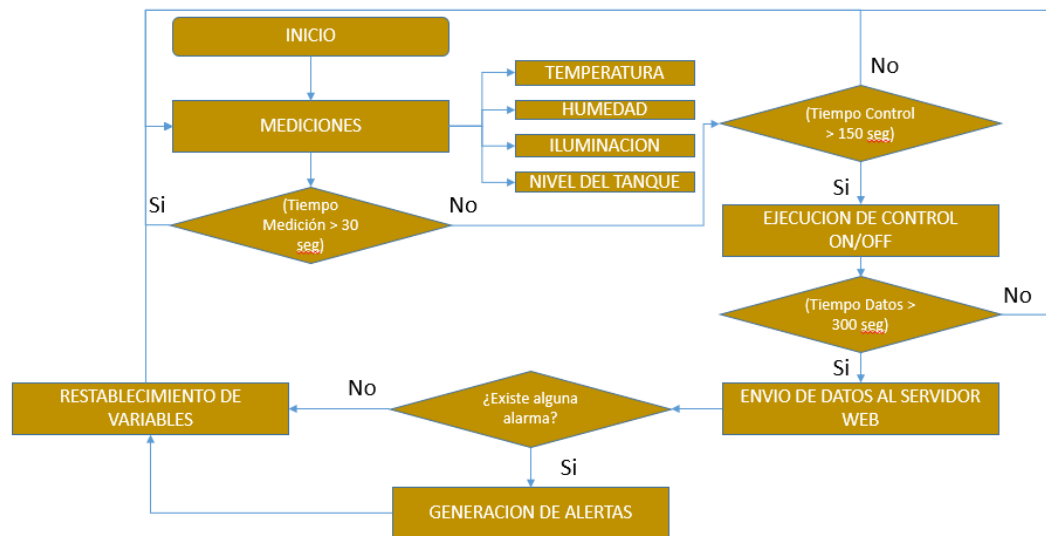


Figura 32: Estructura de la programación del bloque de monitoreo remoto.

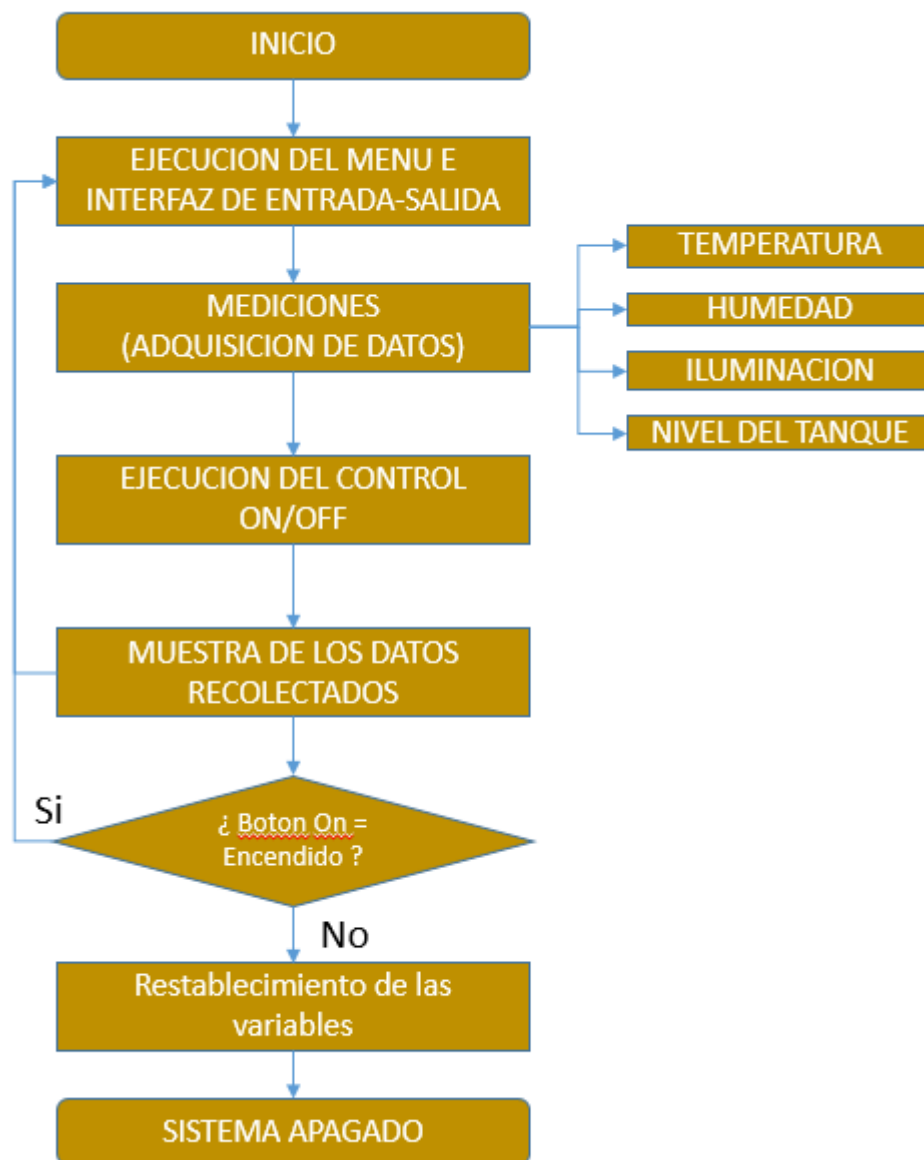


Figura 33: Estructura de la programación del bloque de monitoreo en campo.

El microcontrolador STM32F401RE en la tarjeta de desarrollo NUCLEO-F401RE permite su programación y depuración a través de entornos de desarrollo integrado, los cuales son unos programas que facilitan la programación de los microcontroladores ambientados en C, C++, C# u otro lenguaje de programación determinado como Assembler. Para la programación de los microcontroladores existen muchos métodos desde el más popular que es la programación en lenguaje textual hasta la programación en diagramas de flujos o lenguaje gráfico, cada dispositivo a través del fabricante especifica qué tipo de



programación admite y que herramientas se ofrecen para su fácil y correcta depuración e implementación.

Según la hoja de datos del microcontrolador y la información suministrada por la empresa STMicroelectronics este dispositivo admite las siguientes herramientas de desarrollo para su programación y depuración:

- ARM Keil: MDK-ARM.
- IAR EWARM.
- GCC-based IDEs (AC6: SW4STM32, Atollic TrueSTUDIO).
- ARM mbed online.
- Eclipse Studio.

Todas estas herramientas están ambientadas en lenguajes de programación textuales basados además en lenguaje C y C++, esto es gracias a sus compiladores que son GCC (GNU Compiler Collection), compiladores que admiten ambas estructuras. Se trabajó en un entorno IDE que admite tanto lenguaje C como C++ otorgando así la posibilidad de programación sin límites de tamaño de código ni de cantidad de variables y con posibilidad de depuración del sistema en tiempo real.

Uno de los procesos más complejos al trabajar con microcontroladores ARM es su configuración esta debe realizarse en programación de bajo nivel lo cual dificulta la implementación del mismo, dada esta problemática, la empresa ARM junto con STMicroelectronics trabajaron en un software que se basa en una interfaz gráfica que facilita la configuración del mismo y hace que los tiempos de desarrollo de los programas sean más cortos y puedan solventarse tareas más complejas. Esta interfaz gráfica es el programa STM32CubeMx y es proporcionado de forma gratuita por la empresa STMicroelectronics y por Keil.

En la imagen siguiente se pueden observar los logotipos promocionales de la interfaz gráfica de configuración del dispositivo y de la empresa del microcontrolador.



Figura 34: Logotipo de las empresas que desarrollaron los software y el hardware utilizado en este trabajo.

Es importante detallar que dentro de los requerimientos de cada uno de estos paquetes de software para poder implementarse de manera satisfactoria se requiere de un equipo de trabajo con los siguientes requisitos mínimos:

- Windows OS (XP, 7, 8) o Linux 64-bit o Mac OS X.
- Cable USB tipo A o mini cable tipo B.

## 4. CAPITULO IV

### 4.1. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para el desarrollo total del sistema se probó el funcionamiento del mismo tanto en campo abierto como en campo cerrado, dado que el dispositivo debe poder trabajar de forma eficaz en ambos ambientes. Luego de la realización del software y de todas las conexiones de los sensores y módulos involucrados, tanto digitales como analógicos<sup>4</sup> se dispuso a la puesta en funcionamiento de todo el sistema, inicialmente las pruebas se realizaron sin la interfaz de usuario, por lo cual, se utilizó una placa para prototipo rápido para poder interconectar los sensores con el microcontrolador y la alimentación.

Se planteó tomar una serie de datos durante varios días para asegurar el funcionamiento del sistema ya que el mismo debe cumplir un máximo de funcionamiento de 55 días para la producción del champiñón y hasta 95 días agregando otras oleadas de producción que podrían suscitarse por lo tanto el sistema se ejecutó en total durante 74 días continuos en los cuales se depuro todo el software, hardware y se tomaron las mediciones verificando así el comportamiento completo de todo el sistema como lo son la adquisición de datos, el control, la comunicación, las configuraciones, la interacción con los operadores y las alertas.

Los datos que se obtuvieron son los que se muestran en los gráficos de la Figura 35 a la Figura 46. Es importante destacar que todos estos datos se pueden conseguir de forma pública a través del siguiente link: <https://thingspeak.com/channels/359690>. El sistema cuenta con capacidad de comunicarse a esta página web y poder enviar los datos que se generan del cultivo y hasta emitir tweets por alertas gracias a su módulo SIM800L de conectividad GPRS/GSM 2G y los servidores y la plataforma web proporcionada por Mathworks con Thingspeak.

---

<sup>4</sup> Todas las conexiones de los sensores y los módulos se pueden detallar en los esquemáticos colocados en los anexos del presente trabajo.

A continuación, se muestra en la Figura 35 los datos recopilados de humedad relativa del ambiente y del suelo para el cultivo sin la realización de control de las variables y en cuarto cerrado de cultivo.

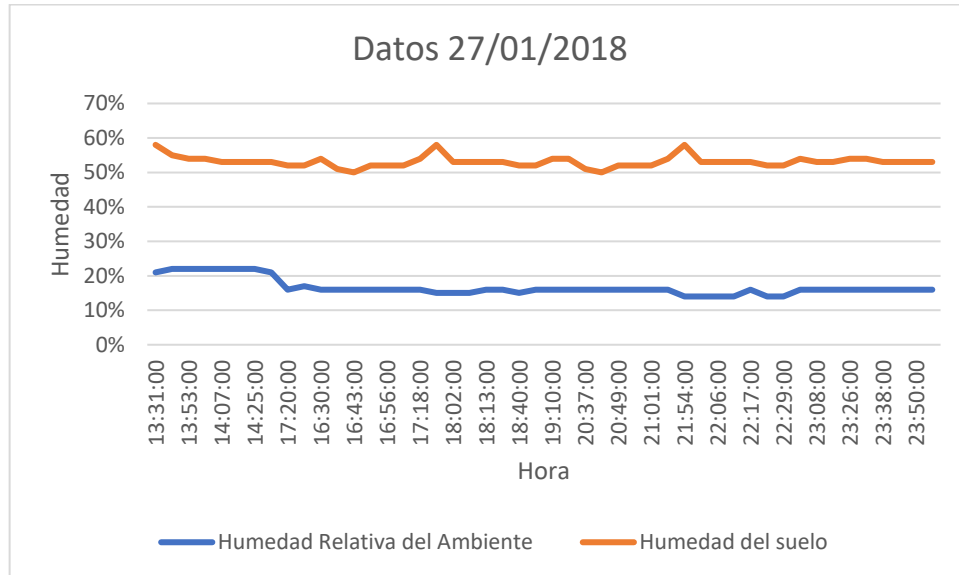


Figura 35: Grafico que representa los datos tomados por el sistema en campo cerrado para la humedad relativa del ambiente y la humedad del suelo para el 27 de Enero.

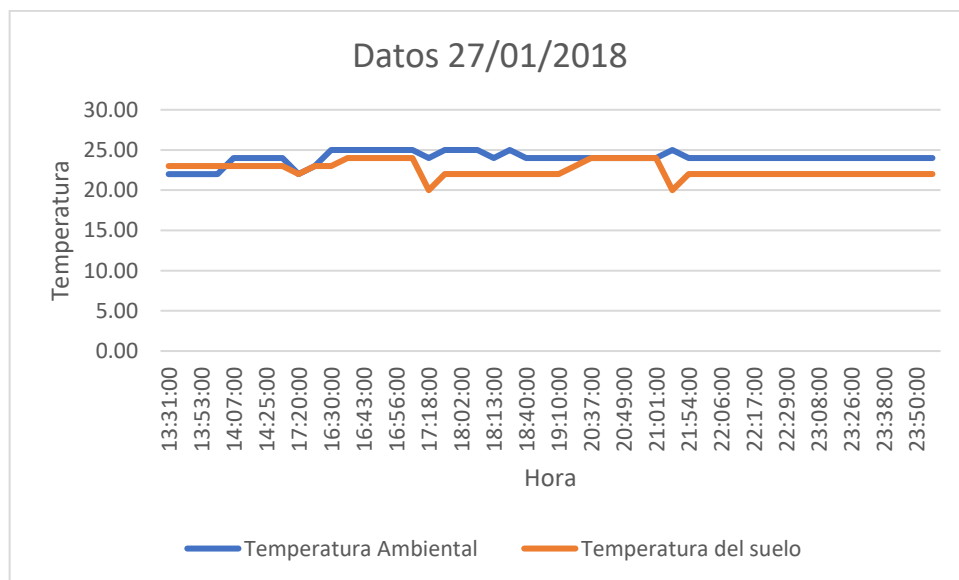


Figura 36: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo cerrado de temperatura ambiental y del suelo para el 27 de Enero.

En la Figura 35 se detalla como la humedad relativa del ambiente se encuentra fuera de los rangos específicos para los periodos de cultivación mientras que la humedad del suelo está dentro de los rangos, esto es debido a que el sistema se encuentra en campo cerrado sin posibilidad de la entrada de aire fresco que pueda aumentar la humedad dentro del cuarto de cultivo con lo cual se concluye que el cuarto cerrado es un cuarto seco por defecto. Además, un aumento de la temperatura ambiental ocasiona una disminución de la humedad relativa del ambiente lo cual ocurre para los datos tomados el 27/01/2018. En la Figura 36 se puede observar como aumenta ligeramente la temperatura ambiental y al comparar dicha Figura con la Figura 35 se puede notar como el aumento de la temperatura ambiental del cuarto de cultivo influyo para que la humedad relativa del ambiente disminuyera. Para el caso de la temperatura del suelo y la humedad del suelo se mantuvieron en valores constantes.

Con estas pruebas queda demostrado que los sensores empleados miden consistentemente y operan en buena forma con la unidad de control a emplear la cual funciono de manera continua sin ningún tipo de contratiempo o de falla.

Los datos tomados el día 28 de Enero fueron realizados en un horario distinto al del día 27 de Enero, en la Figura 37 y 38 se pueden observar los gráficos correspondientes a los valores de temperatura ambiental y del suelo y de humedad relativa del ambiente y del suelo en donde se destaca la estabilidad de la temperatura ambiental y del suelo en sus mediciones, sin embargo, ambas están fuera de los rangos permitidos para el primer periodo de cultivación requiriendo así que el sistema ejecute la acción de control para aumentar ambas temperaturas, estas mediciones se realizaron en un cuarto de cultivo cerrado destinado para la realización de control.

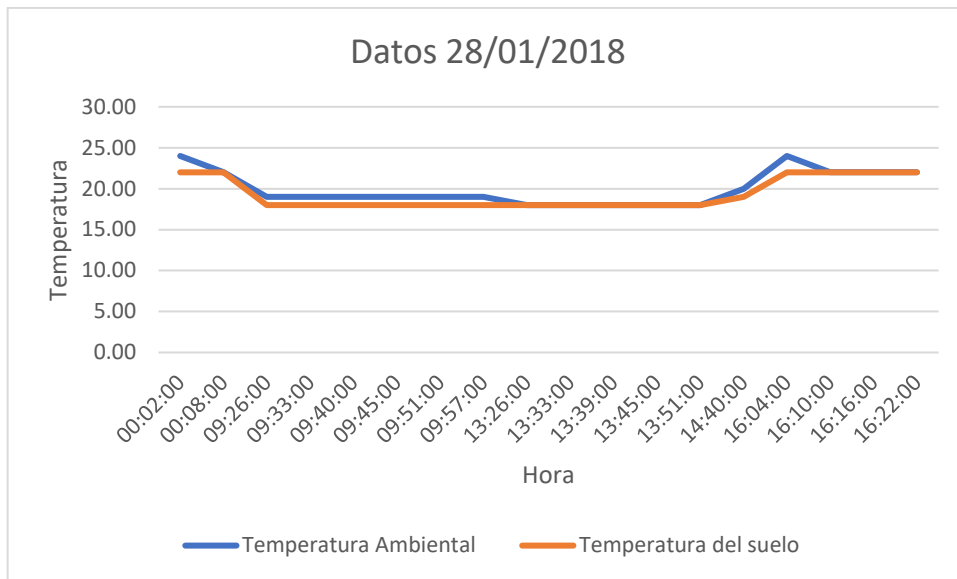


Figura 37: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo cerrado de temperatura ambiental y de suelo.

En la Figura 38 se puede observar los valores tomados para la humedad relativa del ambiente y del suelo para el día 28 de Enero.

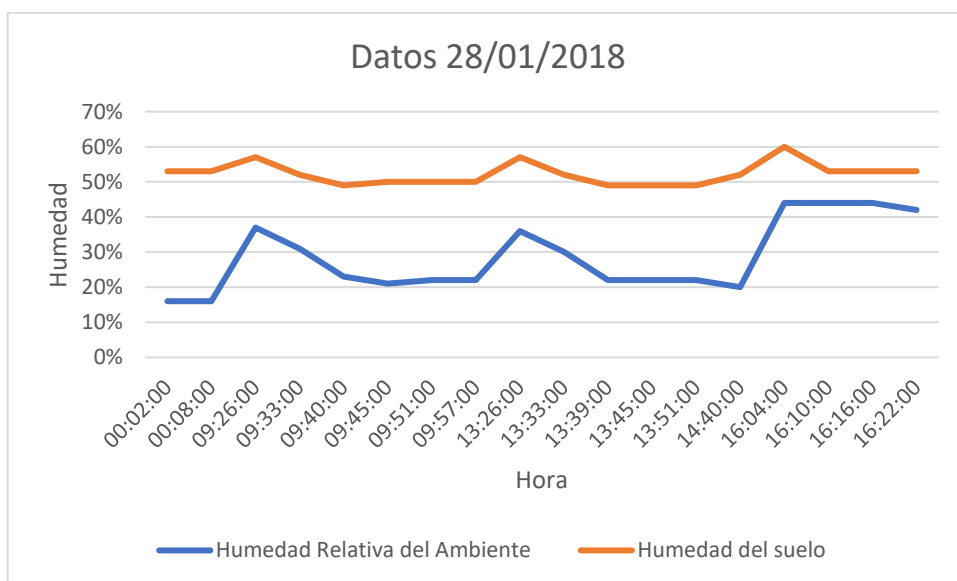


Figura 38: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo cerrado de humedad ambiental y de suelo para el día 28 de Enero.

Se puede observar en la Figura 37 como los valores de temperatura ambiental y temperatura del suelo para el cultivo varían muy poco, para las primeras 2 mediciones tanto el cultivo como el ambiente tienen el mismo valor de

19°C, dentro de la Tabla 3 de los valores umbrales para cada periodo, la temperatura ambiental se presenta entre 18 y 23°C para un valor aceptado, mientras que, la temperatura del suelo es de 24 a 28°C para un valor aceptado. Esto indica que para estas 2 primeras mediciones la temperatura ambiental para el cultivo está en óptimas condiciones mientras que la temperatura del suelo se encuentra por debajo de sus valores óptimos. Es importante que quede claro que para estas pruebas el suelo de muestra o la tierra de muestra que se empleo es tierra abonada normalmente usada en los campos de cultivos de hortalizas, verduras, vegetales, entre otros, pero no el sustrato o suelo auténticamente elaborado y empleado para la siembra del champiñón, el cual presenta una actividad biológica mucho más intensa que la de la tierra abonada y, por lo tanto, presenta temperaturas más elevadas.

En la medición de humedad del suelo ocurrió lo mismo que para las mediciones de temperatura, esta se mantuvo estable durante toda la ejecución del programa y además esta sí estuvo dentro de los rangos estimados para el primer periodo del cultivo, sin embargo, para el caso de la humedad relativa del ambiente se observa que estuvo fuera de los rangos establecidos y además se notan unas alzas en sus valores en ciertos momentos, estos son a raíz de la interacción de corrientes de aire húmedas con el sistema lo cual permitió elevar la humedad en el entorno ya que dada la acción del aire acondicionado en el cuarto este secaba mucho el ambiente y hacía que la humedad relativa fuera muy baja lo cual es una condición desfavorable para la siembra.

Estos datos fueron tomados en cuartos de cultivo sin control en tiempo real debido a que no se contaba con los dispositivos requeridos para ello, sin embargo, se dispuso de un módulo de LED los cuales se encendían y apagaban dependiendo del control a ejecutar. Los controles a ejecutar se observan en la Tabla 7: *Controles y condiciones para activar actuadores y/o válvulas a través del sistema.*

El sistema que se planteó dentro del trabajo tiene la capacidad de comunicarse para transmitir los datos de lo que ocurre dentro del cultivo lo cual ocurre gracias a la integración del módulo SIM800L este logró tener una

conectividad con la siembra no solo por internet a través de la página Thingspeak.com sino que también se concretó tener comunicación vía SMS o mensajería de texto. A través de unos comandos establecidos se podrán enviar mensajes de texto al cultivo (el cual tendrá un número de teléfono asignado) y responder ante estos mensajes según lo que se le esté solicitando al cultivo en ese preciso instante. A continuación, en la Tabla 6 se presentan los comandos asignados para solicitar información al cultivo vía mensajería de texto.

Tabla 6: Comandos de comunicación con el cultivo a través de mensajería de texto.

Comandos de comunicación con la siembra vía SMS		
<i>Variable</i>	<i>Comando</i>	<i>Significado</i>
Temperatura ambiental	TEMP AMB MUSHROOMS	Mensaje para monitoreo de temperatura ambiental del cultivo
Temperatura del sustrato	TEMP SUST MUSHROOMS	Mensaje para monitoreo de la temperatura del suelo del cultivo
Humedad relativa del ambiente	HUM AMB MUSHROOMS	Mensaje para monitoreo de la humedad relativa del ambiente del cultivo
Humedad del suelo	HUM SUST MUSHROOMS	Mensaje para monitoreo de la humedad del suelo del cultivo
Iluminación del entorno	ILUM MUSHROOMS	Mensaje para monitoreo de la iluminación del entorno del cultivo
Nivel del tanque	LVL TANK MUSHROOMS	Mensaje para monitoreo del nivel del tanque del cultivo
Temperatura del SIM800	TEMP SIM800	Mensaje para monitoreo de la temperatura del módulo sim800l
Temperatura MCU	TEMP MCU	Mensaje para monitoreo de la temperatura del MCU
Todas las variables	ALL VARIABLES	Mensaje para monitoreo de todas las variables del cultivo

Fuente: Rangel (2018).

El control dentro del sistema se lleva a cabo de la forma ON-OFF, es decir, cuando se sobrepase un umbral de valor de alguna variable monitoreada el sistema responderá con un comando para actuar algún dispositivo y/o artefacto que pueda controlar dicha variable. Estos valores limites se detallan en la Tabla 3 en la cual se puede observar como varían de acuerdo al periodo en donde se encuentre. A continuación, se presenta una tabla con los controles que realiza el sistema y de acuerdo a que escenarios deben ejecutarse o no.



Tabla 7: Controles y condiciones para activar actuadores y/o válvulas a través del sistema.

<b>Controles</b>	
VA (Válvula de admisión)	
VE (Válvula de extracción)	
RCAMB (Resistencia calefactora del ambiente)	
RCCOMP (Resistencia calefactora del sustrato)	
Humif (Humificador)	
Door (Puerta o persiana)	
A/A (Aire acondicionado)	
<b><i>Temperatura ambiental &gt; max</i></b>	<b><i>Humedad relativa del ambiente &gt; max</i></b>
A/A ---> ON; Door --> ON	Humif ---> Off; RCAMB ---> Off
Temperatura ambiental < min	Humedad relativa del ambiente < min
A/A ---> OFF; RCAMB ---> ON	Humif ---> On; RCAMB ---> On
Temperatura ambiental entre rangos	Humedad relativa del ambiente entre rangos
A/A ---> ON; Door --> ON	Humif ---> Off; RCAMB ---> Off
<b><i>Temperatura del sustrato &gt; max</i></b>	<b><i>Humedad del sustrato &gt; max</i></b>
RCCOMP ---> Off; VE ---> On; A/A ---> On	VE ---> Off; RCCOMP ---> On
Temperatura del sustrato < min	Humedad del sustrato < min
RCCOMP ---> On; VE ---> Off; A/A ---> Off	VE ---> On; RCCOMP ---> Off
Temperatura del sustrato entre rangos	Humedad del sustrato entre rangos
RCCOMP ---> Off	

Fuente: Rangel (2018).

La Figura 39 que se muestra a continuación, fueron los datos obtenidos por parte de la siembra en campo cerrado y con control en tiempo real para la temperatura ambiental y la temperatura del suelo.

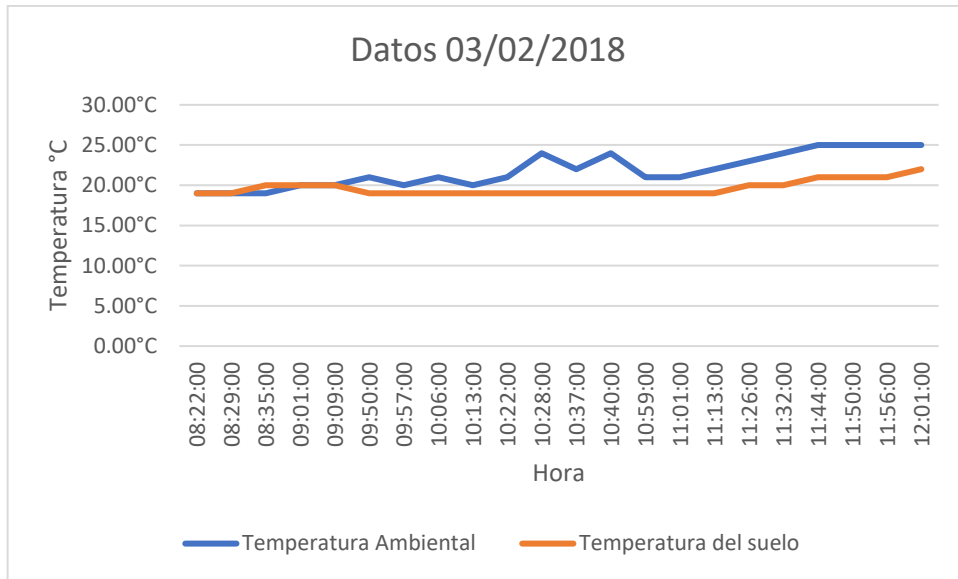


Figura 39: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo cerrado de temperatura ambiental y de suelo con oportunidad de control On-Off.

En la Figura 40 se observa el comportamiento de la humedad relativa del ambiente y de la humedad del suelo para el cultivo para el día 3 de Febrero de 2018.

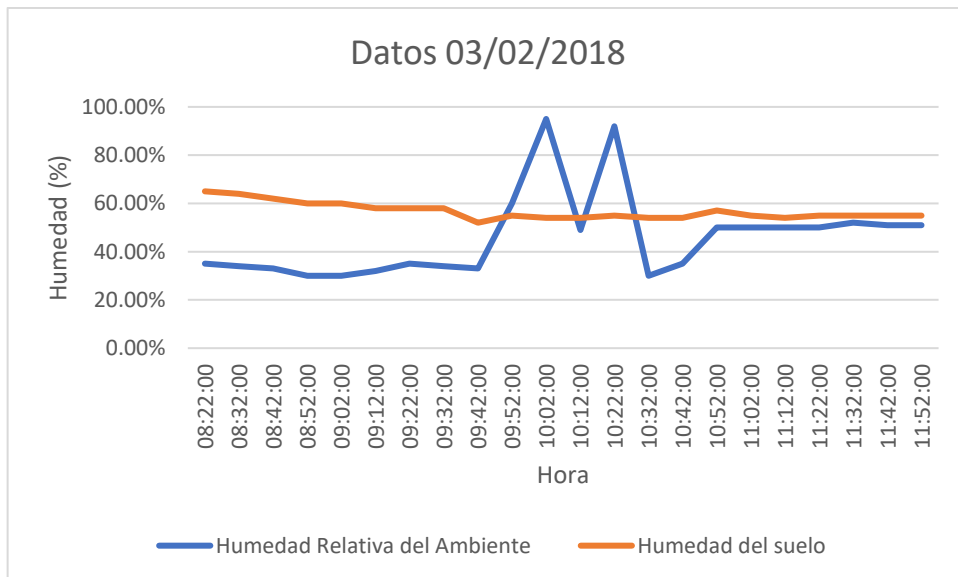


Figura 40: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo cerrado de humedad ambiental y de suelo con oportunidad de control On-Off.

Dentro de esta serie de mediciones por no contar con el dispositivo de control adecuado la temperatura del suelo de la siembra siempre se mantuvo por

debajo de sus rangos, pero efectivamente se verifico que el sistema ejecutaba las acciones de control a través del módulo de indicadores los cuales dictaban cual era el control a accionar. Para el caso de la humedad del suelo durante toda la ejecución del sistema esta se mantuvo entre 40% y 70% que según la Tabla 3 está dentro de sus rangos óptimos lo cual se puede observar en la Figura 40. Lo anteriormente expuesto indica que la humedad del suelo y la temperatura del suelo son variables de fácil control, no así para la humedad relativa del ambiente que es una variable de fácil cambio y que según la Tabla 3 sus rangos óptimos para el cultivo son elevados y complicados de obtener.

A medida paso el tiempo la siembra mantuvo su temperatura del suelo, pero aumento su temperatura ambiental un tanto, esto se originó dado a que por la temperatura del suelo estar muy baja se apagó el aire acondicionado y no se volvió a encender según los controles, además se abrió la puerta del cuarto de cultivo para que ingresara un mayor calor a la siembra y así tratar de calentar un poco el suelo, por ende, que el ciclo de medidas cierra con una temperatura de 25°C, cuando esta debía estar entre 15 y 21 grados centigrados. Los picos ascendentes de temperatura en el ambiente que se dieron entre las 10:20 am y las 11:00 am se deben a que se involucró la acción de ventilación humana con motivo a aumentar la humedad ambiental leída por el sensor DHT11, esto ocasiono a su vez que la temperatura medida aumentara ya que nuestro aliento y cuerpo no estaban a la misma temperatura que la del ambiente. Cabe destacar que para la humedad relativa del ambiente se registraron 2 picos ascendentes en sus valores llegando casi al 100%, estos corresponden a la acción que se realizó de una ventilación manual.

El sistema a campo abierto no es recomendable para el cultivo de champiñones, ya que estos no deben recibir iluminación de ningún tipo porque detienen su proceso de cultivo y fructificación, por lo tanto, no es recomendable sembrar champiñones en cultivos abiertos, sin embargo, se realizaron estas series de datos en campo abierto para probar el funcionamiento del sistema en condiciones diferentes y ver cómo responde el mismo ante estas circunstancias.

Debido a la falta de la realización del control a través de las válvulas y actuadores necesarios, estas mediciones en campo abierto no se pudieron controlar y se puede detallar en el gráfico de la Figura 41 como los valores de temperatura aumentaron en casi 5°C para el cambio del periodo de Pre Fructificación al de Inducción a la Fructificación, según la Tabla 3, durante todas las series de mediciones la temperatura ambiental estuvo fuera de su rango optimo, mientras que para la temperatura del suelo en el periodo de Germinación y de Pre Fructificación está por debajo de los rangos óptimos, para los otros 3 periodos aumenta la temperatura y se coloca dentro de los valores permitidos.

En el gráfico presentado en la Figura 40 se observan los valores para la humedad relativa del ambiente y del suelo en la siembra. Al estar expuesto la siembra al ambiente, esta depende enteramente de las condiciones del entorno, para el momento de la toma de mediciones se presentaba una brisa fuerte que impactaba con los sensores lo cual hace que el entorno se encuentre seco generando poca humedad y por lo tanto los valores para esta variable oscilaron entre 45% y 35%, sin embargo, para el caso de la humedad del suelo fue distinto, esta pudo mantenerse dentro de los rangos de 50% a 60%.

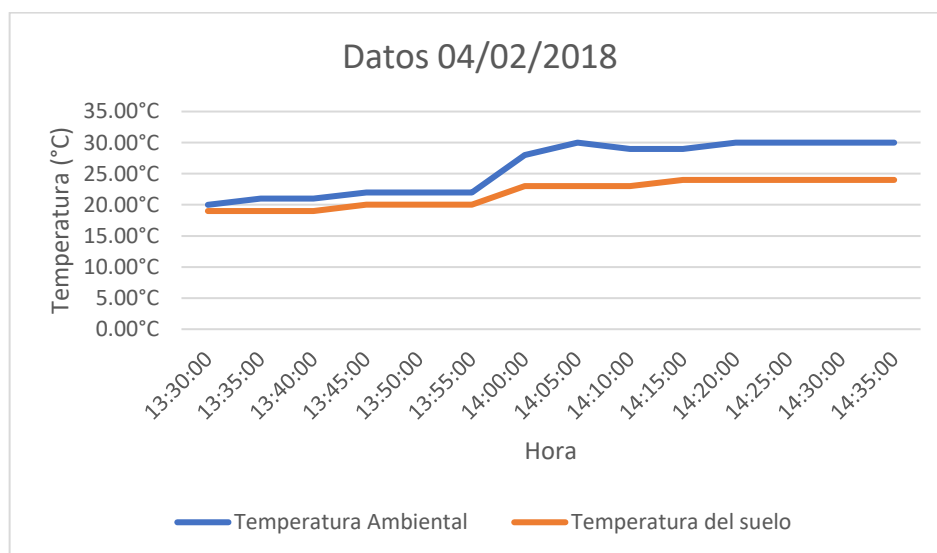


Figura 41: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo abierto de temperatura ambiental y de suelo sin oportunidad de control On-Off.

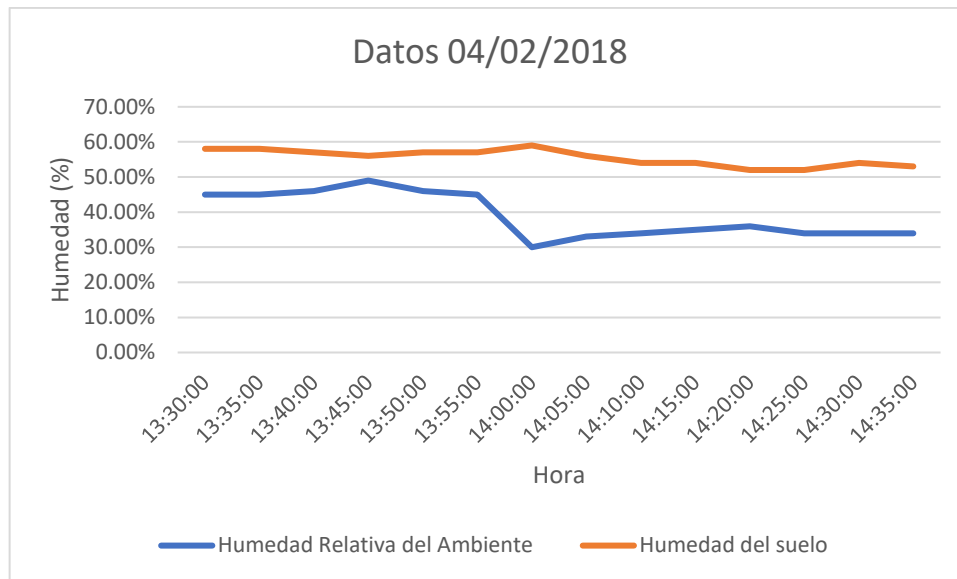


Figura 42: Grafico que representa los valores tomados para el sistema en campo abierto de humedad ambiental y de suelo sin oportunidad de control On-Off.

Todos los datos tomados y presentados en los gráficos anteriores demuestran el funcionamiento del sistema junto con los sensores, para medir y enviar a través de la red GPRS/GSM los datos obtenidos de la siembra y así poder tener tanto un monitoreo local a través de la interfaz y un monitoreo remoto bien sea vía mensajería de texto o página web sin embargo fueron mediciones realizadas con el sistema ejecutándose por periodos de tiempo cortos por ello es que a continuación, se presentaran los datos tomados del sistema tanto para campo abierto como para campo cerrado sin oportunidad de la ejecución de control pero con el sistema encendido, conectado y midiendo durante todo el día tomando muestras aleatorias entre el mismo.

En la siguiente Figura se muestra la adquisición de datos por parte del sistema para el cultivo en campo abierto sin control tomando las medidas de Humedad Ambiental y Humedad del Suelo.

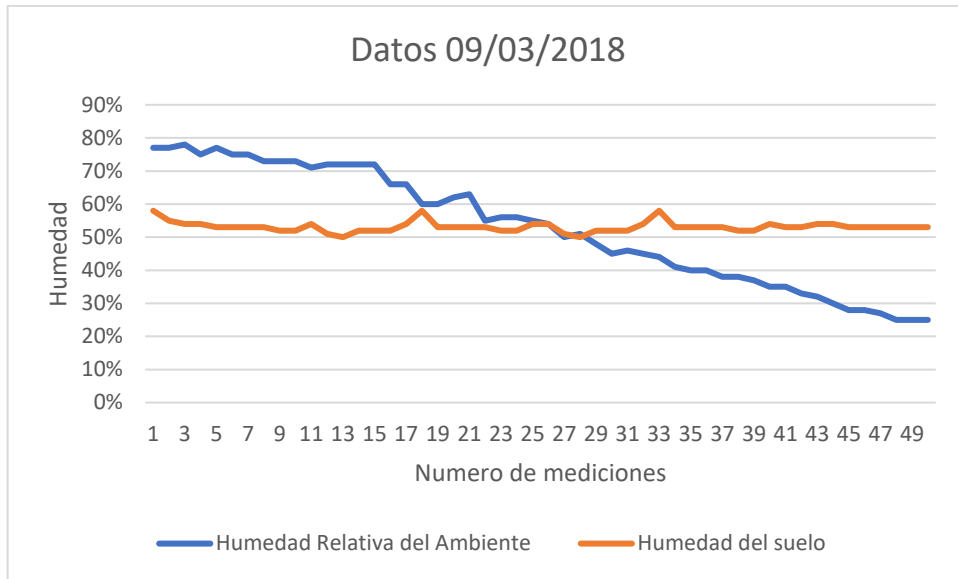


Figura 43: Grafico que representa los valores de la Humedad relativa del ambiente y del suelo para el día 09 de marzo del 2018.

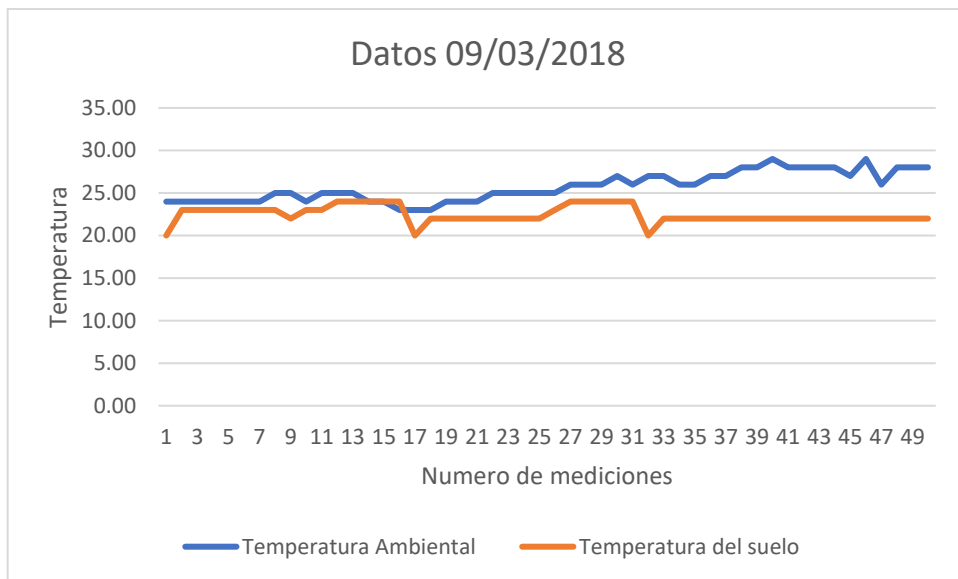


Figura 44: Grafico que representa los valores de la Temperatura ambiental y del suelo para el día 09 de marzo del 2018.

En la Figura 43 y 44 se puede observar ambos valores y como varían durante todo el tiempo de ejecución del sistema, se tomó solamente 50 muestras de forma aleatoria durante toda la ejecución del sistema para así determinar el comportamiento de las variables en el entorno en cuestión para ese día específico,

hay que agregar que estas mediciones se realizaron a campo abierto y sin posibilidad de control.

La Humedad relativa del ambiente fue la variable con mayor variación de las 4 variables medidas iniciando con casi un 80% y terminando con 15% aproximadamente, esto es debido a que en la mañana en el área donde se ejecutó el sistema presento una mayor humedad al inicio del día mientras que conforme paso el tiempo fue secándose el ambiente disminuyendo la humedad y si se observa en la Figura 44 también fue aumentando la temperatura ambiental, quedando así demostrado las ecuaciones planteadas en el capítulo 2 que se refieren a la humedad relativa del ambiente y su relación con la temperatura ambiental. Además, cómo el sistema está en campo abierto este depende de las condiciones ambientales exteriores las cuales son invariantes en tiempo y no determinísticas.

En la Figura 45 y 46 se observa los valores para la temperatura ambiental y del suelo y la humedad relativa del ambiente y la del suelo, en este caso la ejecución del sistema se dio en campo cerrado sin oportunidad de control.

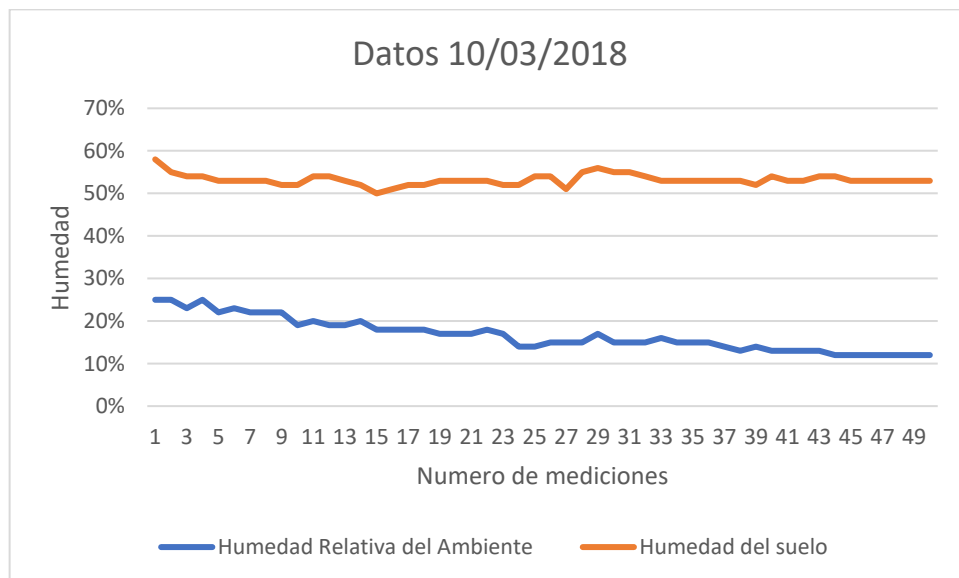


Figura 45: Grafico que expresa el valor de la Humedad relativa del ambiente y del suelo para el día 10 de Marzo del 2018 en campo cerrado sin oportunidad de control.

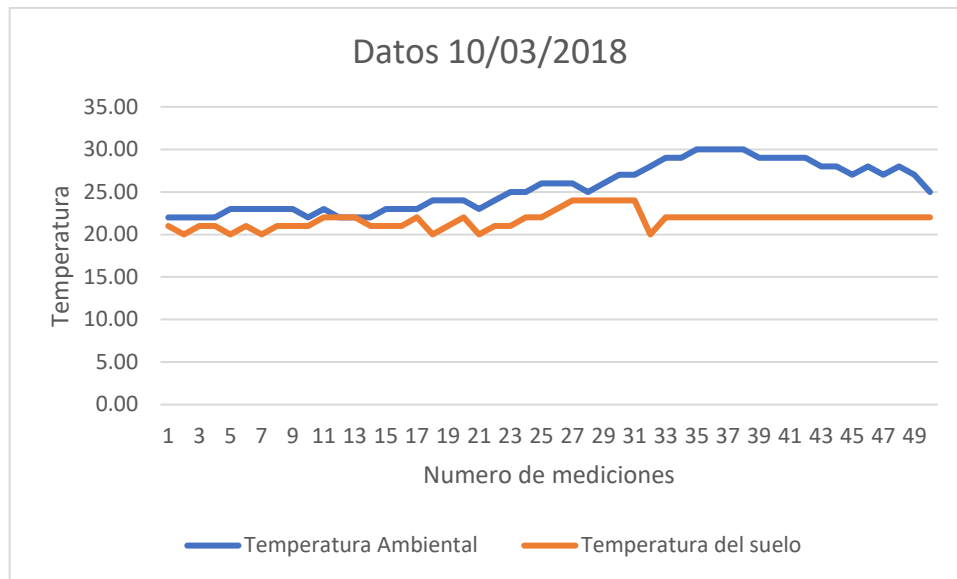


Figura 46: Grafico que expresa el valor de la temperatura del ambiente y del suelo para el día 10 de Marzo del 2018 en campo cerrado sin oportunidad de control.

En la Figura 45 se observa como varia la humedad relativa del ambiente conforme el día avanza y queda demostrado que el entorno exterior afecta al cuarto de cultivo a pesar de este ser un cuarto cerrado, para que esto no ocurra se implementan ciertos protectores y métodos en la estructura del cuarto que hacen que el cuarto de cultivo se vea lo menos afectado posible por el exterior. La humedad relativa del ambiente inicia con un valor del 25% y finaliza con un valor del 12%, estos se encuentran fuera de los rangos de cualquier periodo de cultivación para los champiñones, por ende, el módulo de LED siempre indico la acción de encendido del humificador, cabe destacar que el aire acondicionado siempre estuvo encendido en el cuarto de cultivo para tratar de disminuir la temperatura en el ambiente del champiñón lo cual ocasiono que el entorno se secara y disminuyera la humedad relativa del ambiente.

En los gráficos se puede observar también como la humedad del suelo y la temperatura del suelo son variables no volátiles que se mantienen estables durante largos periodos de tiempo y que su dinámica de cambio es muy leve, por lo tanto, se puede agregar que las variables más importantes a controlar dentro de este cultivo son la humedad relativa del ambiente y la temperatura ambiental, las cuales van relacionadas entre sí ya que un aumento en la temperatura ambiental



disminuye la humedad relativa del ambiente y un aumento en la humedad relativa del ambiente es ocasionado por unas bajas temperaturas ambientales. El sistema estuvo ejecutándose durante todo el día desde las mediciones del día 9 de Marzo del 2018 y hasta el día 12 de Marzo del 2018 sin presentar problemas en la ejecución de control, de la adquisición de datos y de las muestras de las variables mas no así con respecto a la comunicación que fallaba en algunas ocasiones debido a la infraestructura de la red móvil.

Aproximadamente de 10 envíos de información desde el sistema hacia Thingspeak llegaban 7 de forma satisfactoria y los 3 restantes no llegaban, además dentro de los 7 envíos que llegaban de forma satisfactoria 2 llegaban con retardo en tiempo de aquí que sea un medio de transmisión poco confiable para sistemas críticos pero que funciona de forma normal, efectiva y confiable en el 70% de los casos que no involucren sistemas críticos. En algunas ocasiones los problemas pueden ser por el proveedor de servicios y en otras tantas por el sistema o el módulo.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo pretende fomentar e incentivar la implementación de la electrónica dentro de los cultivos y/o siembra para fomentar nuevos desarrollos e implementaciones en el campo. Gracias a sensores digitales y analógicos, módulos de conexión inalámbrica para la transmisión de datos, unidades de control capaces de gestionar, administrar y controlar diferentes tareas se logró diseñar y evaluar un sistema de monitoreo y control para un cultivo de champiñones empleando un microcontrolador.

Se trabajó con diferentes sensores tanto analógicos como digitales que captaron las variables más importantes para el desarrollo del fruto, estos dispositivos presentaron un funcionamiento del 100% ya que durante todas las pruebas realizadas al sistema midieron y entregaron sus valores al microcontrolador para su posterior tratamiento, es decir, se logró operatividad e integración del 100% entre la adquisición de datos y la unidad de control. En los gráficos del Capítulo IV de este trabajo se observa la adquisición exitosa de datos por parte del sistema.

El sistema se empleó en diferentes ambientes, logrando la adquisición de datos y la ejecución de control de forma exitosa a pesar de que algunos de los sensores elegidos no fueron los mejores como se explicó en el Capítulo III de este trabajo, todos presentaron operatividad del 100%.

La transmisión de datos fue parte fundamental ya que sería la encargada de permitir la realización del monitoreo remoto, en este caso se usó un módulo de conectividad GSM/GPRS 2G siendo así esta una transmisión inalámbrica de datos e información. Específicamente se trabajó con las redes móviles proporcionadas por las compañías de telefonía Digitel Tim y Movistar, el dispositivo trabajo sobre la arquitectura GSM/GPRS 2G. El módulo SIM800L funcionó para la realización del monitoreo remoto dentro del sistema junto al microcontrolador, no obstante, su funcionamiento presentó algunas complicaciones ya que en ciertos momentos este fallaba en la transmisión de datos, se atribuyó esas fallas de transmisión a la

arquitectura 2G de la telefonía empleada que fue Digitel Tim sin embargo cumplió dentro de los alcances del presente trabajo enviando los datos al servidor web Thingspeak a través del protocolo HTTP utilizando la infraestructura GPRS, dando esto como resultado que el 70% de los datos fueron enviados y recibidos con éxito.

Se logró la transmisión de datos a través de mensajería de texto utilizando la arquitectura GSM de la red móvil empleada. En este caso la transmisión presento problemas para el envío y recepción debido a tiempos de procesamiento dentro del propio dispositivo y en algunas ocasiones de comunicación con el MCU, sin embargo, cada 3 de 5 números de teléfono recibían los datos solicitados por parte del sistema logrando así un 60% de efectividad en comunicación SMS.

Todas las rutinas de programación implementadas en el sistema trabajaron de forma satisfactoria logrando la adquisición de los datos, la ejecución de los controles, la transmisión y recepción de información, ejecución de los indicadores y la generación de alarmas. Todas estas rutinas que fueron desglosadas en funciones de configuración, adquisición y control se realizaron bajo el punto de vista de máquinas de estados.

Para la realización del control dentro del sistema se limitó a observar las directrices de control a través de un módulo de LED indicadores ya que por restricciones económicas y otras de mercado no se contaba con los elementos necesarios para la ejecución del control en tiempo real. Este módulo funciono correctamente junto al microcontrolador utilizado que fue un ARM Cortex-M4 de la empresa STMicroelectronics el cual rindió completamente dentro del sistema diseñado y desarrollado en este trabajo, tiempos de ejecución acordes a los requeridos, conversores analógicos-digitales con múltiples canales y con alta resolución, además de una gran cantidad de pines de entrada y salida.

## RECOMENDACIONES

Estudiando detalladamente los resultados obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones con el fin de aumentar la precisión del sistema, fiabilidad y lograr así un producto de calidad que pueda competir en el mercado:

- Mejorar el diseño de los circuitos impresos tanto para la interfaz de usuario como para cada uno de los sensores, colocando protecciones contra corrientes, de polarización, empleando materiales que puedan trabajar en ambientes húmedos, manteniendo el diseño compacto y ligero del sistema.
- Implementar los actuadores requeridos para el control del sistema, según el tipo de producción a implementar.
- Emplear un sistema operativo en tiempo real dentro del microcontrolador con el fin de realizar las tareas en tiempos muy cortos.
- Trabajar con un módulo de transmisión inalámbrica 3G para aumentar tanto la recepción como la transmisión de los datos.
- Integrar en el sistema un dispositivo GPS con el fin de obtener la ubicación exacta del cultivo.

## **BIBLIOGRAFIA**

Jiménez G, Daniel A. La importancia de la automatización en invernaderos para el cultivo de jitomate en el estado de morelos./ Jiménez Garrido Daniel Alfredo (tesis). –México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, 2011.

López F, Iván. Estudio de climatización en naves de cultivo de champiñon./ Iván López Fernández (tesis). –La Rioja, España: Universidad de la Rioja, 2014.

Muñoz C, Cesar A. Factibilidad técnico-económica del cultivo del champiñon (*Agaricus Bisporus* Lange), en la provincia de Valdivia, Décima Región, Chile./ Cesar Antonio Muñoz Cifuentes (tesis). –Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, 2005.

Alvarado, Iliana. Solano, Pablo. Desarrollo de un prototipo de sistema de control de aireado, nivel de agua, movimiento de nutrientes y luz artificial por medio de un PLC y control y visualización del tiempo estimado para la cosecha del cultivo por medio de un PIC, para cultivos hidropónicos de raíz flotante en aplicaciones de agricultura familiar urbana./ Alvarado Iliana y Solano Pablo (tesis). –Nueva Esparta, Venezuela: Universidad de Nueva Esparta, 2011.

Erik López Contini. Cultivo del champiñon, la trufa y otros hongos, Editorial AEDOS, s,f de publicación.

José Manuel Hernández Benedi, El Champiñon, Madrid: Publicaciones de capacitación agraria, Ministerio de Agricultura de España, s,f de publicación.

Sánchez, José E. Royse, Daniel J. Lara, Hermilo L. Cultivo, mercadotecnia e inocuidad alimenticia de *Agaricus Bisporus*, Chiapas: ECOSUR, 2007.

Eric Boa, Los hongos silvestres comestibles perspectiva global de su uso e importancia para la población, Roma: FAO, 2005.

Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales, Vol. 1, 2014, 10 p.

Hernández R, Libardo E. Pineda, Wilman. Bayona R, Dariel A. Sistema de control de humedad y temperatura para invernaderos, Duitama: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, s,f de publicación.

Universidad del Zulia, Revista de la facultad de agronomía de la Universidad del Zulia [en línea]. [http://revfacagronluz.org.ve/v15\\_3/v153z003.html](http://revfacagronluz.org.ve/v15_3/v153z003.html) [consulta: 2017/05/29].

<http://www.zoetecnocampo.com>, Cultivo comercial del champiñon [en línea]. <http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/champi/champi8.htm> [consulta: 2017/06/02].

Champedro, Champiñones San Pedro [en línea]. <http://hongos.com.ve/> [consulta: 2017/09/02].

INECOL, Instituto de Ecología, Ectomicorrizas, asociaciones benéficas entre hongos y raíces de árboles en el suelo de nuestros bosques [en línea]. <http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/328-ectomicorrizas-asociaciones-beneficas-entre-hongos-y-raices-de-arboles-en-el-suelo-de-nuestros-bosques> [consulta: 2017/05/09].

Fernández M, Francisco, Manual práctico de producción comercial de champiñon, Jalisco, México, 2005.

Manual de referencia: Versión (4.0). STM32F401xB/C y STM32F401xD/E advanced ARM -based 32-bit MCUs. /STMicroelectronics, Reino Unido, 2015, 841 p.

Manual de usuario: Versión (11.0). User Manual STM32 Nucleo-64 board. /STMicroelectronics, Reino Unido, 2016, 69 p.

Manual de referencia: Versión (4.0). Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. /Maxim Integrated, Estados Unidos de América, 2015, 20 p.

Manual de referencia: Versión (1.0). Sim800L Hardware Design. / SimCom, China, 2013, 70 p.

Manual de referencia: Versión (1.09). Sim800 series AT command. /SimCom, China, 2015, 380 p.

Nota de aplicación: Versión (1.0). Using a Z8051 UART to implement a 1-wire master with multiple slaves. /zilong company, Estados Unidos de América, s.f de publicación, 25 p.

Nota de aplicación: Versión (1.0). Sim800 series IP. /SimCom, China, 2013, 21 p.

Nota de aplicación: Versión (1.0). Sim800 TCP/IP. /SimCom, China, 2013, 32 p.

Nota de aplicación: Version (1.0). Understanding and using cycle redundancy checks with Maxim 1-Wire and iButton products. /Maxim Integrated, Estados Unidos de América, 2005, 18 p.

## **ANEXOS**