

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DE LAS
VARIABLES AMBIENTALES REQUERIDAS EN EL CRECIMIENTO DEL
HONGO SHIITAKE**

**OSCAR ORLANDO ARISMENDI OSORIO
322978**

**ANDRÉS FELIPE MONTES ALVAREZ
321861**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2021**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DE LAS
VARIABLES AMBIENTALES REQUERIDAS EN EL CRECIMIENTO DEL
HONGO SHIITAKE**

**OSCAR ORLANDO ARISMENDI OSORIO
322978**

**ANDRÉS FELIPE MONTES ALVAREZ
321861**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:
INGENIERO MECÁNICO**

**Director del proyecto
Ing. EDWIN JESUS CORDOBA TUTA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA – SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2021**

DEDICATORIA

Oscar Orlando Arismendi Osorio

Principalmente, le dedico este proyecto de grado a Dios por ser la luz y esperanza que guía mis pasos. Asimismo, le dedico este trabajo de investigación a mis abuelos, Aurelio y Julio, por ser mis ángeles protectores desde el cielo, siempre estarán en mi mente y corazón. A mi novia, Karen, la mujer que amo. A mi hermana, Laura, mujer ejemplar en todo el sentido de la palabra. Finalmente, a mis padres, Orlando y Genys, son mi ejemplo a seguir, Dios no me pudo haber dado unos mejores padres, estaré agradecido con ustedes eternamente.

Andrés Felipe Montes Alvarez

Este trabajo investigativo lo quiero dedicar a Dios por darme fortaleza, salud y sabiduría en todo tiempo y principalmente, en el estudio de mi pregrado. A mi madre quien me formó con los mejores valores y principios, su tenacidad es mi mayor inspiración. Sus consejos y palabras de aliento mi motor. A mi hermano Jairo, quien ha sido mi mayor ejemplo, con sus acciones siempre ha procurado mi bienestar, deseo llegar a ser tan honorable como él. Por último, a mi novia, quien constantemente me ha dado ánimos y con su valentía y lealtad me ha enseñado que debo ser apasionado con lo que me propongo y que los sueños se pueden cumplir con esfuerzo y dedicación.

AGRADECIMIENTOS

Oscar Orlando Arismendi Osorio

En primer lugar, doy gracias a Dios por protegerme, bendecirme y guiarme por el camino del bien en todo momento y aspecto de mi vida; tengo fe de que con él nada es imposible. Gracias a mi director de tesis, el ingeniero Edwin Jesús Córdoba Tuta, por orientarme en todo este proceso, brindarme su confianza y compartir todos sus conocimientos; es una persona excepcional. Gracias a mis amigos, Arley León, Duvan Vesga y Andrés Montes, por su lealtad, por los momentos y experiencias vividos, por ser mi apoyo incondicional dentro de la universidad y fuera de ella. Gracias a mi novia, Karen, por su compañía, amor y motivación, que en conjunto son la ecuación perfecta de una mujer que me da fuerzas para soñar y luchar por un mejor futuro. Gracias a mi hermana, Laura, por su apoyo y por ser mi ejemplo a seguir de que con perseverancia y amor por lo que se hace todo se puede lograr en esta vida. Finalmente, gracias a mis padres, Orlando y Genys, por haber forjado el hombre que soy hoy en día; por su confianza, paciencia, amor, apoyo y esfuerzo para poder tener hoy en día la posibilidad de soñar con un futuro lleno de éxitos; por enseñarme, con ejemplos, todos los valores esenciales que debo tener claros a lo largo de la vida; por siempre estar ahí en las buenas y en las malas, y ser mi motor para nunca rendirme. Este título de pregrado como Ingeniero Mecánico les pertenece en la misma proporción que a mí, gracias de todo corazón.

Andrés Felipe Montes Alvarez

Primeramente, doy gracias a Dios por cumplir sus promesas, por ser mi guía y forjar mi camino por el sendero correcto. A mi familia por ser promotores de mis proyectos, gracias a ellos por confiar en mí y estar dispuestos a acompañarme en cada designio que emprendo. A mis amigos Julián y Cristian, por sus innumerables ayudas a lo largo de mi carrera universitaria, por los momentos compartidos y por motivarme a creer en mí. A mi compañero de tesis, Oscar, quien ha sido mi mano derecha durante todo este tiempo, culminar juntos este proyecto es motivo de una felicidad sempiterna. También tengo profunda gratitud con mi director Edwin Córdoba, por orientarme durante este proceso, pues su inmensurable conocimiento ha hecho que esto parezca menos complicado. El desenlace de este trabajo ha sido superior al esperado y gran parte de eso se lo debo a él. A Viviana, mi novia, por guiarme por el camino correcto, dándome sus oportunos consejos, por ser mi piedra angular, su amor, comprensión y paciencia fueron fundamentales para concluir con éxito mi carrera.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. ANTECEDENTES	3
4. MARCO TEÓRICO	5
4.1. Hongo Shiitake (Lentinula Edodes)	5
4.1.1. <i>Ciclo de vida</i>	5
4.1.2. <i>Estructura general de los hongos</i>	7
4.1.3. <i>Propiedades nutricionales y características</i>	7
4.1.4. <i>Países productores y consumidores</i>	8
4.2. Proceso de cultivo	9
4.2.1. <i>Etapas del proceso de cultivo</i>	9
4.2.2. <i>Condiciones ambientales a tener en cuenta</i>	12
4.2.3. <i>Sustratos y materiales complementarios</i>	13
4.2.4. <i>Pulpa de café para producir setas</i>	13
4.2.5. <i>Superficies aptas para el cultivo</i>	14
4.3. Condiciones ambientales que pueden perjudicar el proceso de cultivo	14
4.3.1. <i>Efectos de la temperatura</i>	14
4.3.2. <i>Efectos de la humedad relativa</i>	15
4.3.3. <i>Efectos de la luminosidad</i>	15
4.4. Beneficios para la salud humana	15
4.5. Arduino	16
5. METODOLOGÍA	17
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
6.1. Componentes del sistema de control y supervisión	19
6.2. Construcción de la caja controladora	20
6.2.1. <i>Paso a paso de la construcción de la caja controladora</i>	20
6.2.2. <i>Secciones que componen la caja controladora</i>	22
6.3. Adecuación del recinto a controlar y supervisar (container)	25
6.3.1. <i>Ubicación geográfica</i>	25
6.3.2. <i>Construcción y especificaciones del container</i>	26

6.3.3. <i>Explicación de los componentes instalados al interior del recinto</i>	27
6.4. Programación del sistema de control y supervisión.....	30
6.4.1. <i>Diseño del sistema eléctrico, electrónico y de control</i>	30
6.4.2. <i>Programación</i>	32
6.5. Interfaz del software diseñado para ejecutar el sistema de control y supervisión	40
6.5.1. <i>Explicación general de la interfaz</i>	40
6.5.2. <i>Función de cada “botón” del menú principal de la aplicación Shiitake V1.0</i>	41
6.5.3. <i>Explicación del menú emergente para la configuración de etapas y/o variables ambientales</i>	43
6.5.4. <i>Explicación general de la interfaz de gráficas en tiempo real</i>	44
6.5.5. <i>Recomendaciones de uso de la aplicación Shiitake V1.0</i>	44
6.6. Pruebas de funcionamiento.....	45
6.6.1. <i>Prueba de validación del sensor de humedad relativa y temperatura (HTU21D)</i>	45
6.6.2. <i>Prueba de temperatura N°1</i>	46
6.6.3. <i>Prueba de temperatura N°2</i>	49
6.6.4. <i>Prueba de temperatura N°3</i>	52
6.6.5. <i>Prueba de humedad N°1</i>	55
6.6.6. <i>Prueba de humedad N°2</i>	58
6.6.7. <i>Prueba final</i>	62
7. CONCLUSIONES.....	66
8. RECOMENDACIONES.....	67
9. LISTA DE REFERENCIAS	68
10. ANEXOS	70
10.1. Datasheet links	70
10.2. Planos de corte.....	71
10.3. Simulaciones virtuales.....	72
10.4. LOG prueba final.....	72
10.5. Código fuente	81

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Condiciones ambientales requeridas para el cultivo del hongo Shiitake .	12
Tabla 2: Componentes activos del Shiitake	15
Tabla 3: Componentes del sistema de control y supervisión	19
Tabla 4: Comandos comunicación serial	35
Tabla 5: Datos prueba N°1 (Temperatura vs Tiempo).....	47
Tabla 6: Datos prueba N°2 (Temperatura vs Tiempo).....	50
Tabla 7: Datos prueba N°3 (Temperatura [con calentador] vs Tiempo).....	53
Tabla 8: Datos prueba N°1 (Humedad [sin aire acondicionado] vs Tiempo)	56
Tabla 9: Datos prueba N°2 (Humedad vs Tiempo)	59

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Hongo Shiitake	5
Figura 2: Ciclo de vida del Shiitake	6
Figura 3: Estructura general de los hongos	7
Figura 4: Método de producción desde la mezcla del sustrato hasta la cosecha de los cuerpos fructíferos	9
Figura 5: Tarjeta Arduino MEGA 2560 – Vista frontal.....	16
Figura 6: Diagrama de bloques – Metodología	18
Figura 7: Tarjeta Arduino MEGA 2560 – Vista posterior	19
Figura 8: MicroSD Card Adapter Catalex	19
Figura 9: Módulo adaptador PCF8574	19
Figura 10: Pantalla LCD HD44780U	20
Figura 11: Sensor de humedad relativa y temperatura HTU21D	20
Figura 12: Sensor de luz BH1750.....	20
Figura 13: Sensor de CO ₂ CCS811	20
Figura 14: Sensor de presión MPL115A2.....	20
Figura 15: Reloj en tiempo real DS3231	20
Figura 16: Caja superior	22
Figura 17: Caja inferior	22
Figura 18: Base de control	22
Figura 19: Base de potencia	22

Figura 20: Base de sensores.....	23
Figura 21: Ensamble base de control.....	23
Figura 22: Ensamble base de potencia	23
Figura 23: Ensamble interno de la caja (control y potencia)	23
Figura 24: Ensamble base de sensores	24
Figura 25: Simulación virtual – Ensamble general externo.....	24
Figura 26: Simulación virtual – Ensamble general interno	24
Figura 27: Ensamble general	24
Figura 28: Vista superior de la ubicación del container con respecto al CDT	25
Figura 29: Vista lateral de la ubicación del container con respecto al CDT	25
Figura 30: Recinto (container) – Vista frontal.....	26
Figura 31: Recinto (container) – Vista lateral.....	26
Figura 32: Recinto (container) – Vista superior	26
Figura 33: Estructura de los paneles empleados en la construcción del container	27
Figura 34: Calentador eléctrico.....	28
Figura 35: Sistema de humidificación diseñado	29
Figura 36: Rango de colores dentro del espectro de luz visible.....	30
Figura 37: Diagrama de bloques sistema de control.....	31
Figura 38: Cableado del sistema de control.....	32
Figura 39: Diagrama de flujo sistema de control	33
Figura 40: Diagrama de relación de las clases	34
Figura 41: Aplicación ejecutándose en Windows 10.....	35

Figura 42: Aplicación ejecutándose en Ubuntu 20.04.....	35
Figura 43: Interfaz general de la aplicación Shiitake V1.0.....	40
Figura 44: Detalle del menú de "botones" de la aplicación Shiitake V1.0	41
Figura 45: Menú emergente para la configuración de etapas y/o variables ambientales	42
Figura 46: Detalle de la opción "Modificar etapa"	42
Figura 47: Interfaz de gráficas en tiempo real de la aplicación Shiitake V1.0	43
Figura 48: Validación lectura de la variable temperatura	45
Figura 49: Validación lectura de la variable humedad	45
Figura 50: Condiciones aplicación Shiitake V1.0 – Prueba N°1 (Temperatura vs Tiempo).....	46
Figura 51: Gráfica prueba N°1 (Temperatura vs Tiempo)	47
Figura 52: Condiciones aplicación Shiitake V1.0 – Prueba N°2 (Temperatura vs Tiempo).....	49
Figura 53: Gráfica prueba N°2 (Temperatura vs Tiempo)	50
Figura 54: Condiciones aplicación Shiitake V1.0 – Prueba N°3 (Temperatura [con calentador] vs Tiempo)	52
Figura 55: Gráfica prueba N°3 (Temperatura [con calentador] vs Tiempo).....	53
Figura 56: Condiciones aplicación Shiitake V1.0 – Prueba N°1 (Humedad [sin aire acondicionado] vs Tiempo)	55
Figura 57: Gráfica prueba N°1 (Humedad [sin aire acondicionado] vs Tiempo) ...	56
Figura 58: Condiciones aplicación Shiitake V1.0 – Prueba N°2 (Humedad vs Tiempo).....	58
Figura 59: Gráfica prueba N°2 (Humedad vs Tiempo).....	59
Figura 60: Interfaz de gráficas en tiempo real de la aplicación Shiitake V1.0 – Control manual de humedad	60

Figura 61: Condiciones aplicación Shiitake V1.0 – Prueba final (Variables ambientales vs Tiempo).....	62
Figura 62: Gráfica prueba final (Variables ambientales vs Tiempo)	63
Figura 63: Gráfica prueba final (Variables ambientales vs Tiempo) – Vista de detalle a los valores de Temperatura y Humedad.....	64

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES REQUERIDAS EN EL CRECIMIENTO DEL HONGO SHIITAKE

AUTOR(ES): Oscar Orlando Arismendi Osorio
Andrés Felipe Montes Alvarez

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): Ing. Edwin Jesús Córdoba Tuta

RESUMEN

La problemática detectada para el proyecto de grado en cuestión es la muerte prematura y/o la no correcta cosecha del hongo Shiitake en su proceso de cultivo; ya sea por factores ambientales, humanos o tecnológicos. Por ende, el trabajo de investigación está direccionado a atacar lo dicho anteriormente, garantizando y proporcionando las condiciones especiales y específicas necesarias para la correcta evolución del hongo Shiitake en un recinto cerrado de cultivo automatizado (container). Por su parte, en la actualidad el ser humano enfrenta una serie de problemáticas relacionadas con la salud de su organismo. Debido a esto, con el pasar de los años ha venido tomando fuerza la búsqueda de métodos medicinales naturales. Es aquí donde toma un papel importante el hongo Shiitake (*Lentinula Edodes*), ya que este aporta una gran gama de beneficios a la comunidad en general, atacando enfermedades y otros factores. Por tal motivo, se diseñó una aplicación llamada Shiitake V1.0 mediante Qt y Arduino para ejecutar el control ambiental de un recinto cerrado. Es así, como se llevaron a cabo una serie de pruebas con el fin de analizar el control y comportamiento de las variables ambientales, tales como: temperatura, humedad, luminosidad y concentración de dióxido de carbono (CO₂). Aclarando que las pruebas arrojaron que la variable de humedad es la más compleja a la hora de controlar. Finalmente, se logró garantizar un ambiente controlado en su totalidad dentro del recinto cerrado, sin importar las condiciones ambientales externas. Dando de esta forma plena seguridad y confianza de que el hongo Shiitake será capaz de cultivarse bajo las condiciones ideales que requiere, cumpliendo los estándares de calidad que se esperan en torno al producto.

PALABRAS CLAVE:

Hongo, Shiitake, Control, Arduino, Variables ambientales, Recinto

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF CONTROL AND SUPERVISION OF THE ENVIRONMENTAL VARIABLES REQUIRED IN THE GROWTH OF SHIITAKE MUSHROOM

AUTHOR(S): Oscar Orlando Arismendi Osorio
Andrés Felipe Montes Alvarez

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Ing. Edwin Jesús Córdoba Tuta

ABSTRACT

The problem detected for the degree project in question is the premature death and / or the incorrect harvest of the Shiitake mushroom in its cultivation process; either due to environmental, human or technological factors. Therefore, the research work is aimed at attacking the aforementioned, guaranteeing and providing the special and specific conditions necessary for the correct evolution of the Shiitake mushroom in a closed enclosure of automated cultivation (container). On the other hand, at present the human being faces a series of problems related to the health of his organism. Due to this, over the years the search for natural medicinal methods has been gaining strength. It is here where the Shiitake mushroom (*Lentinula Edodes*) plays an important role, since it brings a wide range of benefits to the community in general, attacking diseases and other factors. For this reason, an application called Shiitake V1.0 was designed using Qt and Arduino to execute the environmental control of a closed room. Thus, a series of tests were carried out in order to analyze the control and behavior of environmental variables, such as: temperature, humidity, luminosity and concentration of carbon dioxide (CO₂). Clarifying that the tests showed that the humidity variable is the most complex to control. Finally, it was possible to guarantee a fully controlled environment within the closed area, regardless of external environmental conditions. Giving in this way full security and confidence that the Shiitake mushroom will be able to be cultivated under the ideal conditions it requires, meeting the quality standards that are expected around the product.

KEYWORDS:

Mushroom, Shiitake, Control, Arduino, Environmental Variables, Enclosure

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo del hongo Shiitake como fuente de tecnología e innovación en la producción de un alimento y medicina ancestral, presenta ventajas económicas en su producción, tales como: la utilización de residuos agrícolas y forestales, así como el precio en el mercado global, manejado por Japón, Taiwán y China. La explotación industrial y comercial del hongo Shiitake se ha extendido ampliamente en Europa y América, ocupando el tercer lugar en la escala de producción de hongos comestibles y medicinales del mundo [1].

La mayoría de nosotros consume hongos comestibles por su excelente sabor, aroma, y textura. Sin embargo, es poco conocido su gran potencial como alimento funcional con propiedades nutricionales y medicinales que promueven la salud. Estas propiedades son únicas y diferentes a las aportadas por otros alimentos ampliamente consumidos, ya que los hongos constituyen un reino de la naturaleza independiente de las plantas y los animales [2].

La falta de disponibilidad y accesibilidad a lugares diseñados específicamente al desarrollo de cultivos agrícolas mediante ambientes controlados en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, motivó a la realización de un proyecto de grado como este, un trabajo de investigación que se espera impulse la implementación de nuevas tecnologías que brinden conocimiento, confiabilidad y una mayor calidad en la elaboración de productos agroindustriales que sean complejos de cultivar en condiciones normales. Del mismo modo, este trabajo puede servir de ayuda a futuras generaciones de estudiantes que deseen entrar al mundo de la automatización de procesos. Por su parte, se espera atraer miradas externas con la obtención de buenos resultados, y así dejar abierta la posibilidad a la universidad de implementar una línea de producción de cultivos de hongos Shiitake (en este caso), o incluso de abrir la posibilidad de nuevos laboratorios o materias que ahonden más en este tema.

Por último, dadas las razones anteriores, se piensa diseñar e implementar una aplicación con herramientas multiplataformas y tarjeta Arduino para ejecutar el control ambiental del recinto. Planteando la realización de pruebas con el fin de analizar el control y comportamiento de las variables ambientales, tales como: temperatura, humedad, luminosidad y concentración de dióxido de carbono (CO₂). Con el objetivo claro de lograr garantizar un ambiente controlado en su totalidad dentro del recinto cerrado, sin importar las condiciones ambientales externas. Y de esta forma aportar al crecimiento de la producción de productos agrícolas mediante la rama de automatización de procesos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de control y supervisión de variables ambientales en un recinto cerrado mediante una tarjeta de desarrollo y su hardware periférico; con el fin de mantener unas condiciones adecuadas para la correcta producción del hongo Shiitake.

2.2. Objetivos específicos

- Establecer las condiciones ambientales adecuadas de un recinto cerrado para el cultivo del hongo Shiitake mediante una revisión bibliográfica.
 - **Resultado:** Documento que contiene los rangos adecuados de las condiciones ambientales en que debe estar expuesto el hongo Shiitake en cada una de las etapas de crecimiento.
 - **Indicador:** Las variables tenidas en cuenta son la temperatura, la humedad relativa, la luminosidad, la concentración de dióxido de carbono (CO₂) y el tiempo.
- Acondicionar un recinto cerrado con sensores, actuadores y un sistema de control con el fin de poder medir y controlar las condiciones ambientales.
 - **Resultado:** Recinto cerrado acondicionado con sensores y sistema de control.
 - **Indicador:** El recinto cerrado acondicionado será aproximadamente de 10 pies.
- Programar el sistema de control de acuerdo a las condiciones ambientales que necesita el hongo Shiitake para cada etapa de crecimiento.
 - **Resultado:** Documento con el código fuente del programa de control y supervisión realizado.
 - **Indicador:** El código fuente obtenido estará realizado para la arquitectura ARDUINO.
- Evaluar el funcionamiento del sistema de control y supervisión del recinto de acuerdo a las condiciones programadas verificando un correcto crecimiento del hongo Shiitake.
 - **Resultado:** Documento con el resultado de las pruebas de funcionamiento del sistema de supervisión y control.
 - **Indicador:** Se realizará solo una prueba de funcionamiento desde el cultivo hasta la obtención del hongo.

3. ANTECEDENTES

En el año 2012, se publicó un estudio orientado a proporcionar información importante para detallar el proceso de construcción de una sala donde se tuvo en cuenta cada una de las variables más relevantes para el control del hongo Shiitake como lo son la temperatura y la humedad. Esta se realiza de una manera inalámbrica a través del uso de sensores para así llegar a acoger una tecnología que haga eficiente el sistema productivo. Asimismo, otorga una breve introducción sobre las ventajas que tiene este hongo tanto para la humanidad como para la naturaleza [3].

Por su parte, otro artículo para tener en cuenta fue publicado en el año 2017. En esta ocasión se expone el estudio realizado en Irán, en donde el objetivo principal era buscar alternativas que permitieran la mejoría en los recursos tecnológicos utilizados en el cultivo de hongos. A su vez, el proyecto se enfocó en la búsqueda de los efectos a favor o en contra producidos por diferentes tipos de sustratos y materiales complementarios en las propiedades de las cosechas de setas de Shiitake. Dando como resultado que el mejor sustrato fue el serrín de roble (la mayor eficiencia biológica) y el mejor material complementario fue el salvado de trigo (la fructificación de mayor peso corporal) [4].

En la facultad de Ingeniería de la “Corporación Universitaria del Huila – CORHUILA” ubicada en la ciudad de Neiva, Colombia; se hizo una investigación que fue publicada en el año 2018. En ella se habló sobre la implementación de un sistema electrónico para la agricultura, con la finalidad de aumentar la eficiencia del cultivo. El objetivo trazado era mejorar el crecimiento de las plantas en condiciones específicas a través del control y la automatización. Por tal razón, se realizaron comparaciones de las plantas en las condiciones del nuevo sistema y en la intemperie donde se efectuaron seguimientos a partir del tiempo, logrando llegar a la conclusión de que se evidenció que para el nuevo sistema (bajo cubierta) las plantas tienen un brote de crecimiento mucho mayor [5].

Por otro lado, un estudio realizado en conjunto por científicos de diferentes nacionalidades (China y Canadá) logró determinar lo siguiente: Este artículo de investigación enuncia tres (3) diferentes métodos de secado (HAD, IIRD y VMSSD) que se pueden implementar en los cultivos de Shiitake. El objetivo principal es analizar y comparar la calidad (textura, color y capacidad de rehidratación) resultante de cada una de las técnicas de secado utilizadas; con el fin de mejorar la producción de estos hongos ya mencionados. Concluyendo, que el método de secado HAD es el peor y el método de secado VMSSD es el mejor [6].

En la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga en el año 2018 se realizó un proyecto de grado, el cual trató la temática central sobre la evaluación de la eficiencia de un sustrato con el fin de obtener grandes mejoras en el cultivo del

hongo Shiitake, en función de una combinación de residuos de pulpa de café y vaina de arveja, donde estos residuos no tienen ninguna funcionalidad después del uso de sus productos. Es por esto por lo que se plantea esta investigación, con el fin de reutilizar estos residuos en la creación de un sustrato para la formación de hongos, brindando beneficios como lo son sus vitaminas, minerales y compuestos bioactivos que contribuyen en mejorar la salud. Como resultado de esta investigación se obtiene que hubo carencia de cuerpos fructíferos en la creación del hongo, pero analizando más a fondo, se evidencia que a mayor cantidad de pulpa de café y menor vaina de arveja se logran mejores resultados de crear los cuerpos fructíferos [7].

Asimismo, en el año 2014 se publicó un proyecto de investigación que se enfocó en abordar la temática de tres (3) diferentes métodos de secado (MIRCD, HCRFD y HCMD) que se pueden utilizar a la hora de cultivar el hongo Shiitake, con el objetivo trazado de buscar la mejor calidad posible (color, textura, encogimiento, ritmo de rehidratación, retención de nutrientes, microestructuras, entre otras) posible en la producción de estos. Concluyendo, que la técnica de secado MIRCD fue la que obtuvo mejores resultados en sus muestras [8].

Finalmente, en el año 2018, en la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga se llevó a cabo una investigación sobre la implementación de residuos agrícolas, como lo son la borra de café y la tusa de maíz, en la determinación del sustrato con mayor eficiencia para los cultivos de hongo Shiitake. Así pues, partiendo de pruebas previamente realizadas entre la mezcla de los dos residuos se desarrollaron diversos experimentos, donde se mezclaban en diferentes proporciones estos dos componentes, enunciados anteriormente, cambiando de esta forma su porcentaje en peso con el fin de obtener una buena eficiencia con respecto al crecimiento del hongo Shiitake. Dejando como conclusión que la relación que obtuvo mejores resultados con respecto a los cuerpos fructíferos, la tasa de biodegradación y la longitud de pie del sombrero fue la de: 80% (100g) borra de café y 20% (25g) tusa de maíz [9].

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Hongo Shiitake (*Lentinula Edodes*)

El hongo Shiitake, conocido en el ámbito científico por el nombre de *Lentinula Edodes*, es un tipo seta de características comestibles, de color marrón o en su defecto de color negro. Este organismo vegetal perteneciente al reino Fungi, según la revista Mexicana de Micología [10] “Es el segundo hongo más importante entre las especies industrialmente cultivadas, sobre todo en países asiáticos”. Por su parte, el hongo Shiitake contiene un componente muy conocido por sus beneficios medicinales: El lentinan. “En Japón, el lentinan es una medicina anticancerígena aceptada” [11]. Finalmente, el Shiitake crece y/o se da por lo general en climas cálidos, ya sea como organismos individuales o en racimos sobre maderas duras en descomposición o muertas.

Figura 1: Hongo Shiitake



Fuente: Setas del hongo Shiitake (<https://setascanarias.com/setas-hongo-shiitake/>)

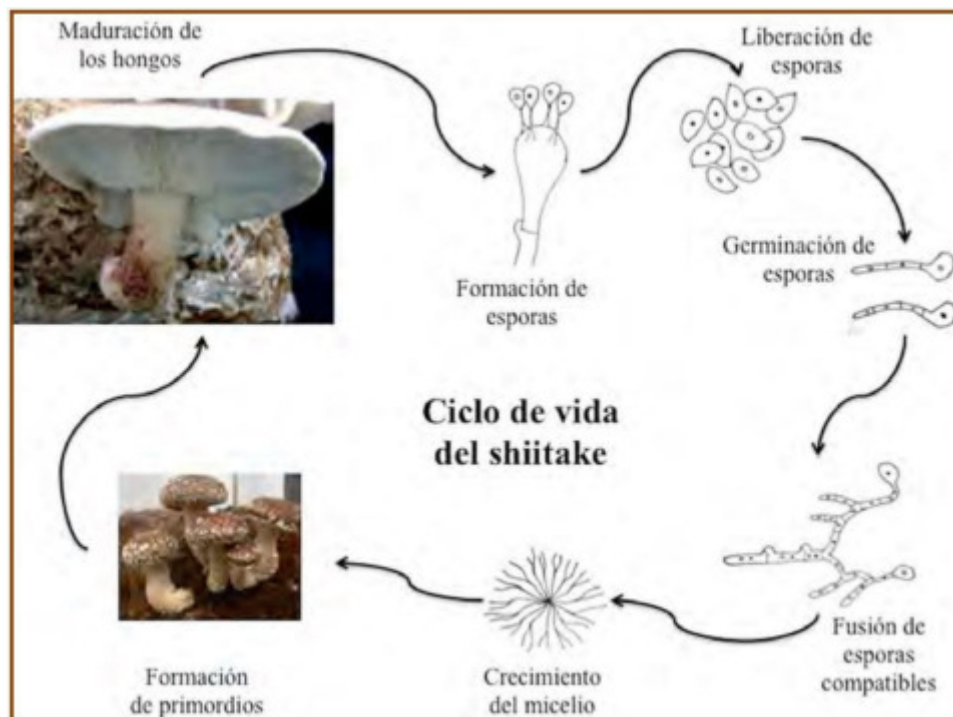
4.1.1. *Ciclo de vida*

El micelio del Shiitake, en condiciones de su hábitat natural, se desarrolla en troncos que se encuentran en estado de descomposición, de los cuales obtiene grandes beneficios, ya que estos son la fuente de nutrientes que necesita para su correcto crecimiento y reproducción. El micelio produce una cantidad considerable de enzimas que cumplen la primordial función de descomponer la madera, con el objetivo de facilitarle al hongo la absorción de los nutrientes que requiere para su supervivencia. Así pues, cuando las condiciones climáticas y/o ambientales son las adecuadas, primordialmente temperatura y humedad, el micelio tiene la capacidad de movilizar los nutrientes que tiene almacenados, y como resultado forma lo que

comúnmente conocemos con el nombre de hongos (basidiomas o cuerpos fructíferos).

Los autores Gerardo Mata, Rigoberto Gaitán Hernández y Dulce Salmones en su libro *El cultivo del Shiitake: tecnología e innovación en la producción de un alimento y medicina ancestral* explican de la siguiente forma el ciclo de vida del Shiitake [12]: “En los basidiomas, se formarán las esporas que serán dispersadas por el viento con la finalidad de encontrar nuevos sitios para colonizar y reproducir la especie. Un solo basidioma puede producir millones de esporas, sin embargo, la mayoría de ellas perecerán por efecto de la temperatura y la luz. Las esporas que logran germinar y establecerse en un sustrato con condiciones favorables producen un tipo de micelio llamado **micelio monocariótico**, este debe encontrar otro micelio monocariótico que sea genéticamente compatible para fusionarse con él y formar un nuevo micelio llamado **micelio dicariótico**. En los hongos superiores como el Shiitake, únicamente el micelio dicariótico es capaz de reproducir el ciclo completo y formar basidiomas. Este tipo de ciclo de vida es conocido como heterotalismo tetrapolar”.

Figura 2: Ciclo de vida del Shiitake



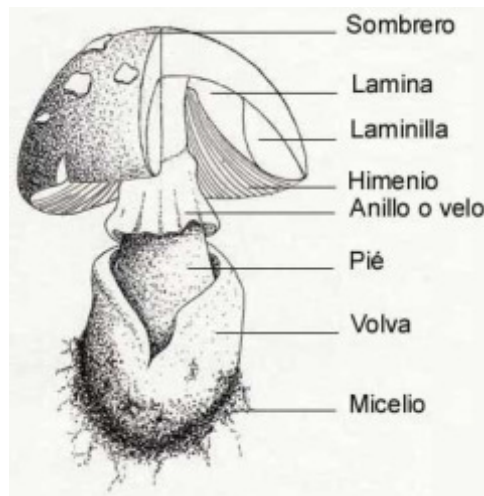
Fuente: El cultivo del Shiitake: tecnología e innovación en la producción de un alimento y medicina ancestral, 2020

4.1.2. Estructura general de los hongos

De manera general, la estructura general de los hongos está conformada por:

- Sombrero o píleo.
- Lámina.
- Laminilla.
- Himenio.
- Anillo o velo.
- Pie.
- Volva.
- Micelio.

Figura 3: Estructura general de los hongos



Fuente: Evaluación del crecimiento del hongo *Lentinula Edodes Berk Pegler* en residuos agroindustriales, 2007

4.1.3. Propiedades nutricionales y características

Las principales propiedades nutricionales y características que contemplan el amplio rango de investigación del hongo Shiitake son las siguientes:

- **Propiedades nutricionales [2]:**
 - ✓ Bajo en:
 - Glucosa.
 - Purinas.
 - Colesterol.
 - Sodio.

- Calorías.
- ✓ Fuentes de:
 - Fibra.
 - Proteína.
- ✓ Vitaminas A, B y D.
- ✓ Minerales:
 - Potasio.
 - Fosforo.
 - Hierro.
- ✓ Antioxidantes:
 - Cobre.
 - Selenio.
 - Zinc.

▪ **Características [13]:**

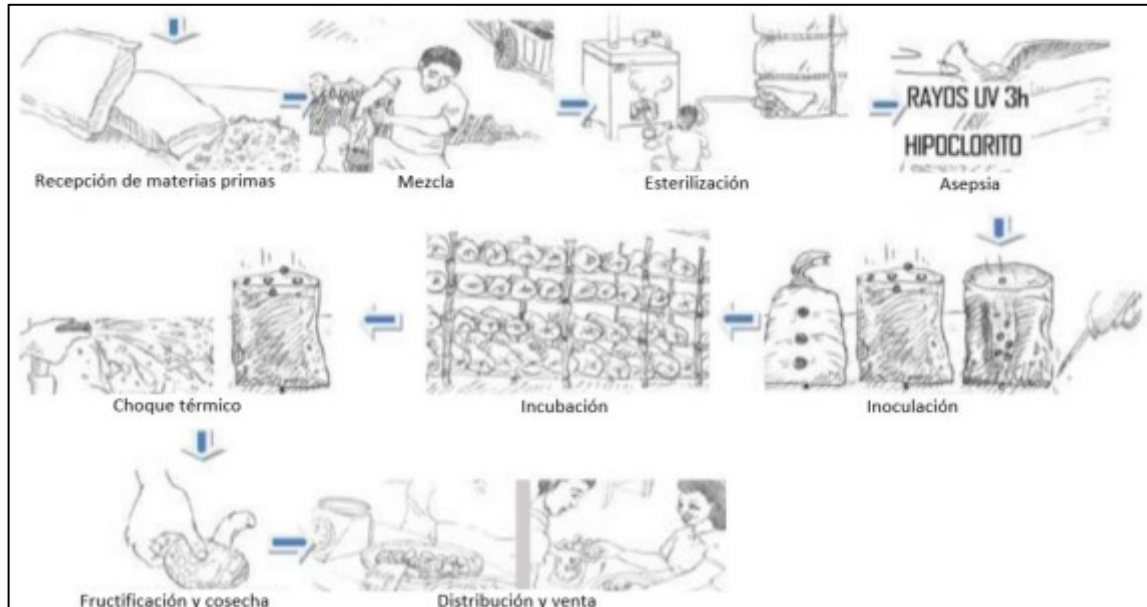
- ✓ Tamaño del sombrero: 5 a 25cm (semiesférico).
- ✓ Etapas de la forma del sombrero:
 - Irregular.
 - Enrollado.
 - Aplanado.
- ✓ Color:
 - Inicial: Café oscuro (casi negro).
 - Final: Café claro.
- ✓ Machas y/o pelusas:
 - Inicial: Color blanco.
 - Final: Color café.
- ✓ Aroma delicado.
- ✓ Buen sabor.

4.1.4. Países productores y consumidores

En la lista de productores de hongo Shiitake a nivel mundial se encuentran potencias tales como lo son China, Japón, Corea, Taiwán, entre otros; evidenciando que la producción de esta apetecida seta se enfoca principalmente en el continente asiático. Por su parte, la lista de consumidores se direcciona hacia el continente europeo, los países de norte América, China y Japón. Finalmente, el interés comercial que ronda en torno al hongo Shiitake se debe básicamente a la amplia lista de propiedades y/o valores nutricionales que aporta a la salud humana, volviéndolo muy atractivo a la vista de los consumidores.

4.2. Proceso de cultivo

Figura 4: Método de producción desde la mezcla del sustrato hasta la cosecha de los cuerpos fructíferos



Fuente: Estudio del efecto de la adición del estípite de Shiitake (*Lentinula Edodes* Berk Pegler) y de un extracto rico en sus polisacáridos sobre las cualidades nutricionales del antipasto, 2010

4.2.1. Etapas del proceso de cultivo

➤ Obtención del micelio

Es la etapa más delicada y crítica del proceso de cultivo. Por tal razón, es necesario garantizar condiciones de total limpieza, desinfección y aislamiento ante cualquier ente contaminante (esporas, bacterias, etc) que pueda perjudicar el proceso en el recinto donde se llevará a cabo el cultivo del hongo. Del mismo modo, es importante el hecho de poder contar con un ejemplar del hongo objetivo a cultivar (*Lentinula Edodes*), de excelente calidad en todas sus características, sin defectos fácilmente visibles y libre de cualquier contaminante que pueda influir en la calidad del micelio. “El proceso de obtención de micelio se basa en que los hongos pueden multiplicarse de manera asexual a partir un trozo del carpóforo y con ello volver a recrear el ciclo completo del hongo, asegurando las características fenotípicas y productivas del espécimen del cual provino” [14].

➤ **Elaboración del inóculo**

Al igual que en la fase anteriormente mencionada (obtención del micelio), en la elaboración del inóculo es necesario garantizar condiciones de asepsia y/o de completa desinfección en el recinto.

En primer lugar, la elaboración del inóculo se hace indispensable en el proceso de cultivo de cualquier hongo, en este caso en específico, del hongo Shiitake (*Lentinula Edodes*). Esta etapa del proceso de cultivo se realiza con el objetivo de facilitar la siembra del micelio o inoculación del sustrato definitivo en donde se dará el crecimiento y fructificación del hongo. “El inóculo o “semilla” lo constituye un sustrato intermedio que contiene micelio secundario del hongo, con características ideales para su multiplicación, provocar infección y colonización del sustrato definitivo” [14]. Cabe resaltar que, el sustrato intermedio se debe elegir dependiendo del tipo de hongo a cultivar; unos ejemplos de sustratos intermedios son: sorgo, trigo o aserrín hidratado de árboles latifoliados.

Es importante resaltar el hecho de que en el mercado existen proveedores especializados en la producción del inóculo; siendo esto algo muy práctico, debido a que cualquier persona puede adquirir el inóculo como si fuera una semilla. Ahorrando etapas en el proceso de cultivo, e iniciando a partir de la fase que a continuación se mencionará.

➤ **Preparación del sustrato**

“El proceso de preparación del sustrato consiste en humectarlo, desinfectarlo y desinfestarlo; con el propósito de eliminar micro y macroorganismos que puedan competir con el crecimiento del hongo, y brindar condiciones de humedad que favorezcan el desarrollo de las setas” [14]. Por su parte, al sustrato se le conoce como aquel material que aprovechan los hongos para su alimentación y posterior fructificación. Por ende, es importante resaltar el hecho de que dependiendo cuál sea el tipo de hongo con el que se esté trabajando, se podrá usar un amplio rango de sustratos, o en su defecto, tan solo unos pocos muy bien seleccionados. Es por ello, que a la hora de elegir un sustrato se debe tener en cuenta algunos de los siguientes factores y/o parámetros:

- Los nutrientes disponibles en él.
- La actividad microbiana que soporta.
- La acidez.
- Su contenido de agua.
- Su capacidad de aeración.

Debido a que existe una amplia diversidad de sustratos, en donde los hongos pueden efectuar sin problema alguno su proceso de cultivo, es por esta razón que se pueden aprovechar numerosos materiales de fácil acceso dependiendo de la

disponibilidad de la región en la que se esté trabajando; unos ejemplos de estos materiales son:

- Pulpa de café.
- Aserrín de encino.
- Cebada.
- Fibra de coco.
- Maíz.
- Trigo.
- Bagazo de caña.
- Avena.

➤ **Inoculación del sustrato**

“Inocular el sustrato es lo que comúnmente se le conoce como “siembra”, y consiste en mezclar el inóculo producido o adquirido en el mercado; con el sustrato definitivo” [14]. Resulta importante destacar el hecho de que al tener el sustrato inoculado correctamente, el siguiente paso a realizar es acomodarlo en algún contenedor, los cuales comúnmente resultan ser tocones de árboles, bandejas o bolsas; es aquí donde el micelio tendrá su etapa de crecimiento y brotarán de una vez por todas los carpóforos del hongo. Un dato a tener muy en cuenta es que la cantidad de inóculo a utilizar en el proceso de cultivo depende directamente con el tipo de hongo que se desee cultivar y/o producir. Por último, esta etapa del proceso de cultivo se debe realizar con sumo cuidado al detalle, con el fin de no presentar problemas de contaminación en lo que sería la siguiente fase del proceso, la incubación.

➤ **Incubación**

“La incubación es la etapa que permite la colonización del sustrato por el hongo, en condiciones de temperatura, luminosidad, ventilación y humedad óptimas, para obtener la mayor tasa de crecimiento posible” [14]. De igual forma, para el desarrollo del micelio existen parámetros que pueden influir, ya sea de forma positiva o negativa, estos son: la cantidad de inóculo y sustrato utilizado, el vigor y adaptación de la cepa, entre otros. Cabe resaltar que, el área designada para la etapa de incubación debe ser un ambiente limpio, en donde no exista riesgo alguno de posibles contaminaciones. Finalmente, en esta etapa del proceso de cultivo se recomienda estar monitoreando la “invasión” del micelio, esto con el propósito de detectar cualquier contenedor que presente coloraciones u olores no característicos del hongo que se está incubando; de presentarse esto, se deben evacuar de inmediato tales contenedores del área de incubación con el fin de evitar la propagación del contaminante detectado al resto de contenedores situados en el recinto.

➤ Fructificación

En el momento en el que se logra evidenciar que el micelio ya “colonizó” completamente el sustrato, es la señal que indica que se deben cambiar las condiciones ambientales a las más adecuadas para iniciar la etapa de fructificación. Ese cambio de condiciones ambientales se hace con el objetivo de inducir el brote y crecimiento de los primordios. “La fase de fructificación inicia con el apareamiento de pequeños corpúsculos en zonas de crecimiento crítico del micelio, llamados primordios” [14]. En esta etapa la condición ambiental que tiene mayor importancia es la humedad, es por tal razón que para esta fase del proceso de cultivo se debe lograr mantener altos porcentajes de humedad en el ambiente.

4.2.2. Condiciones ambientales a tener en cuenta

Dado que esta parte del documento es un objetivo específico planteado al inicio de la ejecución del proyecto de grado en cuestión, fue necesario la búsqueda y/o investigación en diversas fuentes académicas que estuvieran enfocadas a estudiar las condiciones ambientales que se requieren tener en cuenta para un cultivo exitoso del hongo Shiitake.

Sorpresivamente se pudo evidenciar que casi todas las fuentes encontradas manejaban valores cercanos entre sí. Por tal motivo se procedió a elegir la fuente más confiable, que a continuación en la Tabla 1 se expondrá al lector.

Tabla 1: Condiciones ambientales requeridas para el cultivo del hongo Shiitake

	Crecimiento del micelio	Inducción de primordios	Desarrollo de frutos
Temperatura	21-27°C (70-80°F) Para todas las cepas	10-16°C (50-60°F)	16-18°C (50-70°F)
Humedad	80-100% HR	80-100% HR	60-80% HR
Incubación	1-2 meses Dependiendo de la cepa	5-7 días	5-8 días
CO₂	>10.000 ppm	<1.000 ppm	<1.000 ppm
Ventilación (Oxígeno)	0-1 /hora Oxígeno	4-7 /hora Oxígeno	4-8 /hora Oxígeno
Iluminación	50-100 lux	500-2.000 lux a 370-420 nm (verde-uv)	500-2.000 lux

Fuente: Manual del cultivador de hongos 1; Capítulo 11 “Hongos para el trópico” – Cultivo de hongos Shiitake, 2005

0-1 /hora = 0 a 1 cambio de aire por hora

4-7 /hora = 4 a 7 cambios de aire por hora

4-8 /hora = 4 a 8 cambios de aire por hora

- **Temperatura:** Magnitud termodinámica que indica el calor y/o nivel térmico presente en un cuerpo o en el ambiente a estudiar.
- **Humedad relativa:** Es la cantidad de vapor de agua que está presente en una superficie, cuerpo o ambiente.
- **Tiempo:** Valor relacionado con la duración requerida para el completo desarrollo de una acción y/o actividad.
- **Concentración de dióxido de carbono [CO₂] en el aire:** El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que es capaz de repercutir significativamente en la calidad del aire interior, al igual que en la contaminación atmosférica y en la emisión de gases de efecto invernadero.
- **Luminosidad:** Hace referencia a la cantidad de luz que emite, refleja o arroja un objeto.

4.2.3. Sustratos y materiales complementarios

En torno a esta temática se han realizado una gran cantidad de estudios científicos y analíticos; ya que aquí es donde se definen los efectos a favor o en contra que se pueden llegar a presentar en las cosechas de setas Shiitake producidos por diferentes tipos de sustratos y materiales complementarios. Dicho lo anterior, en este artículo científico [4] podemos apreciar lo siguiente: “El mejor sustrato para mejorar la eficiencia biológica de la cosecha fue el serrín de roble, y el mejor material complementario que permitió una fructificación de mayor peso corporal fue el salvado de trigo”. A su vez, el artículo en cuestión le permite al lector generar un criterio de decisión válido en torno a la búsqueda de alternativas y/o recursos tecnológicos que aporten positivamente en los cultivos de hongo Shiitake, siendo enfático que dependiendo del tipo de sustrato y material complementario que se elija puede marcar una significativa diferencia entre un cultivo y otro (calidad, sabor, apariencia, entre otros).

4.2.4. Pulpa de café para producir setas

Parafraseando al autor Jimmy Jhon Rojas Vallejos en su proyecto de grado titulado *Producción del hongo comestible Pleurotus Ostreatus en pulpa de café*, podemos encontrar la siguiente afirmación [15]: “La pulpa de café fermentada y secada parcialmente puede ser usada como sustrato para el cultivo de setas exóticas. Se puede cultivar en unas cuantas semanas los hongos Shiitake, Linchi y otras setas que habitualmente tardan muchos meses en crecer en leños de roble”.

4.2.5. Superficies aptas para el cultivo

Son diversas las superficies que se pueden emplear a la hora de cultivar el hongo Shiitake, teniendo en cuenta que en este proceso están inmersas muchas repercusiones tanto para el cultivo de la seta como para el medio ambiente. Por tal razón, la temática en cuestión es una de las que está en constante investigación, con el fin de encontrar superficies y/o materiales amigables con el medio ambiente y que preserven la calidad del producto. Analizando y/o exponiendo el siguiente proyecto de investigación [16] se encontró que: “Tradicionalmente las setas de *Lentinula Edodes* se han cultivado sobre troncos de maderas duras, principalmente de encino. Sin embargo, los estudios científicos realizados en torno al tema indican que ya existen nuevas alternativas tales como, cultivar en bolsas o sustratos esterilizados”. Dicho lo anterior, para el primer sistema mencionado (troncos de madera) se afirma que existen ciertas limitantes y representan un peligro hacia el medio ambiente, debido al lento crecimiento al que está sujeto el encino, colocando en riesgo las poblaciones de este elemento forestal. Finalmente, la alternativa de solución dada en las bolsas o sustratos esterilizados, ofrecen ventajas importantes con respecto a los troncos de madera, ya que se asegura una producción continua, sin muchas complicaciones y una reducción en el tiempo de cosecha. En otras palabras, un incremento en la producción y consecuentemente en las ganancias.

4.3. Condiciones ambientales que pueden perjudicar el proceso de cultivo

4.3.1. Efectos de la temperatura

La temperatura al igual que muchas magnitudes climáticas puede afectar o favorecer (dependiendo del valor asignado) a la correcta producción de cualquier producto; en este caso, el hongo Shiitake. Para la seta Shiitake la temperatura juega un papel muy importante en diversas etapas de su desarrollo y/o crecimiento. Las desventajas que esta variable puede acarrear (de ser mal empleada) son: aumentar el tiempo de espera para el crecimiento del Shiitake, disminuir su resistencia y probabilidad de vida o, en otras palabras, afecta directamente su adecuado desarrollo. Por consiguiente, esto conlleva a un retardo en la producción y una baja en la calidad del producto final. Por otra parte, la temperatura también juega un papel clave en el cultivo de las setas en cuestión; debido a que, el micelio se ve favorecido en su desarrollo a altos valores de temperatura, reduciendo al mismo tiempo las probabilidades de contaminación por agentes externos al proceso de cultivo. Por el contrario, en el crecimiento de la seta lo ideal son bajas temperaturas; dejando en claro que esta variable no tiene valores fijos en el proceso, sino que varía según sea el caso. Por último, esta variable es controlada minuciosamente para contrarrestar el cambio en las estaciones climáticas que se presentan a lo largo del año, y así garantizar al cultivo las condiciones ideales.

4.3.2. Efectos de la humedad relativa

La humedad relativa es una de las principales variables climáticas que siempre debe de estar inmersa en cualquiera sea el cultivo por desarrollar. Está es la encargada de indicar la cantidad de vapor de agua presente en el ambiente, pudiendo afectar el correcto desarrollo de la cosecha, ya que el ambiente puede oscilar entre seco y húmedo; afectando las condiciones ideales de la producción, en este caso específico, del Shiitake. Según el proyecto de investigación [17]: “Es importante también tener un contenido de humedad en el sustrato para garantizar un buen desarrollo del micelio”.

4.3.3. Efectos de la luminosidad

“Durante el desarrollo de la seta la luz es un factor muy importante especialmente para las manchas del sombrero y las esporas” [17]. La luminosidad es otro factor para tener en cuenta para la producción y/o cultivo del Shiitake, ya que puede interferir en un cambio de color del hongo en la etapa de maduración. A su vez, puede causar una serie de deformidades en el hongo de no presentarse correctos valores en esta variable ambiental. Cabe destacar, que es necesario contemplar la presencia de luz obligatoriamente en la etapa de fructificación, ya que de está depende la maduración del hongo, debido a que los hongos tienden a buscar siempre la obtención de luz en esta fase de crecimiento.

4.4. Beneficios para la salud humana

Tabla 2: Componentes activos del Shiitake

COMPUESTO	GRUPO FUNCIONAL	BIOACCIÓN
Eritadenina	Derivado aciclico de la adenosina	Hipolipidémico, reduce los niveles de colesterol en la sangre por excreción
Lentinan	Polisacárido	Antibacterial, Antiviral, Inmunoactivo
Emitanina	Polisacárido	Inmunoactivo
Quitina	Ácidos Nucleicos	Antiviral
Ergosterol	Triterpeno	Provitamina D-2

Fuente: Componentes Bioactivos del Shiitake (Lentinula Edodes Berk Pegler) y su impacto en la salud, 2017

La seta Shiitake se ha popularizado mundialmente por el hecho de contar con propiedades medicinales y ser un producto natural que aporta sustancialmente a la

preservación de la salud humana, sin necesidad de recurrir a los costosos e invasivos tratamientos que ofrece a menudo la medicina tradicional. Los aportes que este hongo ofrece a la humanidad para estimular el sistema inmunológico se pueden ver reflejados en diversos artículos científicos, uno de estos dice: “Reducir la hipertensión, prevenir y tratar el cáncer, la diabetes, el SIDA, y enfermedades cardiovasculares y parasitarias” [2].

4.5. Arduino

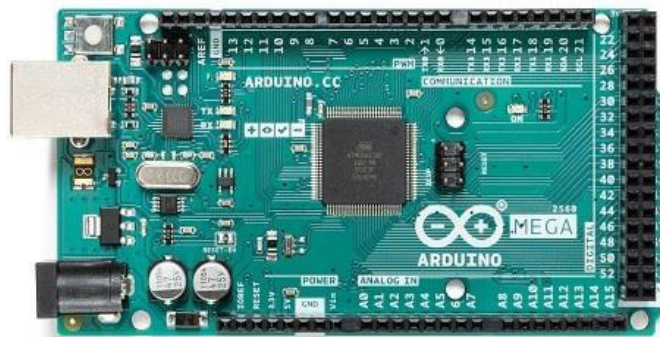
“Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida, activando un motor, encendiendo un LED, publicando algo en línea (...) Para hacerlo, utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el software Arduino (IDE), basado en Processing” [18].

▪ Características

- ✓ Económico.
- ✓ Multiplataforma.
- ✓ Entorno de programación simple y claro.
- ✓ Software de código abierto y extensible.
- ✓ Hardware de código abierto y extensible.

“The 8-bit board with 54 digital pins, 16 analog inputs, and 4 serial ports”

Figura 5: Tarjeta Arduino MEGA 2560 – Vista frontal



Fuente: Arduino Official Website, 2021

5. METODOLOGÍA

El proyecto de la cámara de cultivo para Hongo Shiitake requiere para su desarrollo e implementación de una serie de pasos, procedimientos y/o técnicas en un orden cronológico que a continuación se explicaran.

En primer lugar, se hace indispensable una revisión bibliográfica de la literatura, en donde destacan las bases de datos y los artículos científicos y/o académicos relacionados a las temáticas centrales: “Hongo Shiitake (Lentinula Edodes)” y “Control de condiciones ambientales”. Esto con el fin de obtener conocimientos previos y trazar el camino a seguir para la implementación de un sistema de control y supervisión; en donde el objetivo principal será determinar las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, luminosidad, entre otros), y tiempos necesarios en que debe permanecer el hongo en cada una de sus etapas para su correcta formación.

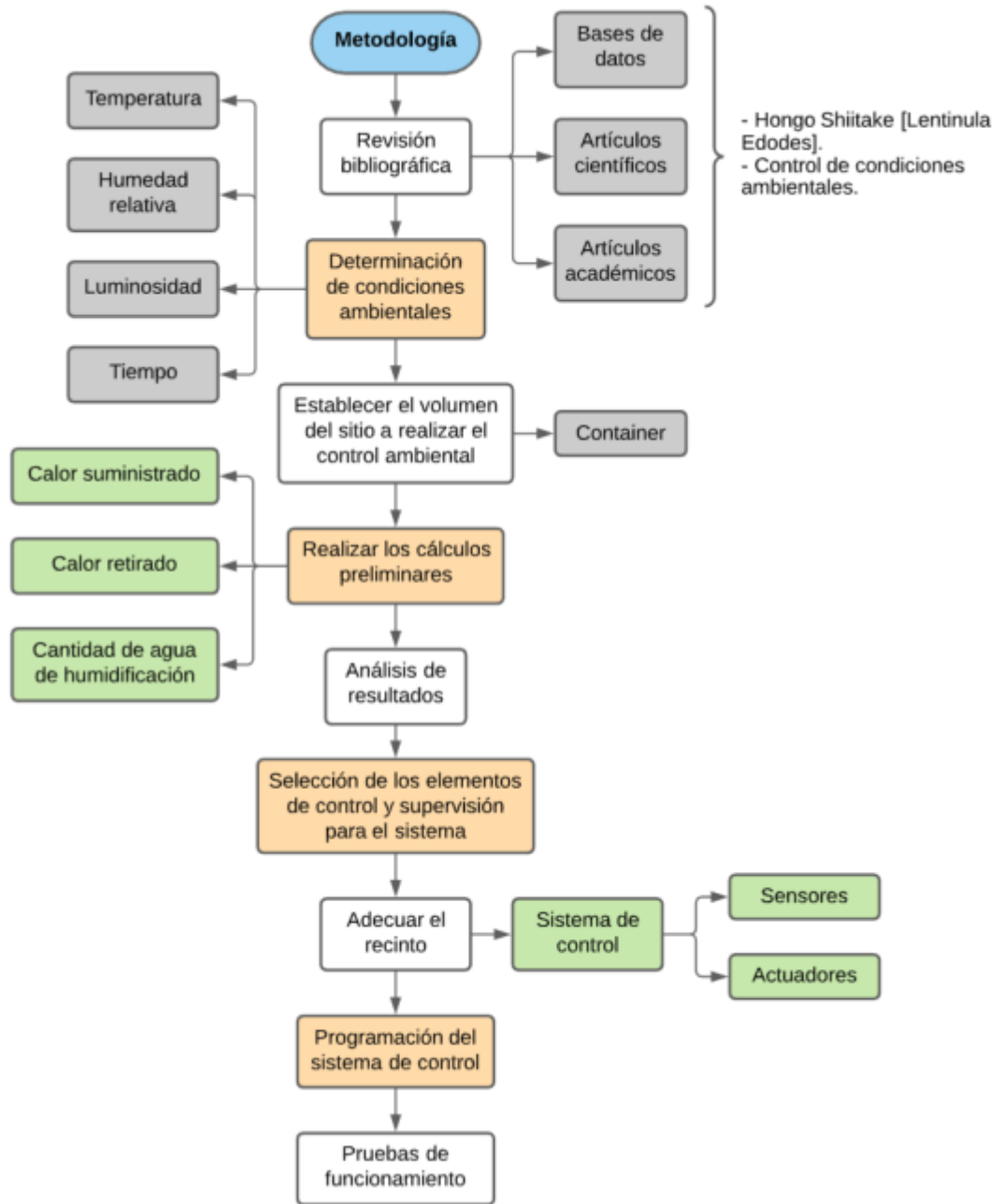
Así pues, el siguiente paso a realizar es establecer y/o definir el volumen del sitio a realizar el control ambiental, y de esta forma poder realizar los cálculos preliminares necesarios sobre los recursos requeridos para el correcto funcionamiento del sistema de control y supervisión. Un ejemplo de las variables a calcular son las siguientes:

- Calor suministrado.
- Calor retirado.
- Cantidad de agua de humidificación.

Por su parte, a partir de los resultados obtenidos se puede generar un criterio de decisión valido para iniciar con la selección de los elementos necesarios para el control y supervisión del sistema. Teniendo siempre presente la importancia de no exceder el presupuesto aprobado, sin dejar a un lado la calidad y estándares solicitados en la producción del hongo Shiitake. Posterior a esto se adecuará el recinto con el sistema de control, sensores y actuadores.

Por último, ya con los elementos instalados, se procederá con la programación del sistema de control y supervisión de acuerdo a las condiciones que necesita el hongo en cada una de sus etapas de crecimiento. El proyecto se dará por finalizado con las pruebas de funcionamiento.

Figura 6: Diagrama de bloques – Metodología



Fuente: Autor

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Componentes del sistema de control y supervisión

A continuación, en la Tabla 3 se expondrán todos los componentes (con su respectivo nombre y referencia de mercado) que en conjunto forman el sistema de control y supervisión planteado en este proyecto de grado.

Tabla 3: Componentes del sistema de control y supervisión

Componentes (Generales)	Referencia
Tarjeta Arduino MEGA 2560 basada en el microcontrolador ATmega2560 – (Ver Figura 7)	Arduino MEGA 2560
MicroSD Card Adapter – (Ver Figura 8)	Catalex
Módulo adaptador – (Ver Figura 9)	PCF8574
Pantalla LCD – (Ver Figura 10)	HD44780U
Sensor de humedad relativa y temperatura – (Ver Figura 11)	HTU21D
Sensor de luz – (Ver Figura 12)	BH1750
Sensor de CO ₂ – (Ver Figura 13)	CCS811
Sensor de presión – (Ver Figura 14)	MPL115A2
Reloj en tiempo real – (Ver Figura 15)	DS3231

Fuente: Autor

Figura 7: Tarjeta Arduino MEGA 2560 – Vista posterior



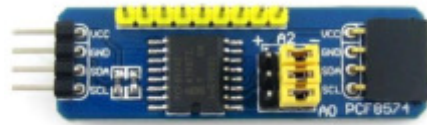
Fuente: Ver Anexos

Figura 8: MicroSD Card Adapter Catalex



Fuente: Ver Anexos

Figura 9: Módulo adaptador PCF8574



Fuente: Ver Anexos

Figura 10: Pantalla LCD HD44780U



Fuente: Ver Anexos

Figura 11: Sensor de humedad relativa y temperatura HTU21D



Fuente: Ver Anexos

Figura 12: Sensor de luz BH1750



Fuente: Ver Anexos

Figura 13: Sensor de CO₂ CCS811



Fuente: Ver Anexos

Figura 14: Sensor de presión MPL115A2



Fuente: Ver Anexos

Figura 15: Reloj en tiempo real DS3231



Fuente: Ver Anexos

6.2. Construcción de la caja controladora

6.2.1. Paso a paso de la construcción de la caja controladora

1) Desarrollo de planos de corte y simulaciones virtuales

Realizar los planos de corte en el software FreeCAD (ver Anexos), de las diferentes partes que conforman la caja controladora. Del mismo modo, fue necesario llevar a cabo simulaciones virtuales (ver Anexos) de cada una de las secciones que componen la caja controladora.

- **Ensamble sección de control:** Ver Figura 21.

- **Ensamble sección de potencia:** Ver Figura 22.
- **Ensamble sección de sensores:** Ver Figura 24.

Lo dicho anteriormente, con el fin de poder determinar las distancias entre centros de los orificios donde van atornillados los respectivos componentes de cada sección que conforma la caja controladora del sistema de control y supervisión (Tabla 3).

2) Contratación de servicios de corte laser y dobles de pliegues en láminas de acero

Contratar el servicio de cortadora laser con la empresa Hydro Bas ubicada en el sector “La Esmeralda” (Girón, Santander), y contratar el servicio de dobles de pliegues con la empresa Dozco CNC S.A.S. ubicada en el sector de “Chimita” (Girón, Santander). Por su parte, el material seleccionado para las secciones metálicas que conforman la caja controladora es acero inoxidable de 0,9mm.

- **Caja superior:** Ver Figura 16.
- **Caja inferior:** Ver Figura 17.
- **Base de control:** Ver Figura 18.
- **Base de potencia:** Ver Figura 19.
- **Base de sensores:** Ver Figura 20.

Dando como resultado final el ensamble general (Ver Figura 25, Figura 26 y Figura 27).

3) Instalación y cableado de las secciones de control y potencia

Para entender de una forma breve y rápida esta parte del paso a paso de la construcción de la caja controladora se empleó el uso de la aplicación Fritzing, un programa libre de automatización de diseño electrónico que facilita la visualización ordenada del cableado realizado. Por consiguiente, se recomienda al lector ver la “Figura 38: Cableado del sistema de control”.

4) Ubicación de las secciones de control y potencia al interior de la caja controladora

Primero se ubicó la sección de potencia junto con la fuente de alimentación. La razón de ubicar primero esta sección de la caja controladora fue el hecho de poder contar con espacio suficiente, en donde se pudiera llevar a cabo el cableado entre la potencia y las tomas de corriente. Paso siguiente fue ubicar la sección de control, teniendo en cuenta la importancia de que componentes tales como, la MicroSD Card Adapter, coincidieran a la perfección con los cortes láser realizados en las paredes externas de la caja controladora.

Lo dicho anteriormente se puede ver gráficamente en las Figura 21, Figura 22 y Figura 23.

5) Acoplamiento y/o ensamble de las láminas de acero (paredes externas de la caja controladora) mediante uniones roscadas

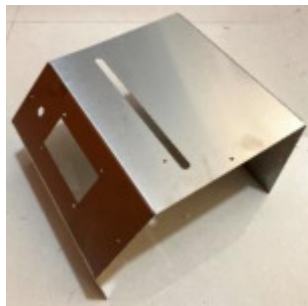
Se ensamblaron por medio de tornillos cada una de las láminas que componen la parte externa de la caja controladora, siguiendo el orden lógico de cómo fueron diseñadas desde un principio, tomando de referencia los planos de corte y simulaciones virtuales realizadas (explicado en el paso #1).

6) Posicionamiento de los sensores

A la hora de ubicar los sensores se tuvo en cuenta que quedarán situados a la misma altura y posición con respecto a la caja controladora. Lo anteriormente dicho, con el objetivo primordial de tener un mismo punto de referencia para garantizar un correcto funcionamiento y una lectura de datos confiable.

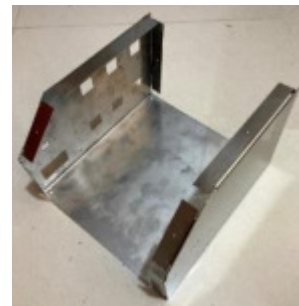
6.2.2. Secciones que componen la caja controladora

Figura 16: Caja superior



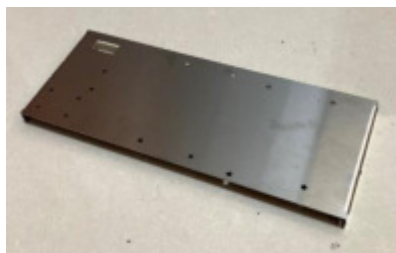
Fuente: Autor

Figura 17: Caja inferior



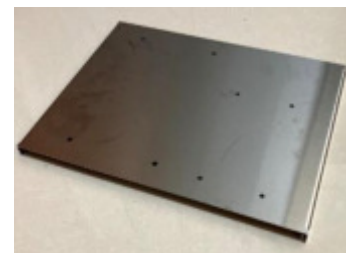
Fuente: Autor

Figura 18: Base de control



Fuente: Autor

Figura 19: Base de potencia



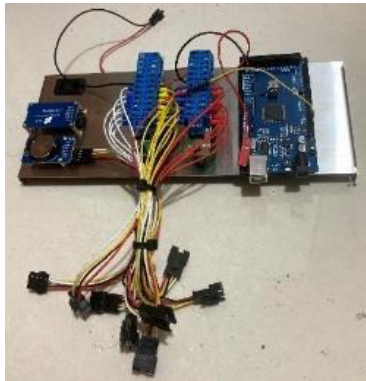
Fuente: Autor

Figura 20: Base de sensores



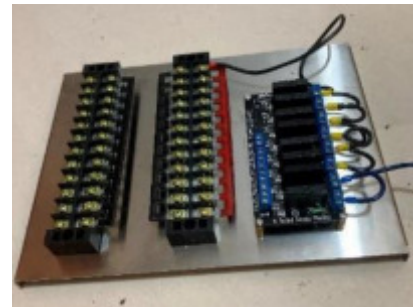
Fuente: Autor

Figura 21: Ensamble base de control



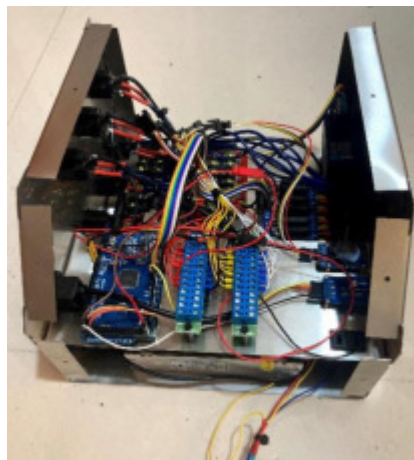
Fuente: Autor

Figura 22: Ensamble base de potencia



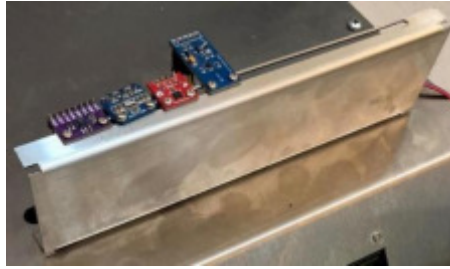
Fuente: Autor

Figura 23: Ensamble interno de la caja (control y potencia)



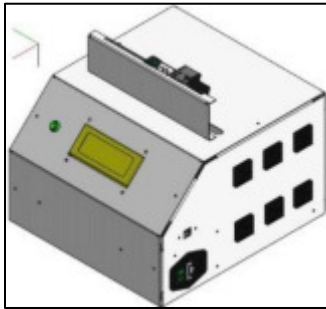
Fuente: Autor

Figura 24: Ensamble base de sensores



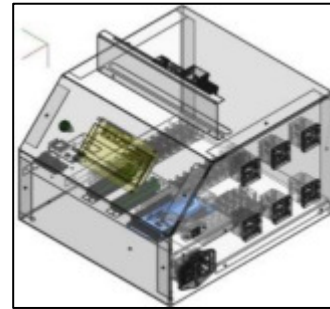
Fuente: Autor

Figura 25: Simulación virtual –
Ensamble general externo



Fuente: Autor

Figura 26: Simulación virtual –
Ensamble general interno



Fuente: Autor

Figura 27: Ensamble general



Fuente: Autor

6.3. Adecuación del recinto a controlar y supervisar (container)

6.3.1. Ubicación geográfica

El recinto a controlar y supervisar (container) quedó ubicado al lado del Agro-In Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga (UPB).

Las coordenadas geográficas, según Google Maps, son las siguientes:

- **Latitud:** 7.040157
- **Longitud:** -73.071261

Figura 28: Vista superior de la ubicación del container con respecto al CDT



Fuente: Autor

Figura 29: Vista lateral de la ubicación del container con respecto al CDT



Fuente: Autor

6.3.2. Construcción y especificaciones del container

El recinto (container) en donde se va a llevar a cabo el control ambiental, y por consiguiente, el cultivo de los hongos Shiitake cuenta con las siguientes especificaciones comerciales:

- **Dimensiones generales:** 3 m (ancho) x 2,5 m (fondo) x 2,5 m (alto)
- **Volumen del recinto:** 18,75 m³
- **Empresa contratada:** Proyectos y Controles de Ingeniería S.A.S.

Figura 30: Recinto (container) – Vista frontal



Fuente: Autor

Figura 31: Recinto (container) – Vista lateral



Fuente: Autor

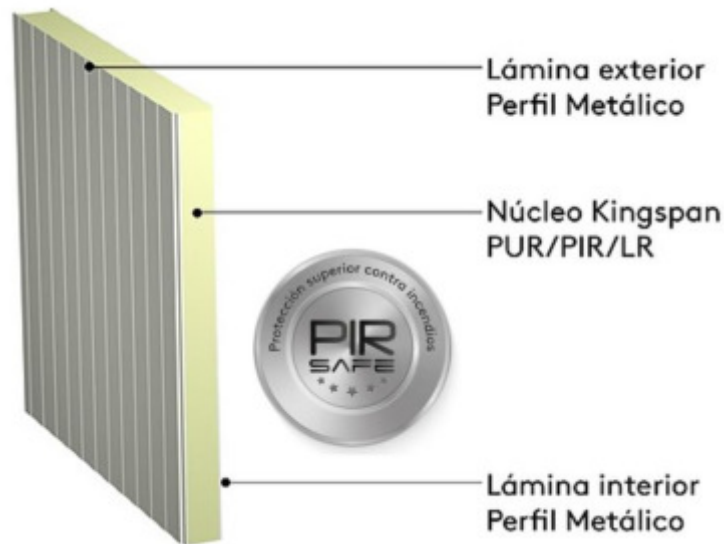
Figura 32: Recinto (container) – Vista superior



Fuente: Autor

El recinto (container) fue construido mediante el ensamble de paneles marca “Kingfrigo” con un aislamiento térmico de 50 mm entre sus caras (Ver Figura 33). De estos paneles se puede destacar la garantía de seguridad hacia los componentes del sistema de control y supervisión, y hacia toda persona que ingrese al lugar, esto debido a que cuentan con una tecnología llamada “PirSafe”, que en pocas palabras es una protección contra incendios. Finalmente, las caras externas e internas de estos paneles están fabricadas en lámina galvanizada pre-pintada, de calibre 28, y color blanco 9002.

Figura 33: Estructura de los paneles empleados en la construcción del container



Fuente: Cotización enviada por “Proyectos y Controles de Ingeniería S.A.S.”

6.3.3. Explicación de los componentes instalados al interior del recinto

➤ Aire acondicionado

El aire acondicionado instalado es de la marca “Mirage”, referencia ELF121Q. Este cuenta con una capacidad de refrigeración de 12.000 BTU/h, una potencia de 1.000 W, y con la innovadora opción de no solo enfriar sino de también poder calentar el ambiente. A su vez, cuenta con una gran variedad de modos de operación dentro de su funcionamiento. Entre ellos se encuentra el modo AUTO (el cual es el empleado en el sistema de control y supervisión en cuestión), este modo le da la potestad al aire acondicionado de enfriar o calentar el ambiente automáticamente según el set point establecido.

NOTA: El cambio de set point en el aire acondicionado (set point de temperatura en el sistema de control planteado) se debe realizar de forma manual cada vez

que se quiera cambiar de una fase a otra. Esto se ejecuta por medio del control de fábrica con el que viene el aire acondicionado.

➤ **Calentador eléctrico**

El calentador eléctrico a utilizar en el sistema de control y supervisión cuenta con las siguientes características comerciales: Calentador de ventilador PTC Industrial de alta calidad, con la capacidad de proporcionar una temperatura constante y una potencia de 300 W.

La ejecución (encendido o apagado) de este componente se realiza de forma automática por medio de la caja controladora, siguiendo las ordenes que envíe la tarjeta controladora dependiendo de la necesidad del momento (lectura del sensor).

Figura 34: Calentador eléctrico



Fuente: AliExpress

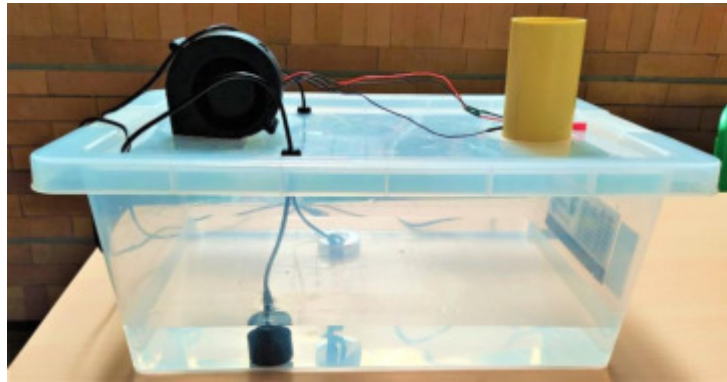
➤ **Humidificadores ultrasónicos**

Los dos humidificadores ultrasónicos empleados en el sistema de control son de 1 membrana, los cuales teóricamente tienen un consumo de 400 mL de agua por hora. Aclarando que estos tienen un indicador el cual es el nivel mínimo que debe superar el agua para que puedan simplemente funcionar. Siendo así, que el sistema de humidificación diseñado consta de un tanque con una capacidad máxima de 16 Litros, el cual debe contener un volumen mínimo de agua de 3,5 Litros para superar la barrera de los indicadores de los humidificadores (explicado anteriormente), de un ventilador centrífugo de 12 VDC a 4500 RPM, junto con un tubo PVC de 2 in nominal al otro extremo.

El tanque de humidificación se ajustó a las medidas de cada uno de los componentes, mediante maquina CNC de corte por láser, con el fin de garantizar la mínima cantidad de fugas posibles.

Ahora bien, el principio de funcionamiento es sencillo, los humidificadores se activan y hacen su función de generar vapor de agua, y en simultaneo el ventilador enciende con el objetivo de desplazar el vapor hacia la salida del tubo PVC y así direccionar el vapor hacia arriba. Ya que por diferencia de densidades este tiende a caer y necesita de una perturbación externa que lo impulse a salir.

Figura 35: Sistema de humidificación diseñado



Fuente: Autor

La ejecución (encendido o apagado) de este componente se realiza de forma automática por medio de la caja controladora, siguiendo las ordenes que envíe la tarjeta controladora dependiendo de la necesidad del momento (lectura del sensor).

➤ **Luces**

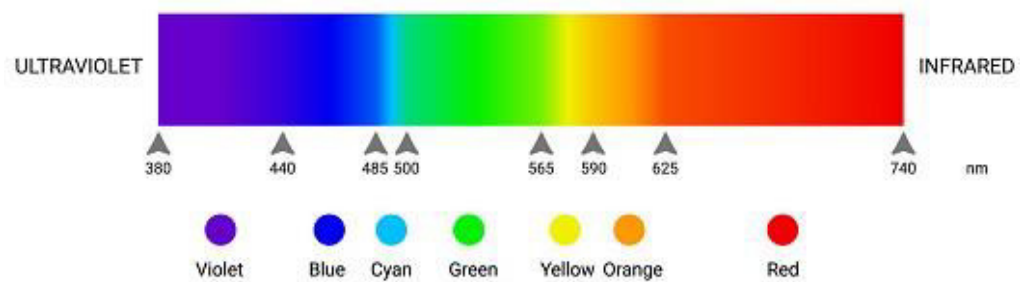
Las luces a emplear deben cumplir con la condición de estar en el rango de 370 a 420 nm según el espectro de luz visible (Figura 36). Esto debido a que así lo exige el proceso de cultivo del hongo Shiitake si se desea un producto de calidad al final.

La ejecución (encendido o apagado) de este componente se realiza de forma automática por medio de la caja controladora, siguiendo las ordenes que envíe la tarjeta controladora dependiendo de la necesidad del momento (lectura del sensor).

Cabe aclarar, que la luminosidad depende de la distancia a la que las luces se encuentren del sensor. Entre más cerca mayor intensidad, y viceversa, entre más lejos menor intensidad.

NOTA: Las luces adecuadas para el proceso de cultivo del hongo, ya mencionadas anteriormente, aún no están instaladas en el recinto (container). Es este el motivo por el cual las pruebas de funcionamiento se realizaron con los focos de luz normal que se encuentran instalados en el recinto.

Figura 36: Rango de colores dentro del espectro de luz visible



Fuente: Google

➤ **Extractor**

El extractor a emplear debe cumplir las condiciones de ser de flujo unidireccional y antirretorno. De no ser así, se perdería el control de las variables ambientales por completo.

La ejecución (encendido o apagado) de este componente se realiza de forma automática por medio de la caja controladora, siguiendo las ordenes que envíe la tarjeta controladora dependiendo de la necesidad del momento (lectura del sensor).

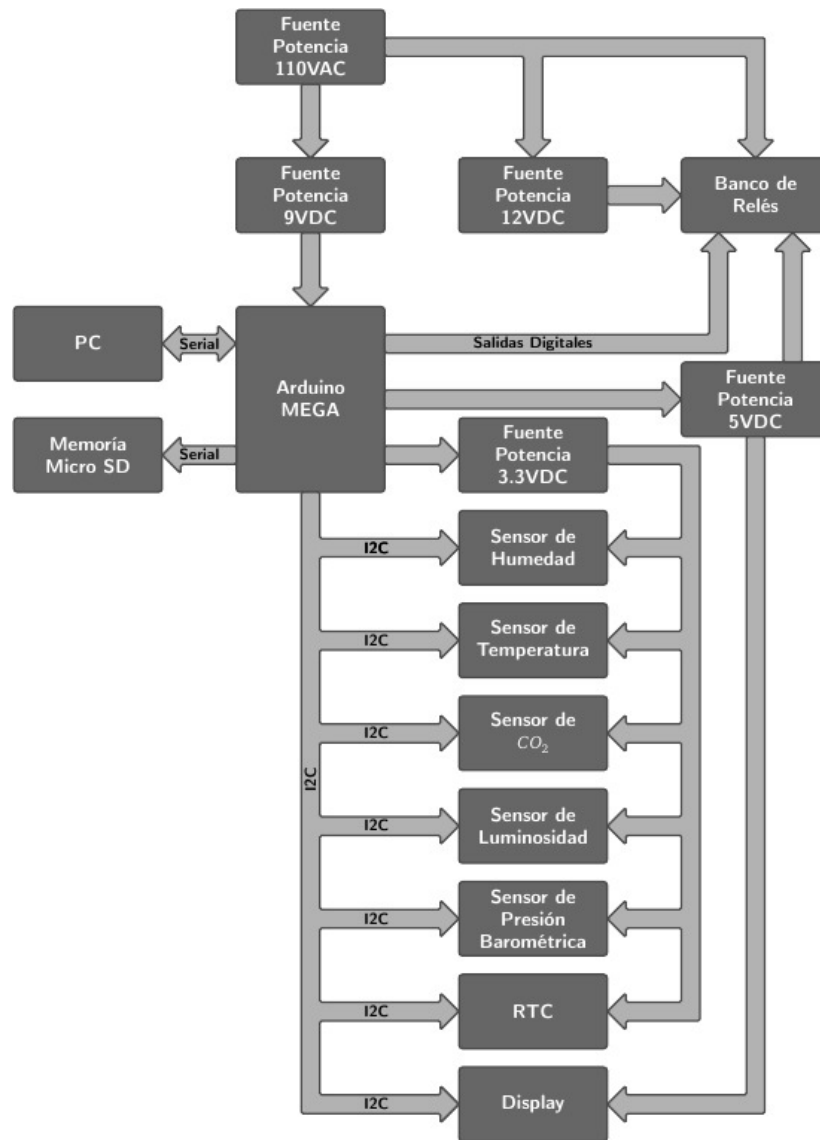
NOTA: El extractor adecuado para el proceso de cultivo del hongo, ya mencionado anteriormente, aún no están instalado en el recinto (container). No siendo esto un impedimento, hasta el momento, para poder realizar pruebas de funcionamiento, ya que al momento en el que se realizaran aún no habrá ningún ente generador de CO₂ al interior del recinto.

6.4. Programación del sistema de control y supervisión

6.4.1. Diseño del sistema eléctrico, electrónico y de control

En la Figura 37 se presenta un diagrama de bloques del sistema eléctrico, electrónico y de control. El sistema se energiza con una alimentación de 110 VAC, para ser utilizada por los relés para activar los actuadores del sistema de control, de igual forma con esta fuente de alimentación se energiza la fuente de 9 VDC para la alimentación del Arduino Mega y la fuente de 12 VDC para la activación del piloto y el ventilador. Todos los dispositivos que requieran alimentación de 3,3 VDC o 5 VDC son obtenidas desde la placa Arduino. Todos los sensores seleccionados para la medición de variables ambientales manejan el protocolo de comunicación I2C (Inter-Integrated Circuit) que viene integrado en la placa Arduino.

Figura 37: Diagrama de bloques sistema de control

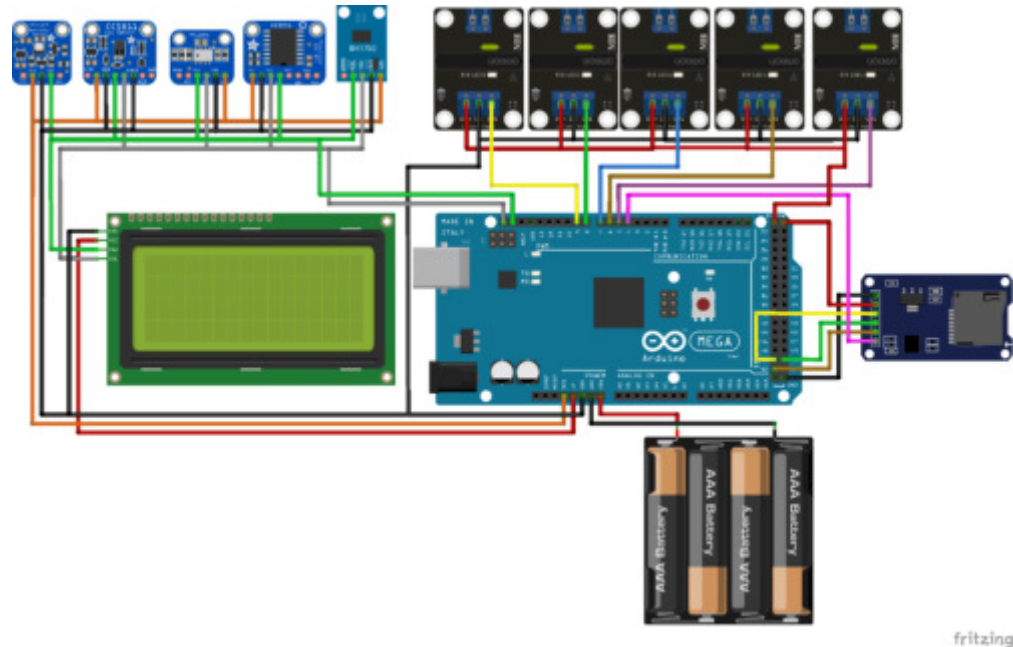


Fuente: Autor

El sistema guarda los datos en una memoria MicroSD usando el protocolo serial SPI (Serial Peripheral Interface). La única interacción del usuario con el sistema de control es por medio de una comunicación serial RS232 y para el proyecto se hizo uso de un PC para ajustar los parámetros de control e iniciar las pruebas.

En la Figura 38 se muestra el cableado físico del sistema de control Arduino Mega con los sensores, periféricos y pre-actuadores.

Figura 38: Cableado del sistema de control



Fuente: Autor

6.4.2. Programación

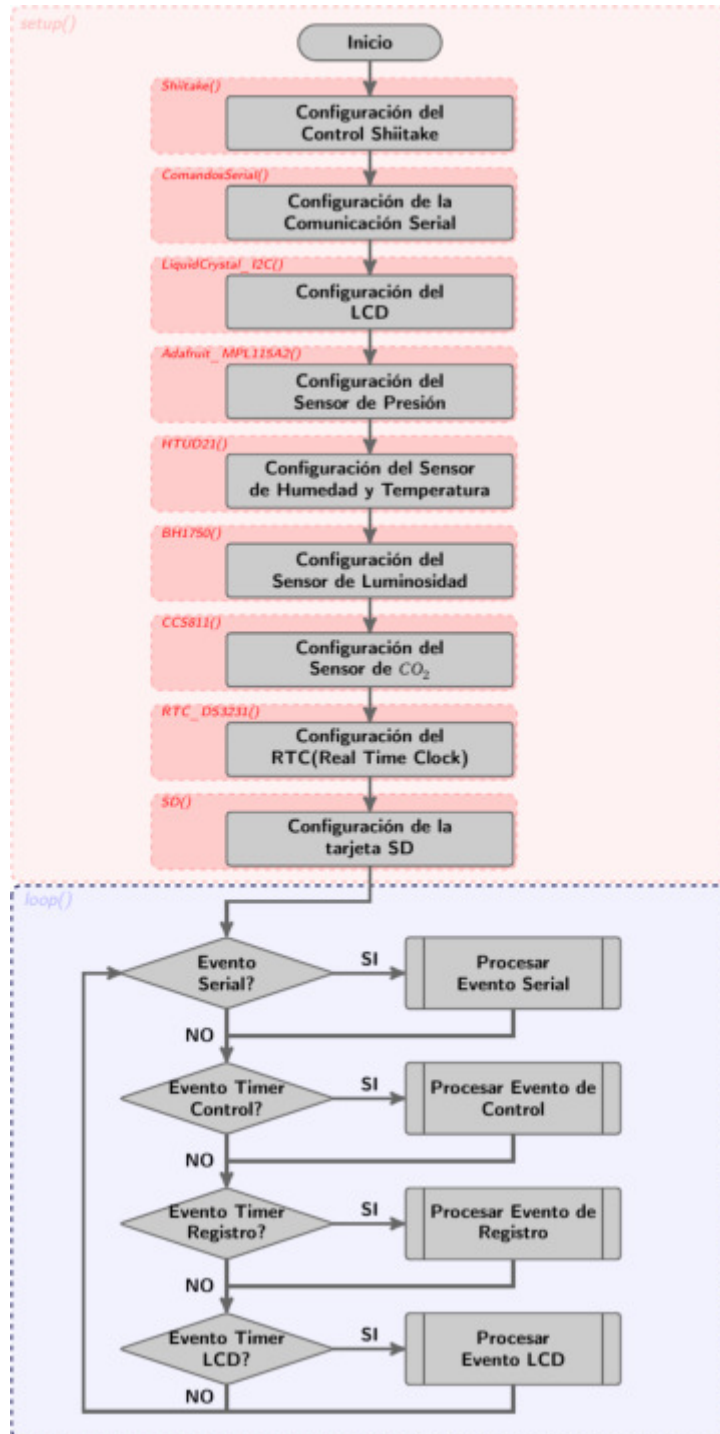
➤ Controlador

El controlador utilizado para el proyecto fue el Arduino Mega, principalmente por su bajo costo y que cumple los requerimientos necesarios para el sistema de control. El lenguaje de programación es C++ y en la Figura 39 se muestra el diagrama de flujo del programa. En los sistemas Arduino se programa dos subrutinas **setup()** y **loop()**.

La subrutina **setup()** se ejecuta solo una vez al inicio del programa y es usada para configurar todo el sistema. En la Figura 39 se muestra la configuración realizada y el nombre de las clases de C++ usadas, en esta subrutina se configura: el control, la comunicación serial, la pantalla LCD, el sensor de presión, el sensor de humedad, el sensor de temperatura, el sensor de luminosidad, el sensor de CO₂, el RTC (real time clock) y la tarjeta SD.

La subrutina **loop()** se ejecuta repetidamente y en esta subrutina se llevan todas las acciones que se necesita realizar periódicamente. En la Figura 39 se muestran las acciones realizadas: procesar eventos de la comunicación serial, procesar eventos de control, procesar eventos para grabar datos y procesar eventos del LCD.

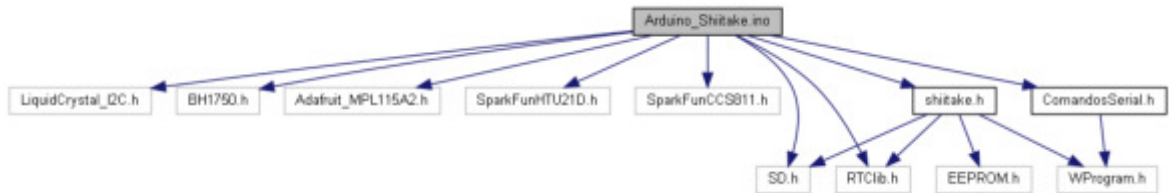
Figura 39: Diagrama de flujo sistema de control



Fuente: Autor

En la Figura 40 se muestra las bibliotecas que usa el programa para la lectura de los sensores, interactuar con periféricos y realizar las estrategias de control. El código fuente del programa se puede observar en los Anexos.

Figura 40: Diagrama de relación de las clases



Fuente: Autor

➤ Aplicación en el PC

La aplicación desarrollada para PC permite la interacción con el sistema de control. Con esta aplicación se configura las etapas de control del sistema y la fecha de ejecutarse, así mismo permite la supervisión de todo el sistema.

La aplicación fue desarrollada usando las bibliotecas Qt, que es una herramienta multiplataforma orientada a objetos que mediante un mismo código fuente es posible crear aplicaciones para diferentes plataformas. En el proyecto se creó y probó en el sistema operativo Windows 10 (ver Figura 41), y en el sistema operativo Ubuntu 20.04 (ver Figura 42).

Figura 41: Aplicación ejecutándose en Windows 10



Fuente: Autor

Figura 42: Aplicación ejecutándose en Ubuntu 20.04



Fuente: Autor

La comunicación entre la aplicación de PC con el controlador Arduino Mega, se realiza usando el protocolo de comunicación serial RS232 y está configurado a 9600 baudios, 8 bits de datos, sin bit de paridad y 1 bit de parada.

Los comandos programados para interactuar con el controlador se describen en la Tabla 4.

Tabla 4: Comandos comunicación serial

COMANDO SERIAL	DESCRIPCIÓN
UTC	Envía al controlador Arduino la fecha actual para ajustar el RTC en formato Unix Ejemplo: UTC1629313573\n

	<p>Resultado: Ajusta la fecha en el RTC a Miércoles agosto 18 2021 19:06:13 GMT+0000 Miércoles agosto 18 2021 14:06:13 GMT-0500 (hora estándar de Colombia)</p>
HIS	<p>Guarda en la microSD el dato actual de las variables Ejemplo: HIS\n Resultado: Guarda en un archivo CSV (DDMMAAAA.csv) los datos de las variables de presión humedad, temperatura, luminosidad y concentración CO2</p>
LOG	<p>Guarda en la microSD un evento Ejemplo: LOGSistema Encendido\n Resultado: Guarda el texto “Sistema Encendido” en el archivo LOG.csv</p>
ACT	<p>Habilita el controlador para que realice estrategias de control Ejemplo: ACT\n Resultado: El controlador activa el sistema de control</p>
DES	<p>Habilita el controlador para que realice estrategias de control Ejemplo: DES\n Resultado: El controlador activa el sistema de control</p>
EST	<p>Solicita al controlador el estado del sistema de control Ejemplo: EST\n Resultado: Retorna 1 si el control está activo y 0 si el control está deshabilitado</p>
RST	<p>Borra todos los de la EEPROM y el controlador queda sin estrategias de control Ejemplo: RST\n Resultado: Se borran todas las etapas de control</p>
FAS	<p>Agrega una fase con información de setpoints y tiempos al sistema de control, los datos son separados por el carácter “ ” y en formato “nombre de la fase tiempo segundos setpoint humedad setpoint temperatura setpoint concentración CO2 estado luz”. Ejemplo: FASDesarrollo de frutos 2592000 80 27 1000 1\n</p>

	<p>Resultado: Crea una fase con los siguientes datos Nombre: "Desarrollo de frutos" Tiempo: 2592000 seg (1 mes) Setpoint de humedad: 80% Setpoint de temperatura: 27°C Setpoint de CO2: 1000 ppm Luces: Activadas</p>
FEC	<p>Agrega la fecha de inicio del control en formato Unix Ejemplo: FEC1629313573\n Resultado: Ajusta la fecha de inicio a Miércoles agosto 18 2021 14:06:13 GMT-0500 (hora estándar de Colombia)</p>
DAT?	<p>Retorna todos los datos del controlador en formato: Verificación del CRC, Estado, Fecha de Inicio, Número de Fases, Datos de las Fases Ejemplo: DAT\n Resultado: Retorna datos del controlador</p>
NOW	<p>Retorna la fecha actual del controlador Ejemplo: NOW\n Resultado: 2021-08-18T11:50:00</p>
H?	<p>Retorna el valor de la humedad en formato "valor unidades" Ejemplo: H?\n Resultado: 55.6 %</p>
T?	<p>Retorna el valor de la temperatura en formato "valor unidades" Ejemplo: T?\n Resultado: 27.2 °C</p>
CO2?	<p>Retorna el valor de la concentración en formato "valor unidades" Ejemplo: CO2?\n Resultado: 450 ppm</p>
L?	<p>Retorna el valor de la luminosidad "valor unidades" Ejemplo: L?\n</p>

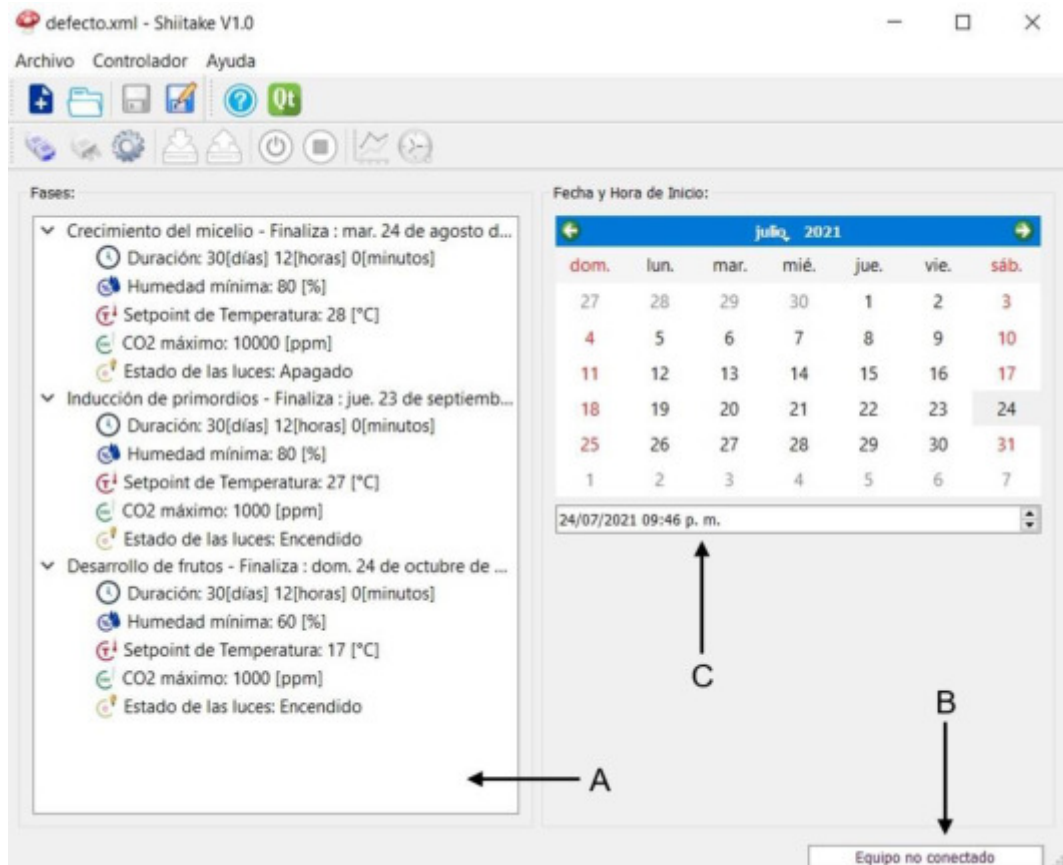
	Resultado: 250 lux
P?	Retorna el valor de la presión “valor unidades” Ejemplo: P?\n Resultado: 85.2 kPa
ON_HUM	Activa el Humidificador Ejemplo: ON_HUM\n Resultado: Humidificador activado
OFF_HUM	Desactiva el Humidificador Ejemplo: OFF_HUM\n Resultado: Humidificador desactivado
ON_CAL	Activa el Calentador Ejemplo: ON_CAL\n Resultado: Calentador activado
OFF_CAL	Desactiva el Calentador Ejemplo: OFF_CAL\n Resultado: Calentador desactivado
ON_EXT	Activa el Extractor Ejemplo: ON_EXT\n Resultado: Extractor activado
OFF_EXT	Desactiva el Extractor Ejemplo: OFF_EXT\n Resultado: Extractor desactivado
ON_LUC	Activa la luz Ejemplo: ON_LUC\n Resultado: Luz activada
OFF_LUC	Desactiva la luz Ejemplo:

	OFF_LUC\n Resultado: Luz desactivada
FASES?	Retorna la información de las fases del controlador Ejemplo: FASES?\n Resultado: Retorna la información de las fases
INICIO?	Retorna fecha de inicio del control en formato Unix Ejemplo: INICIO?\n Resultado: 1629313573
VAR?	Retorna el valor de todas las variables de proceso en formato "Presión Temperatura Luminosidad Humedad CO2" Ejemplo: VAR?\n Resultado: DAT_VAR85.2 27.5 250 55.3 450
REL?	Retorna el valor de todos los relés en formato "Piloto Luces Calentador Humificador Extractor" Ejemplo: REL?\n Resultado: DAT_VAR0 1 0 1 1
AVA?	Retorna el tiempo que lleva de prueba en formato "nombre etapa tiempo etapa duración etapa tiempo total ejecutado tiempo total de prueba" Ejemplo: AVA?\n Resultado: DAT_AVA Desarrollo de frutos 2500 5000 7000 10000

Fuente: Autor

6.5. Interfaz del software diseñado para ejecutar el sistema de control y supervisión

Figura 43: Interfaz general de la aplicación Shiitake V1.0



Fuente: Autor

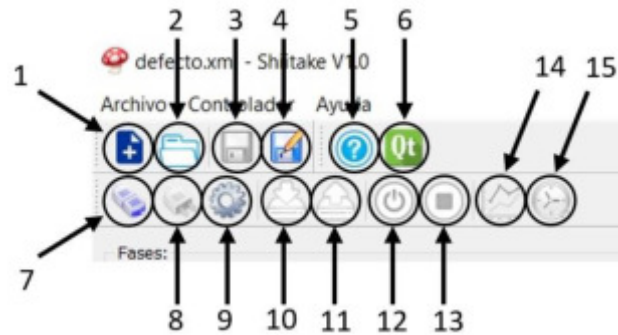
6.5.1. Explicación general de la interfaz

A: Página donde se ajustan las diferentes fases y/o etapas del sistema de control y supervisión con sus respectivos set-points.

B: Indicador de que el pc y el controlador están comunicados o no.

C: Se ajusta la fecha y hora en la que se desee ejecutar el control.

Figura 44: Detalle del menú de "botones" de la aplicación Shiitake V1.0

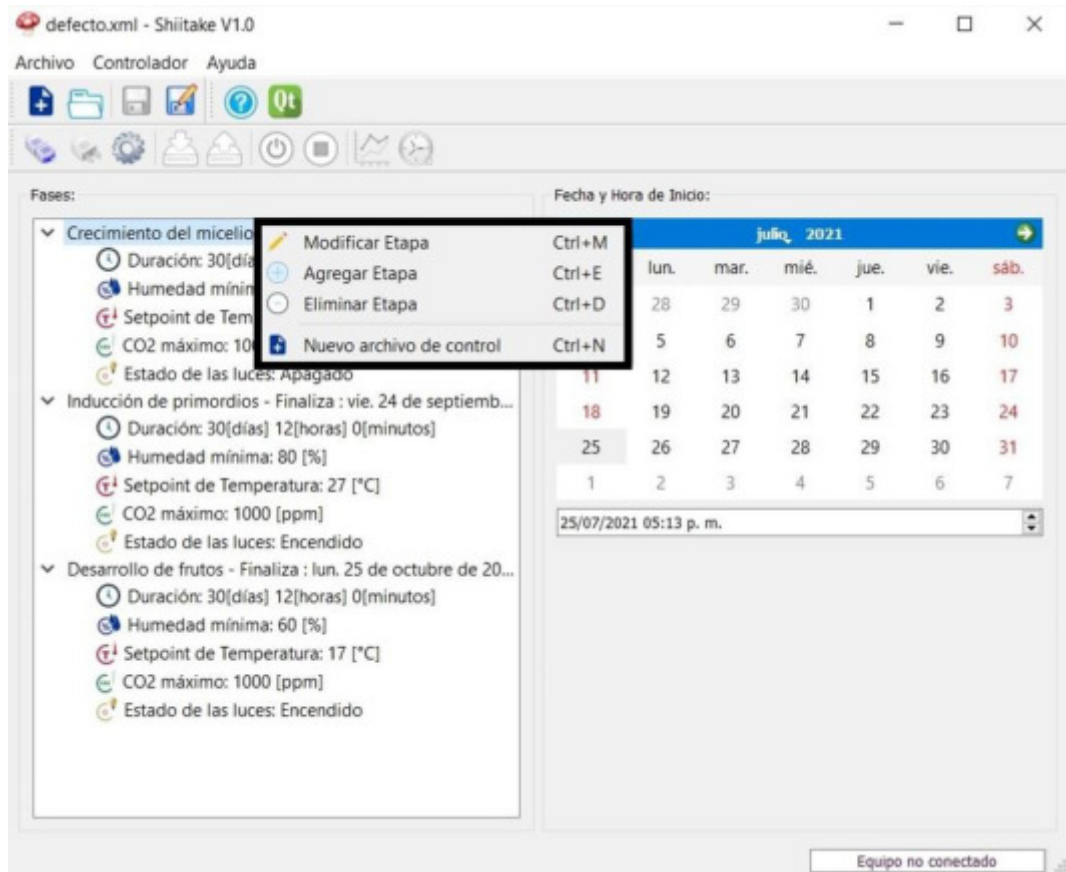


Fuente: Autor

6.5.2. Función de cada "botón" del menú principal de la aplicación Shiitake V1.0

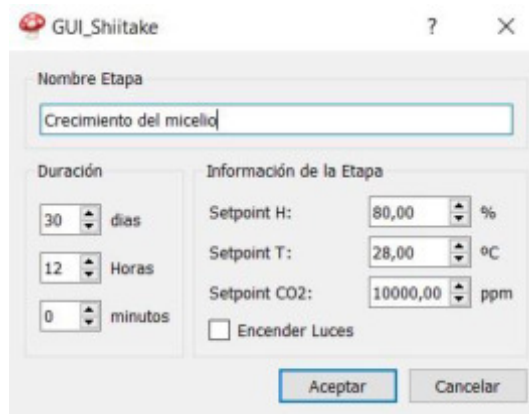
- 1: Crear página en blanco para diseñar un nuevo archivo de control.
- 2: Abrir un archivo de control creado previamente.
- 3: Guardar el archivo de control.
- 4: "Guardar como" el archivo de control.
- 5: Información del propósito por el cual fue creada la aplicación "Shiitake V1.0"
- 6: Información sobre el uso de Qt.
- 7: Enlazar comunicación, por medio del puerto serial, entre pc y controlador.
- 8: Desenlazar comunicación, por medio del puerto serial, entre pc y controlador.
- 9: Configuración del puerto serial.
- 10: Leer el archivo de control que está en el controlador.
- 11: Enviar el archivo de control al controlador.
- 12: Iniciar sistema de control y supervisión.
- 13: Detener sistema de control y supervisión.
- 14: Lectura de datos y gráficas en tiempo real, de las magnitudes de las variables ambientales detectadas por medio de los sensores.
- 15: Sincronizar tiempo en el controlador por medio del RTC DS3231.

Figura 45: Menú emergente para la configuración de etapas y/o variables ambientales



Fuente: Autor

Figura 46: Detalle de la opción “Modificar etapa”



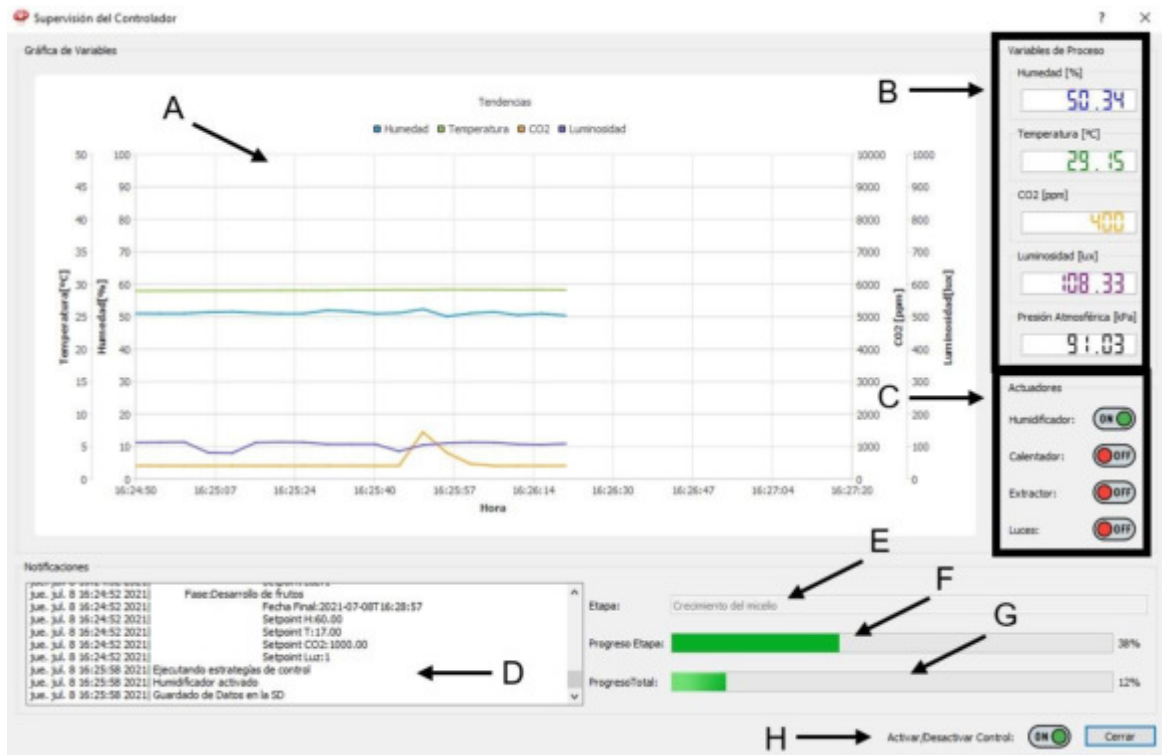
Fuente: Autor

6.5.3. Explicación del menú emergente para la configuración de etapas y/o variables ambientales

El menú emergente para la configuración de etapas y/o variables (Figura 45) se activa al dar click derecho encima de cualquier etapa o variable ya creada. Dándole 4 opciones al usuario:

- **Modificar etapa:** Cambiar ya sea el nombre de la etapa, la duración de la misma o los set-points requeridos en las distintas variables ambientales en cuestión (Figura 46).
- **Agregar etapa:** Por defecto se añade a la página en blanco (Ítem A, de la sección 6.5.1.), un listado con título, duración y variables ambientales que requerirán de una modificación para ajustar los set-points deseados para el fin específico.
- **Eliminar etapa:** Como su nombre lo indica, suprime una etapa que ya no se desee tener en el archivo de control.
- **Nuevo archivo de control:** Ítem 1, explicado en la sección 6.5.2.

Figura 47: Interfaz de gráficas en tiempo real de la aplicación Shiitake V1.0



Fuente: Autor

6.5.4. Explicación general de la interfaz de gráficas en tiempo real

- A:** Zona de gráficas en tiempo real
- B:** Sección donde se visualizan las magnitudes en forma numérica de las diferentes variables ambientales presentes en el control.
- C:** Sección para realizar accionamiento manual de los diferentes componentes instalados en el recinto para garantizar las condiciones del ambiente.
- D:** Zona de notificaciones de la aplicación Shiitake V1.0
- E:** Nombre de la etapa en ejecución.
- F:** Barra de porcentaje del progreso de la etapa en ejecución.
- G:** Barra de porcentaje del progreso del control en general y total.
- H:** Activar o desactivar el control de forma manual.

6.5.5. Recomendaciones de uso de la aplicación Shiitake V1.0

- Conectar la caja controladora a la fuente de energía. Del mismo modo, no olvidar conectar el puerto serial que comunica por cable USB la caja controladora con el computador, con el fin de poder introducir las condiciones ambientales que se van a desear en el recinto.
- Verificar que la tarjeta SD esté correctamente ubicada y que sea detectada por el sistema, esto se puede corroborar en la pantalla LCD de la caja controladora con el mensaje “SD: OK – DETECTADA”. En caso de no ser detectada se debe obligatoriamente reiniciar el sistema, o sino los datos que se vayan a almacenar del control y supervisión a realizar no se guardaran. Significando un problema, ya que con estos datos es que se logra analizar el correcto comportamiento y control ejercido por los sensores y componentes del sistema en general.
 - NOTA:** Por motivos de construcción la tarjeta SD se debe colocar al revés, es decir, con la cara que tiene los pines hacia arriba. Para poder introducirla o extraerla de la caja controladora se necesita de un objeto (por ejemplo, un atornillador de pala), para poder hacerle la presión debida para liberar el resorte que la mantiene en su posición.
- Tratar con cuidado la caja controladora, evitar golpes bruscos o caídas. Ya que esto puede afectar la calibración y/o exactitud de los sensores y toda la parte eléctrica dispuesta al interior de esta (sección de control y potencia).
- Tener muy en cuenta que se debe dejar que la caja controladora reinicie su sistema 2 veces antes de empezar a usarla. La primera vez que se reinicia es al momento en el que se enciende la fuente de alimentación de la misma, y la segunda vez que se reinicia es cuando se enlaza la comunicación, por medio del puerto serial, entre pc y controlador (Ítem 7, de la sección 6.5.2.).
- Verificar siempre que la hora programada para el inicio del sistema de control y supervisión, se haya modificado correctamente en la interfaz de la aplicación antes de enviar la información al controlador. Caso contrario, se asume el riesgo de que nada salga según lo planeado.
- Corroborar en la zona de notificaciones de la aplicación Shiitake V1.0 (Ítem D, de la sección 6.5.4.) que la información enviada al controlador sea la deseada.

6.6. Pruebas de funcionamiento

Antes de ver este capítulo se recomienda al lector ver la sección “6.3.3. Explicación de los componentes instalados al interior del recinto” ubicada en la página 27, para tener un completo entendimiento del funcionamiento de los componentes instalados en el recinto, y la forma en cómo se operarán.

6.6.1. Prueba de validación del sensor de humedad relativa y temperatura (HTU21D)

Termohigrómetro vs Sensor HTU21D – %Error admitido = Menor a 5 %

Figura 48: Validación lectura de la variable temperatura



$$\%Error = \frac{|28,21 - 28,3|}{28,3} * 100$$

$$\%Error = 0,318 \%$$

Fuente: Autor

Figura 49: Validación lectura de la variable humedad



$$\%Error = \frac{|63,24 - 65,3|}{65,3} * 100$$

$$\%Error = 3,155 \%$$

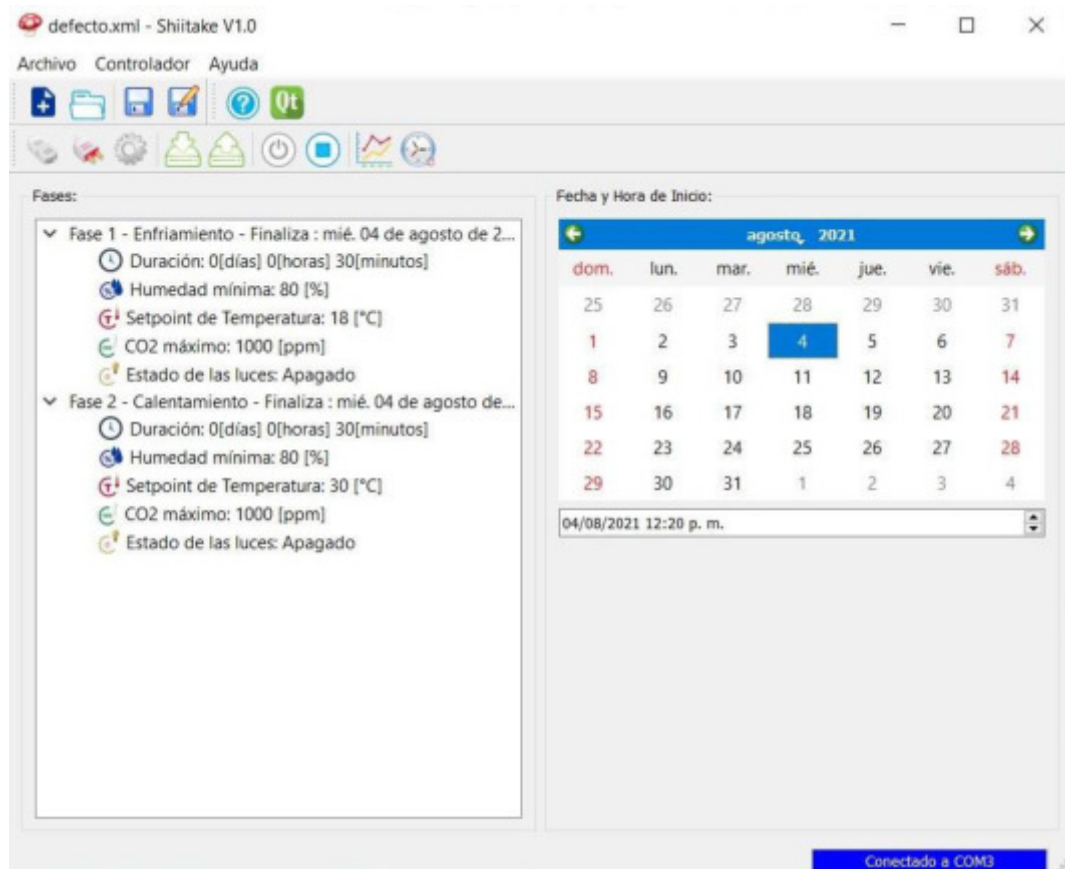
Fuente: Autor

6.6.2. Prueba de temperatura N°1

- **Objetivo:** Ver gráficamente el comportamiento y la capacidad del aire acondicionado a la hora de controlar la variable de temperatura al interior del recinto (container). Del mismo modo, corroborar su correcto funcionamiento tanto en la fase de enfriamiento como en la fase de calentamiento.

A continuación, en la Figura 50, se puede apreciar las condiciones ambientales que se plantearon para la ejecución de la prueba de temperatura N°1.

Figura 50: Condiciones aplicación Shiitake V1.0 – Prueba N°1 (Temperatura vs Tiempo)



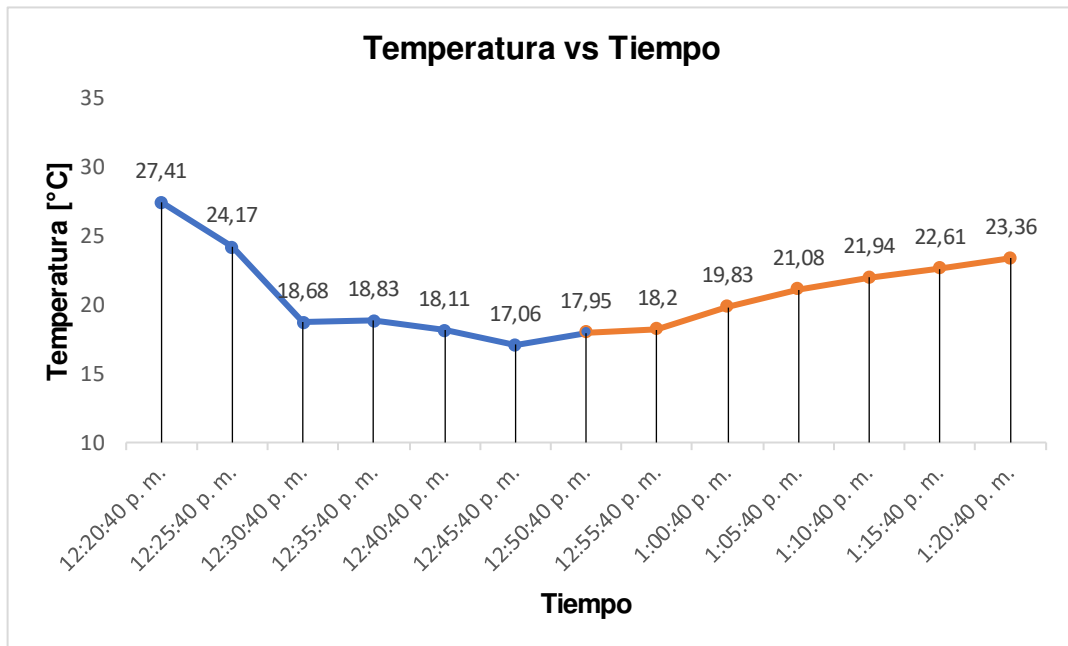
Fuente: Autor

Tabla 5: Datos prueba N°1 (Temperatura vs Tiempo)

Hora	Temperatura [°C]
12:20:40 p. m.	27,41
12:25:40 p. m.	24,17
12:30:40 p. m.	18,68
12:35:40 p. m.	18,83
12:40:40 p. m.	18,11
12:45:40 p. m.	17,06
12:50:40 p. m.	17,95
12:55:40 p. m.	18,2
1:00:40 p. m.	19,83
1:05:40 p. m.	21,08
1:10:40 p. m.	21,94
1:15:40 p. m.	22,61
1:20:40 p. m.	23,36

Fuente: Autor

Figura 51: Gráfica prueba N°1 (Temperatura vs Tiempo)



Fuente: Autor

En la Tabla 5 se pueden apreciar los datos obtenidos (en intervalos de 5 minutos) por el sensor de temperatura y humedad HTU21D. Por su parte, en la Figura 51 se muestra gráficamente los resultados de la prueba realizada.

La prueba constó de una duración total de 1 hora, y se dividió en 2 fases. La primera fase de enfriamiento con una duración de 30 minutos y un set point a alcanzar de 18°C, y la segunda fase de calentamiento con una duración de 30 minutos y un set point a alcanzar de 30°C.

Al ver la gráfica (Figura 51) se evidencia claramente que el aire acondicionado no presentó ningún problema a la hora de enfriar el recinto, ya que en tan solo 10 minutos logró bajar la temperatura de 27,41°C a valores cercanos al set point establecido de 18°C, y lo mantuvo así durante los 20 minutos restantes de esa primera fase de enfriamiento.

Por su parte, se puede apreciar que en la fase de calentamiento no se obtuvo el mismo resultado “arrollador” que dejó la fase de enfriamiento, ya que en los 30 minutos que duró esta fase el aire acondicionado no logró llevar la temperatura al set point establecido de 30°C, dejando los 23,36°C como la magnitud más alta alcanzada en la fase de calentamiento.

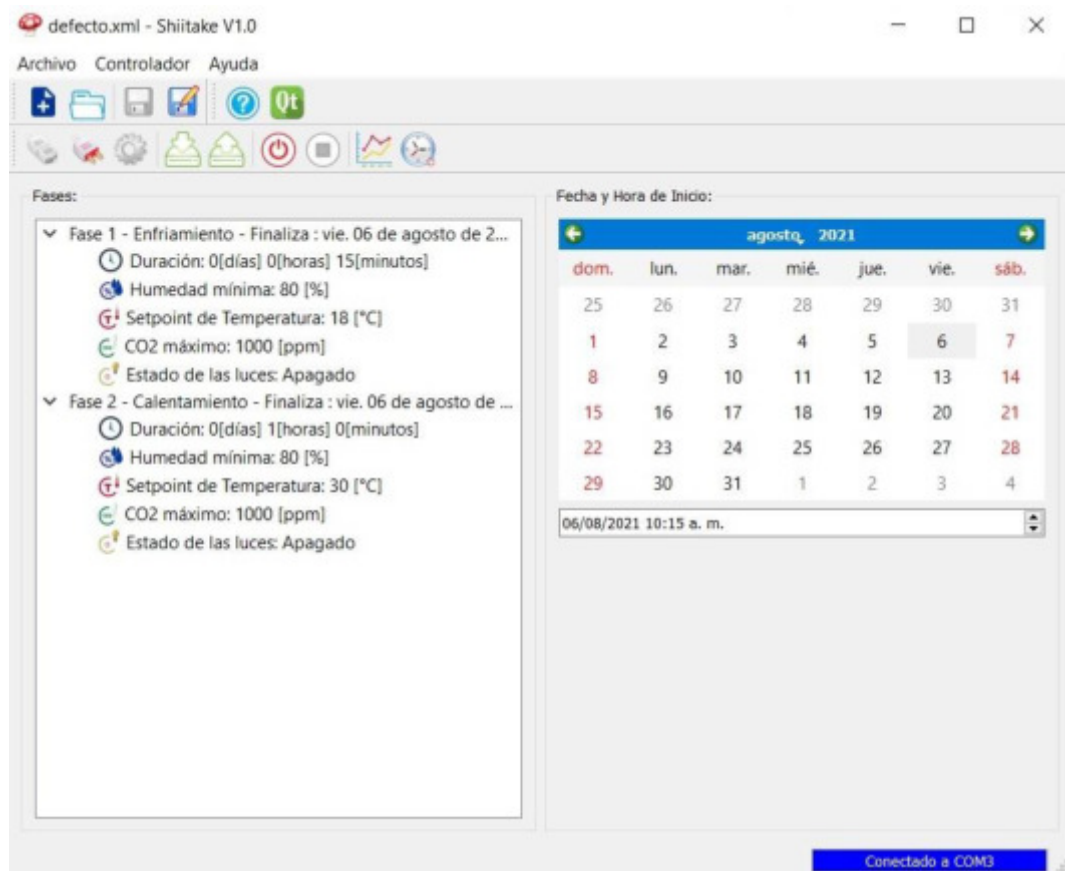
Concluyendo, a la hora de enfriar no va a haber ningún problema, pero a la hora de calentar se requerirá de un mayor esfuerzo y una mayor duración para lograr el set point deseado.

6.6.3. Prueba de temperatura N°2

- **Objetivo:** Ver gráficamente el comportamiento y la capacidad del aire acondicionado a la hora de controlar la variable de temperatura al interior del recinto (container). Aclarando que esta prueba será direccionada casi en su totalidad a la fase de calentamiento, esto debido a que en la “Prueba de temperatura N°1” se demostró que el aire acondicionado no requiere mayor esfuerzo para cumplir exitosamente con la fase de enfriamiento. Así pues, en esta prueba se desea ver si el aire acondicionado es capaz de superar la barrera de los 23,36°C (en 30 minutos) que logró en la prueba anterior, y observar hasta dónde puede llegar la temperatura colocando el doble de tiempo (en 1 hora).

A continuación, en la Figura 52, se puede apreciar las condiciones ambientales que se plantearon para la ejecución de la prueba de temperatura N°2.

Figura 52: Condiciones aplicación Shiitake V1.0 – Prueba N°2 (Temperatura vs Tiempo)



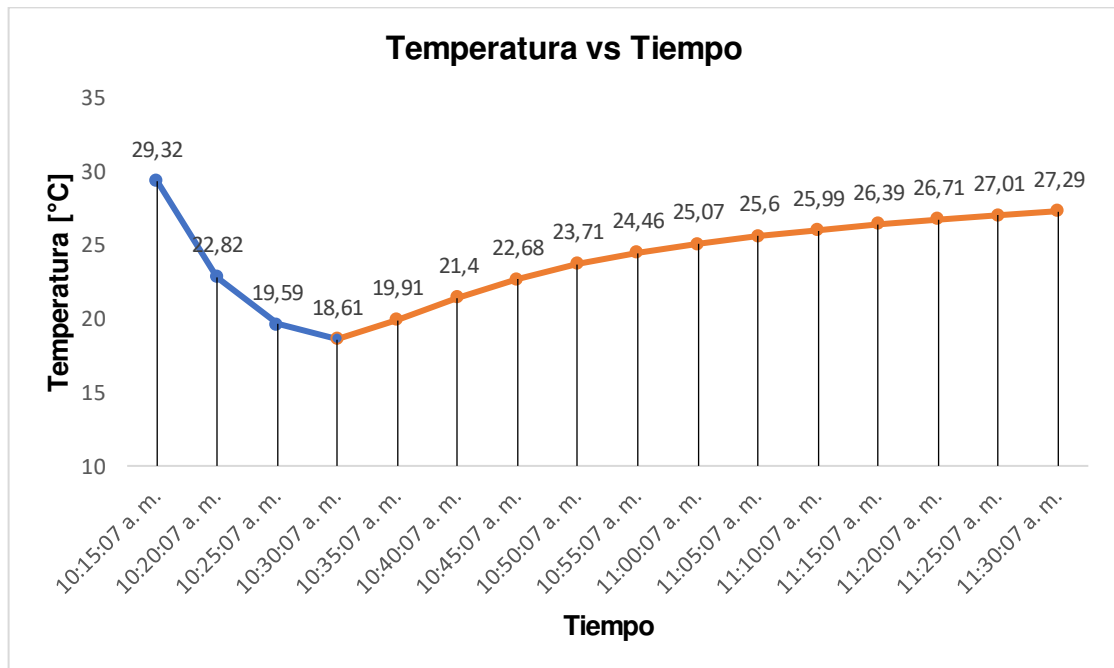
Fuente: Autor

Tabla 6: Datos prueba N°2 (Temperatura vs Tiempo)

Hora	Temperatura [°C]
10:15:07 a. m.	29,32
10:20:07 a. m.	22,82
10:25:07 a. m.	19,59
10:30:07 a. m.	18,61
10:35:07 a. m.	19,91
10:40:07 a. m.	21,4
10:45:07 a. m.	22,68
10:50:07 a. m.	23,71
10:55:07 a. m.	24,46
11:00:07 a. m.	25,07
11:05:07 a. m.	25,6
11:10:07 a. m.	25,99
11:15:07 a. m.	26,39
11:20:07 a. m.	26,71
11:25:07 a. m.	27,01
11:30:07 a. m.	27,29

Fuente: Autor

Figura 53: Gráfica prueba N°2 (Temperatura vs Tiempo)



Fuente: Autor

En la Tabla 6 se pueden apreciar los datos obtenidos (en intervalos de 5 minutos) por el sensor de temperatura y humedad HTU21D. Por su parte, en la Figura 53 se muestra gráficamente los resultados de la prueba realizada.

La prueba constó de una duración total de 1 hora y 15 minutos, y se dividió en 2 fases. La primera fase de enfriamiento con una duración de 15 minutos y un set point a alcanzar de 18°C, y la segunda fase de calentamiento con una duración de 1 hora y un set point a alcanzar de 30°C.

Al ver la gráfica (Figura 53) se hace notorio que el aire acondicionado no presenta ninguna complicación a la hora de efectuar la fase de enfriamiento, corroborando de esta forma el resultado obtenido en la “Prueba de temperatura N°1”, dando por sentado que el enfriamiento no será un problema en el sistema de control y supervisión.

Por otro lado, en la fase de calentamiento se puede apreciar que la temperatura si logró superar la barrera de 23,36°C obtenidos en la prueba anterior, y a pesar de que la temperatura no alcanzó a llegar al set point deseado de 30°C, habiendo dado el doble de tiempo en comparación a la prueba N°1, se obtuvo un resultado alentador de 27,29°C. Demostrando de esta forma que el calentamiento es cuestión de tiempo, a diferencia del enfriamiento que el cambio se ejecuta de una forma más eficiente. Siendo más técnicos, esto se puede apreciar fácilmente en la gráfica, en la diferencia notable que existe entre la pendiente de la fase de enfriamiento con respecto a la pendiente de la fase de calentamiento.

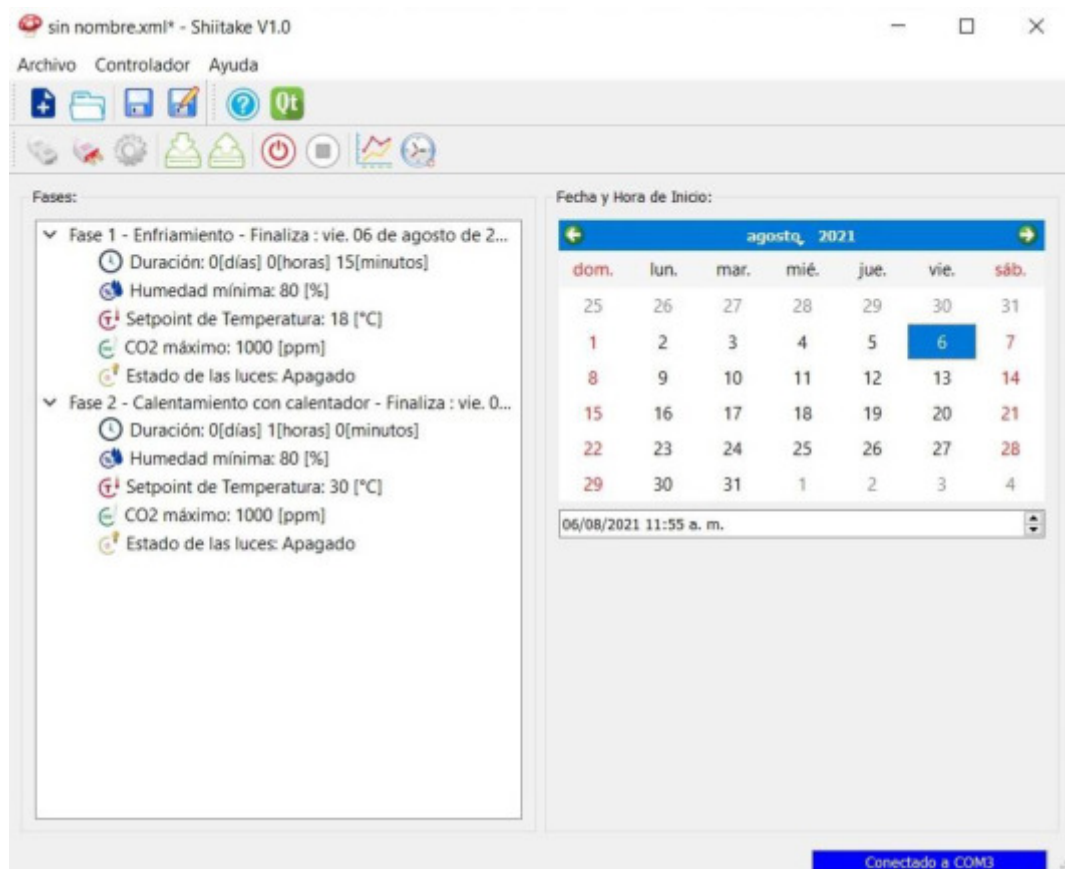
Concluyendo, al igual que en la “Prueba de temperatura N°1”, a la hora de enfriar no va a haber ningún problema, pero a la hora de calentar se requerirá de un mayor esfuerzo y una mayor duración para lograr el set point deseado.

6.6.4. Prueba de temperatura N°3

- **Objetivo:** Ver gráficamente el comportamiento y la capacidad del aire acondicionado, con la ayuda extra de un calentador eléctrico trabajando en simultaneo, a la hora de controlar la variable de temperatura al interior del recinto (container). La finalidad de esta prueba es ver si se logra llegar al set point deseado, y comparar con respecto a las pruebas anteriores el tiempo que tarda la temperatura en aumentar su magnitud.

A continuación, en la Figura 54, se puede apreciar las condiciones ambientales que se plantearon para la ejecución de la prueba de temperatura N°3.

Figura 54: Condiciones aplicación Shiitake V1.0 – Prueba N°3 (Temperatura [con calentador] vs Tiempo)



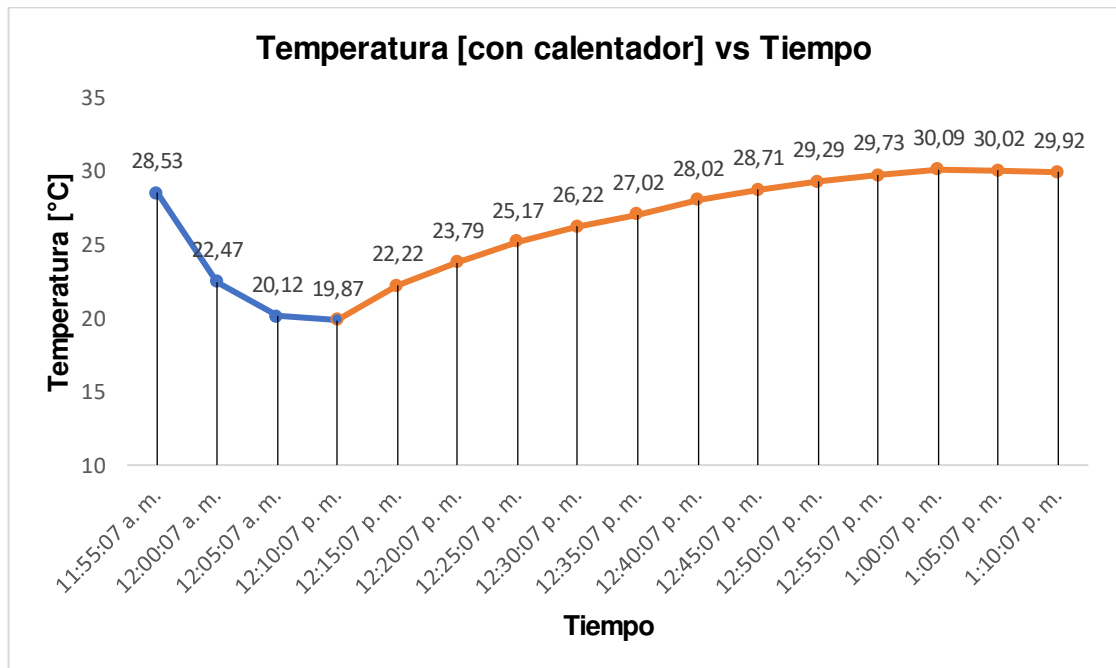
Fuente: Autor

Tabla 7: Datos prueba N°3 (Temperatura [con calentador] vs Tiempo)

Hora	Temperatura [°C]
11:55:07 a. m.	28,53
12:00:07 a. m.	22,47
12:05:07 a. m.	20,12
12:10:07 p. m.	19,87
12:15:07 p. m.	22,22
12:20:07 p. m.	23,79
12:25:07 p. m.	25,17
12:30:07 p. m.	26,22
12:35:07 p. m.	27,02
12:40:07 p. m.	28,02
12:45:07 p. m.	28,71
12:50:07 p. m.	29,29
12:55:07 p. m.	29,73
1:00:07 p. m.	30,09
1:05:07 p. m.	30,02
1:10:07 p. m.	29,92

Fuente: Autor

Figura 55: Gráfica prueba N°3 (Temperatura [con calentador] vs Tiempo)



Fuente: Autor

En la Tabla 7 se pueden apreciar los datos obtenidos (en intervalos de 5 minutos) por el sensor de temperatura y humedad HTU21D. Por su parte, en la Figura 55 se muestra gráficamente los resultados de la prueba realizada.

La prueba constó de una duración total de 1 hora y 15 minutos, y se dividió en 2 fases. La primera fase de enfriamiento con una duración de 15 minutos y un set point a alcanzar de 18°C, y la segunda fase de calentamiento con una duración de 1 hora y un set point a alcanzar de 30°C. Cabe aclarar que el propósito por el cual se ejecutó ese proceso de enfriamiento al comienzo es para poder tener las mismas condiciones iniciales en todas las pruebas, y de esta forma poder comparar los resultados entre ellas de una forma más precisa.

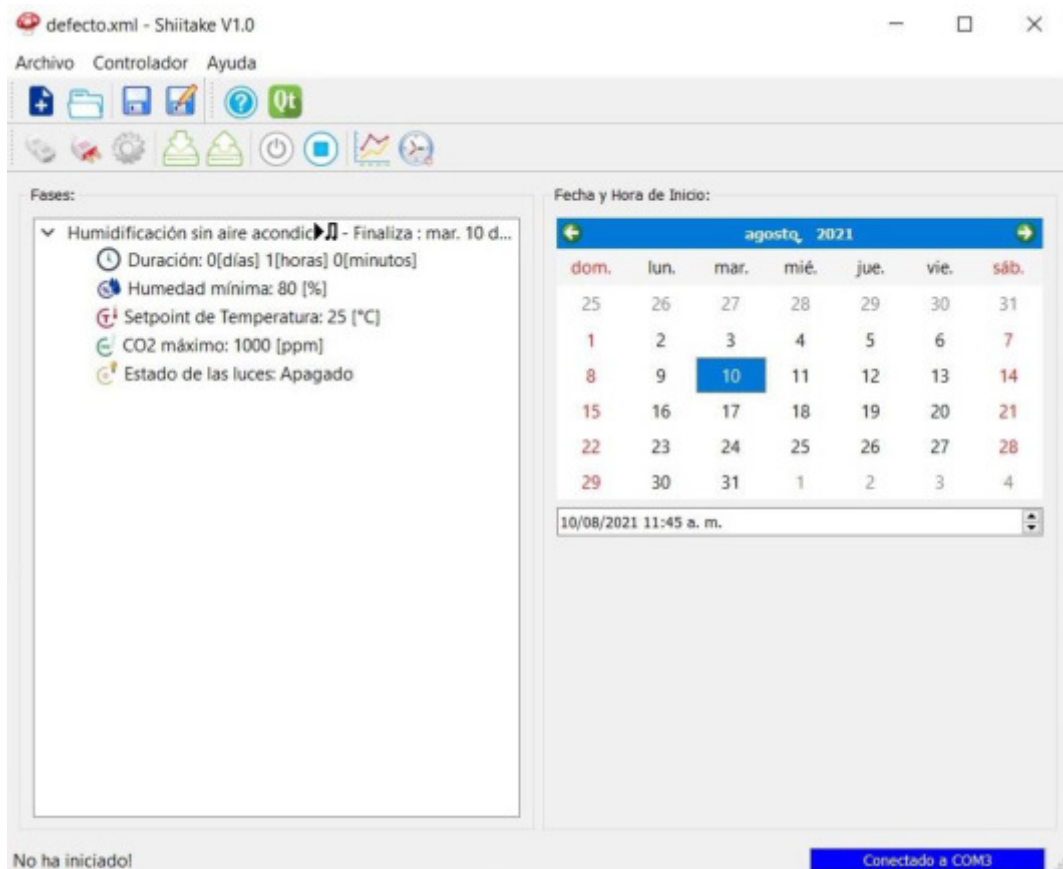
Al ver la gráfica (Figura 55) se evidencia el hecho de que el calentador eléctrico, conectado a la caja controladora ubicada dentro del recinto (container), impacta de una forma positiva el proceso de calentamiento, agilizando tiempos y permitiendo alcanzar por primera vez el set point planteado de 30°C en cuestión de tan solo 45 minutos ($29,73^{\circ}\text{C} \approx 30^{\circ}\text{C}$). Y lo más importante, lograr mantenerlo así durante los 15 minutos restantes de la prueba.

6.6.5. Prueba de humedad N°1

- **Objetivo:** Ver gráficamente el comportamiento y la capacidad de los dos humidificadores ultrasónicos de 1 membrana a la hora de controlar la variable de humedad al interior del recinto (container). Del mismo modo, corroborar su correcto funcionamiento en todo el proceso de humidificación del ambiente. Cabe aclarar, que esta prueba se realiza con el aire acondicionado apagado, con el fin de analizar netamente el comportamiento de los humidificadores, descartando cualquier posibilidad de influencia en los resultados de algún otro componente situado en el recinto.

A continuación, en la Figura 56, se puede apreciar las condiciones ambientales que se plantearon para la ejecución de la prueba de humedad N°1.

Figura 56: Condiciones aplicación Shiitake V1.0 – Prueba N°1 (Humedad [sin aire acondicionado] vs Tiempo)



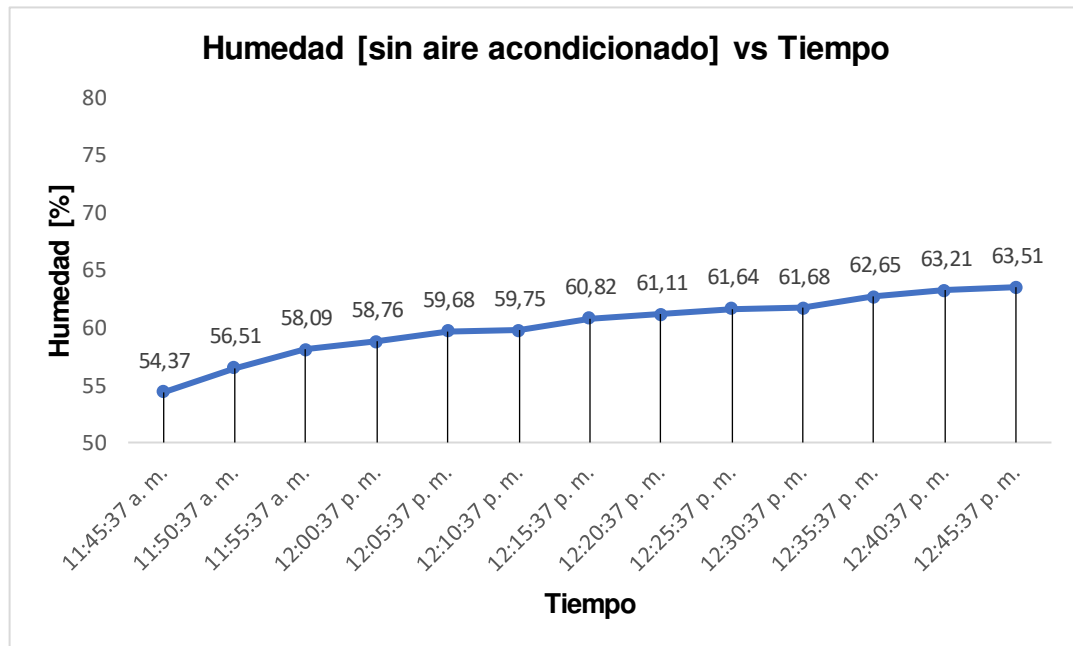
Fuente: Autor

Tabla 8: Datos prueba N°1 (Humedad [sin aire acondicionado] vs Tiempo)

Hora	Humedad [%]
11:45:37 a. m.	54,37
11:50:37 a. m.	56,51
11:55:37 a. m.	58,09
12:00:37 p. m.	58,76
12:05:37 p. m.	59,68
12:10:37 p. m.	59,75
12:15:37 p. m.	60,82
12:20:37 p. m.	61,11
12:25:37 p. m.	61,64
12:30:37 p. m.	61,68
12:35:37 p. m.	62,65
12:40:37 p. m.	63,21
12:45:37 p. m.	63,51

Fuente: Autor

Figura 57: Gráfica prueba N°1 (Humedad [sin aire acondicionado] vs Tiempo)



Fuente: Autor

En la Tabla 8 se pueden apreciar los datos obtenidos (en intervalos de 5 minutos) por el sensor de temperatura y humedad HTU21D. Por su parte, en la Figura 57 se muestra gráficamente los resultados de la prueba realizada.

La prueba constó de una duración total de 1 hora, y fue compuesta por solo 1 fase, la cual fue el proceso de humidificación del aire en el recinto (container) con un set point a alcanzar de 80%.

Al ver la gráfica (Figura 57) se hace notorio que los humidificadores ultrasónicos de 1 membrana efectivamente cumplen su propósito de humidificar el ambiente, pero se expone el hecho de que no cuentan con la suficiente capacidad y/o potencia para humidificar el recinto de una forma rápida y eficiente como se desearía. Esto se puede afirmar, ya que en 1 hora solo lograron aumentar progresivamente la humedad de un valor inicial de 54,37% a un valor final de 63,51%.

Sin embargo, a pesar de no lograr llegar al set point deseado de 80% se demuestra que el ambiente sí será humidificado, aclarando lo obvio, requerirá de mucho tiempo debido a la capacidad limitada que tienen los humidificadores, pero paulatinamente se logrará cumplir con el set point establecido, y se garantizará un ambiente controlado.

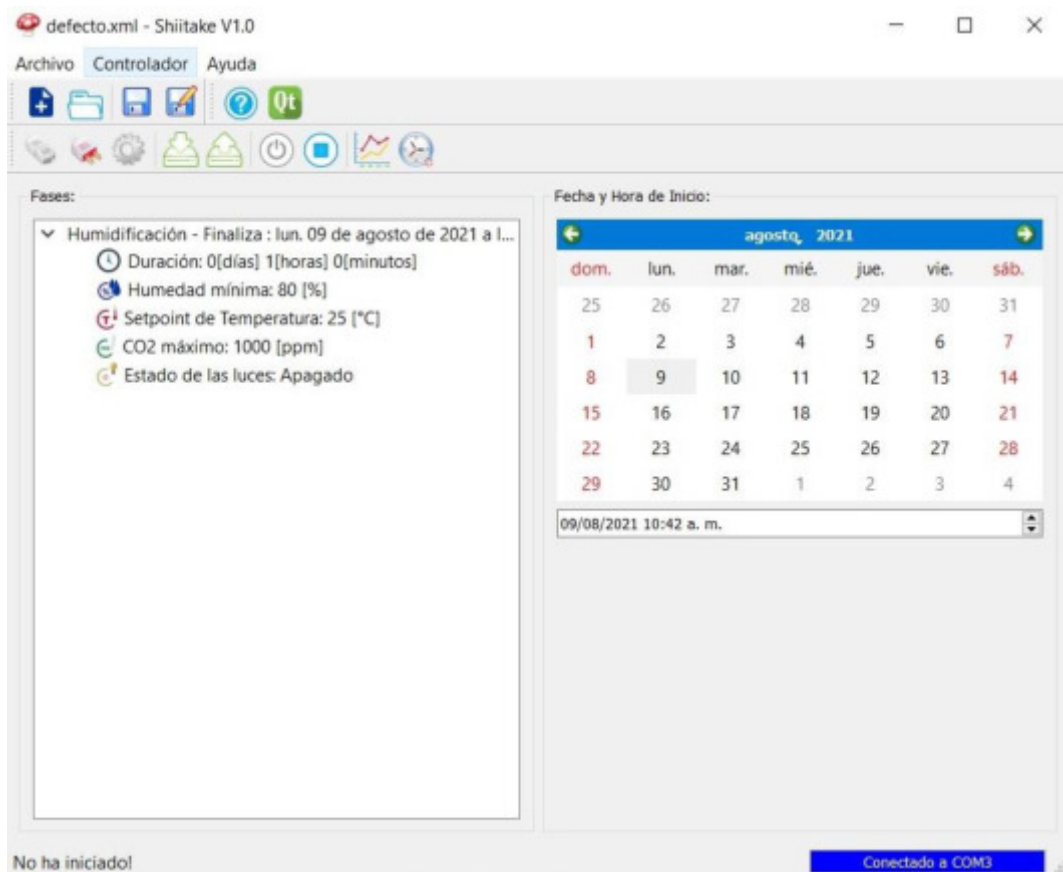
Dejando como conclusión el hecho de que si la necesidad es que exista una humidificación lenta, los humidificadores ultrasónicos de 1 membrana son una buena opción. Pero si la necesidad es que exista una humidificación rápida, la mejor opción es cambiar los humidificadores por unos que cuenten con más membranas, ya que más membranas se traduce en mayor rapidez, y por ende, mayor eficiencia en el proceso.

6.6.6. Prueba de humedad N°2

- **Objetivo:** Ver gráficamente el comportamiento y la capacidad de los dos humidificadores ultrasónicos de 1 membrana a la hora de controlar la variable de humedad al interior del recinto (container). Esta prueba se realiza con el aire acondicionado encendido, con el fin de analizar y exponer la influencia que puede llegar a tener sobre los datos de humedad.

A continuación, en la Figura 58, se puede apreciar las condiciones ambientales que se plantearon para la ejecución de la prueba de humedad N°2.

Figura 58: Condiciones aplicación Shiitake V1.0 – Prueba N°2 (Humedad vs Tiempo)



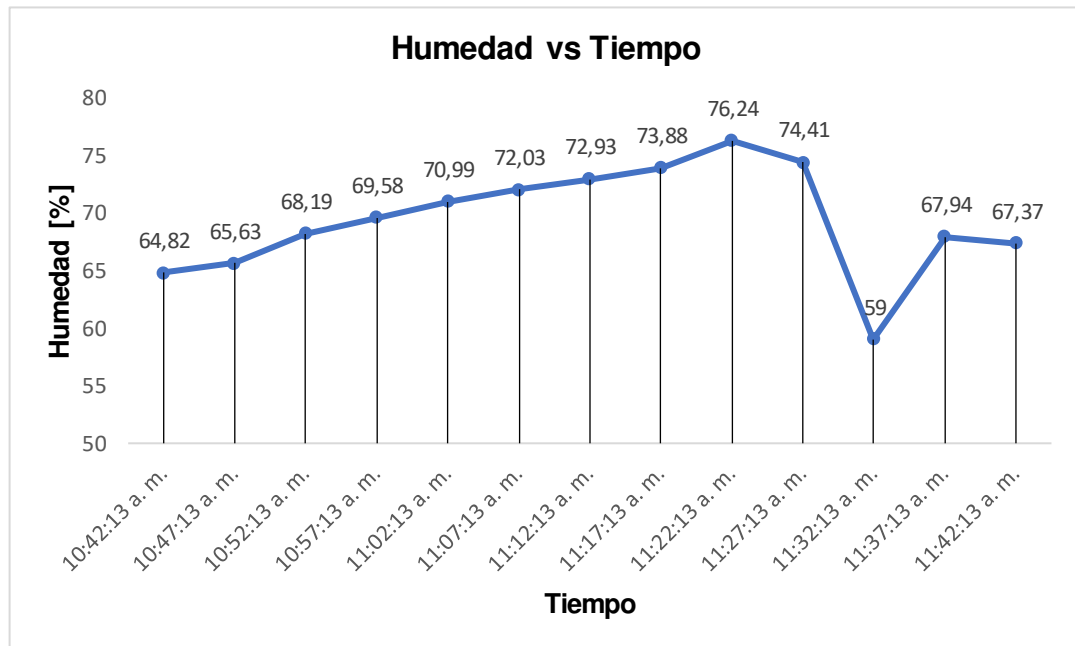
Fuente: Autor

Tabla 9: Datos prueba N°2 (Humedad vs Tiempo)

Hora	Humedad [%]
10:42:13 a. m.	64,82
10:47:13 a. m.	65,63
10:52:13 a. m.	68,19
10:57:13 a. m.	69,58
11:02:13 a. m.	70,99
11:07:13 a. m.	72,03
11:12:13 a. m.	72,93
11:17:13 a. m.	73,88
11:22:13 a. m.	76,24
11:27:13 a. m.	74,41
11:32:13 a. m.	59
11:37:13 a. m.	67,94
11:42:13 a. m.	67,37

Fuente: Autor

Figura 59: Gráfica prueba N°2 (Humedad vs Tiempo)



Fuente: Autor

En la Tabla 9 se pueden apreciar los datos obtenidos (en intervalos de 5 minutos) por el sensor de temperatura y humedad HTU21D. Por su parte, en la Figura 59 se muestra gráficamente los resultados de la prueba realizada.

La prueba constó de una duración total de 1 hora, y fue compuesta por solo 1 fase, la cual fue el proceso de humidificación del aire en el recinto (container) con un set point a alcanzar de 80%.

Al ver la gráfica (Figura 59) se evidencia una clara mejoría en el valor de humedad alcanzado con respecto a la “Prueba de humedad N°1”, esto debido a que en este caso el valor inicial de humedad fue 64,82%, a diferencia del valor inicial de 54,37% presentado en la prueba anterior, esto debido a que las pruebas se realizaron en diferentes días y las condiciones variaron. Sin embargo, es motivo de aclaración el hecho de que se logró llegar a un valor máximo de 76,24% de humedad en esta prueba, siendo este un valor muy cercano al set point deseado de 80%.

Ahora bien, en la gráfica (Figura 59) se presenta un pico inesperado de una caída abrupta de la humedad, de 74,41% a 59% en cuestión de tan solo 5 minutos, dejando en duda la posible influencia que tiene el aire acondicionado en los valores de humedad.

Por tal razón, se llevó a cabo un control manual de humedad, que a continuación se mostrará, por un tiempo breve en el que el único fin era comprobar la hipótesis de la influencia que tiene el aire acondicionado, al momento de activarse el compresor, en los valores de humedad.

Figura 60: Interfaz de gráficas en tiempo real de la aplicación Shiitake V1.0 – Control manual de humedad



Fuente: Autor

En la Figura 60, se evidencia que la humedad tiene un comportamiento oscilatorio, donde aumenta y decae con relativa facilidad sus valores, logrando llegar a aumentar de 47% a 61% su magnitud en cuestión de 4 a 5 minutos, y logrando decaer de 61% a 47% su magnitud en cuestión de 2 a 3 minutos.

Destacando el hecho de que la humedad tiene correlación con los valores de temperatura, ya que como se puede apreciar, cada vez que la humedad está en su punto más bajo (valle) la temperatura también lo está (19,5°C), y cada vez que la humedad está en su punto más alto (cresta) la temperatura también lo está (20,5°C). Exponiendo el hecho de que la humedad es directamente proporcional con la temperatura.

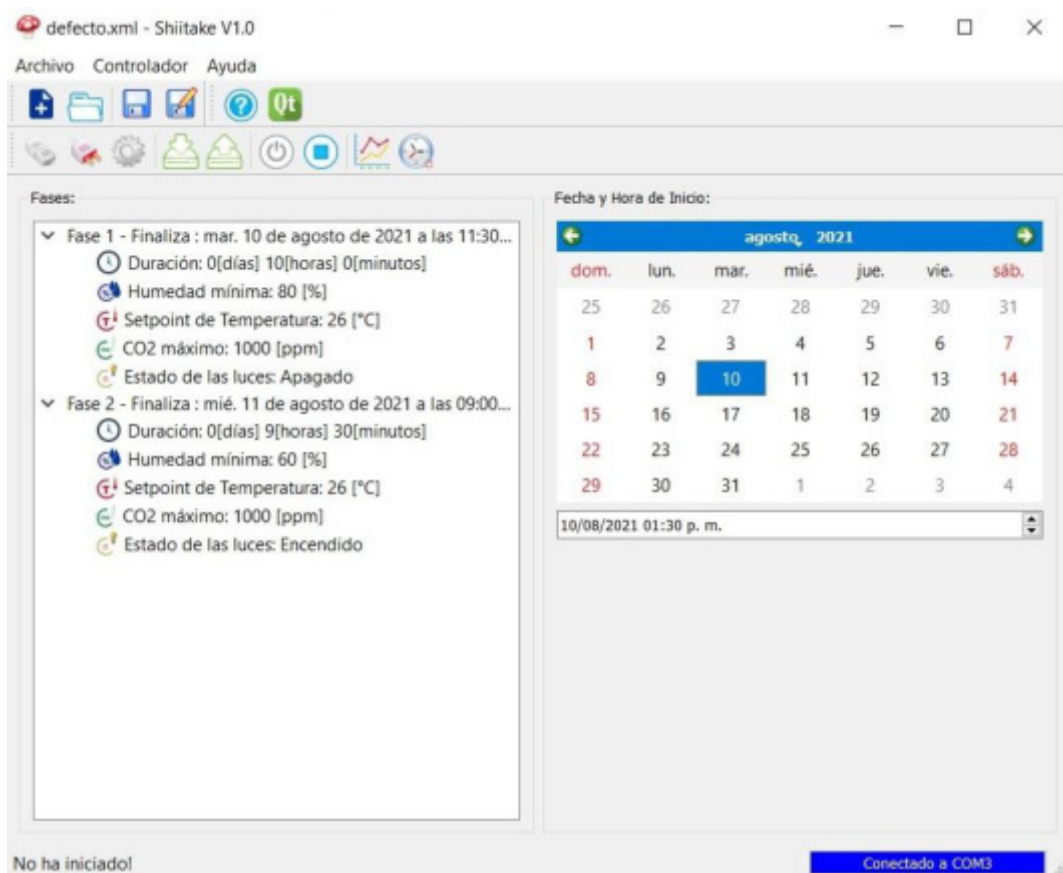
Finalmente, se demostró y evidenció que las caídas abruptas en los valores de humedad coincidían con los momentos donde el compresor del aire acondicionado se activaba (al superar la banda muerta de +/- 0,5°C), aclarando y verificando la hipótesis planteada anteriormente, de que el aire acondicionado puede llegar a influir directamente en los valores de humedad.

6.6.7. Prueba final

- **Objetivo:** Ver gráficamente el comportamiento y la capacidad de los diferentes componentes instalados en el recinto, así como: el aire acondicionado, el calentador eléctrico, los dos humidificadores ultrasónicos de 1 membrana, las luces y el extractor, a la hora de controlar las variables ambientales, tales como: temperatura, humedad, luminosidad y concentración de dióxido de carbono (CO₂), al interior del recinto (container). Del mismo modo, corroborar su correcto funcionamiento en todas las fases del proceso de control. Esta prueba se realiza con todos los componentes ejecutándose en simultaneo, siguiendo el control de la aplicación Shiitake V1.0, y ejercido por la tarjeta Arduino MEGA 2560.

A continuación, en la Figura 61, se puede apreciar las condiciones ambientales que se plantearon para la ejecución de la prueba final.

Figura 61: Condiciones aplicación Shiitake V1.0 – Prueba final (Variables ambientales vs Tiempo)

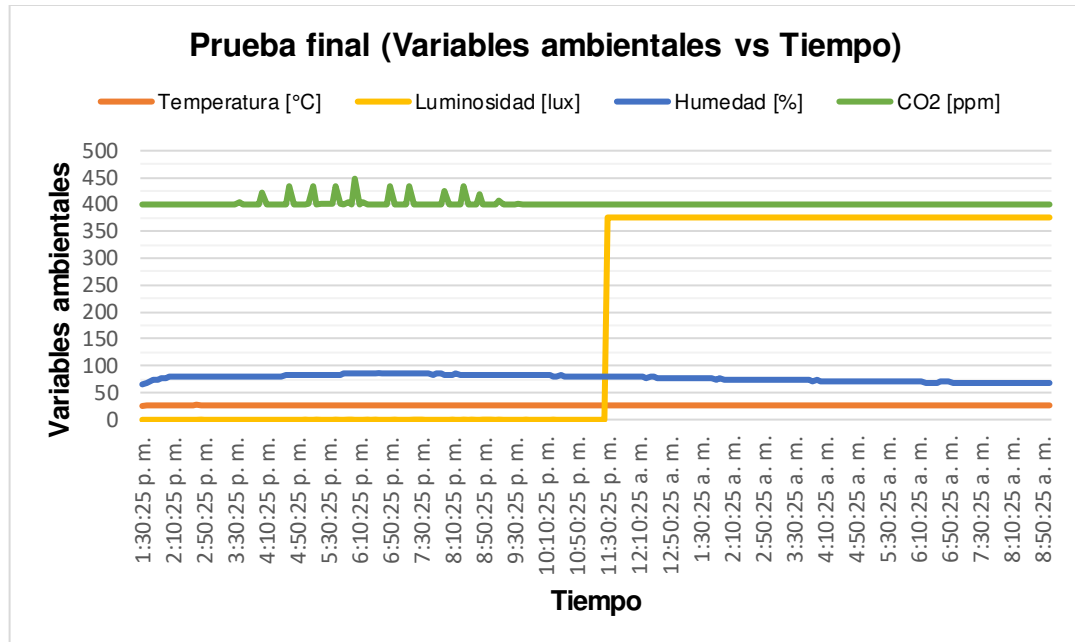


Fuente: Autor

Si el lector desea ver el LOG de la prueba final, lo puede encontrar en Anexos, sección 10.4.

- **LOG:** Documento de texto que guarda (en la SD de la caja controladora) todos los eventos y/o acciones que se ejecutaron de forma automática durante el control programado.

Figura 62: Gráfica prueba final (Variables ambientales vs Tiempo)



Fuente: Autor

La prueba se realizó tomados datos en intervalos de 5 minutos por medio de los sensores instalados en la caja controladora, enunciados en la Tabla 3. Por su parte, en la Figura 62 se muestra gráficamente los resultados de la prueba realizada.

La prueba constó de una duración total de 19 horas y 30 minutos, y se dividió en 2 fases. La primera fase con una duración de 10 horas, y la segunda fase con una duración de 9 horas y 30 minutos.

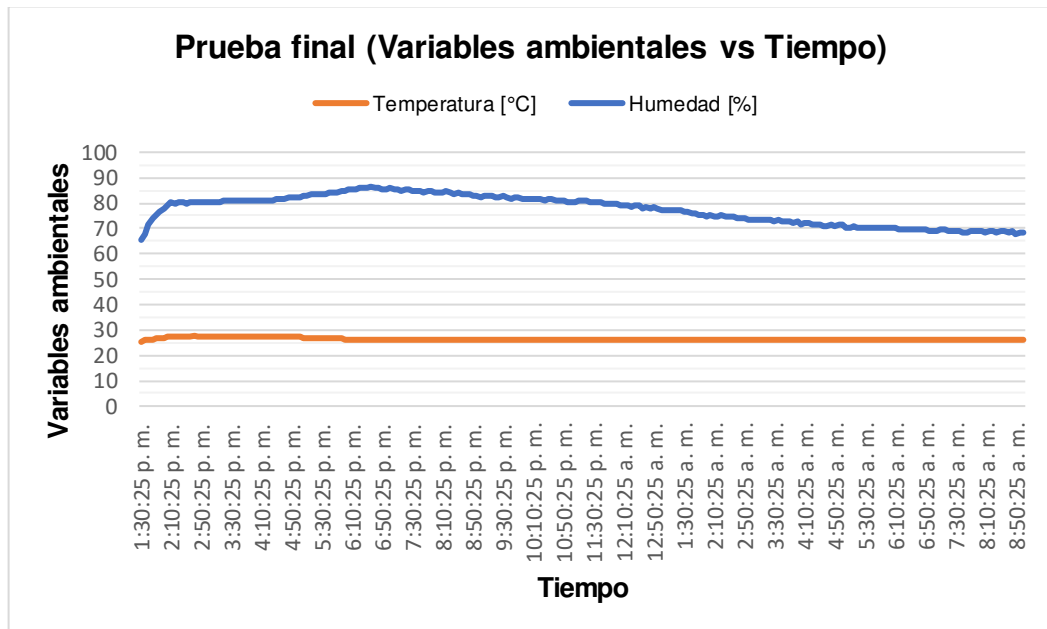
En la primera fase se tuvieron en cuenta los valores de set point de la primera etapa del hongo Shiitake “Crecimiento del micelio”, con el fin de corroborar que el sistema de control planteado si tenga la capacidad de cumplir los requisitos necesarios para el correcto desarrollo del producto deseado. Es así como, los sets points fueron: 26°C de temperatura, 80% de humedad, oscuridad total y máximo 1000ppm de concentración de CO₂.

Por su parte, en la segunda fase los cambios que se realizaron en los sets points a diferencia de la primera fase fueron bajar de 80% a 60% la humedad y encender las luces. Cabe aclarar, que el cambio en el set point de humedad se realizó debido a que esta ha demostrado ser la variable más compleja de controlar hasta el momento (según las pruebas realizadas con antelación), por ende, con esta prueba se quiso analizar más a fondo su comportamiento.

Ahora bien, la razón por la cual la temperatura no se modificó, es decir, se mantuvo en 26°C, es debido a que se quiso analizar en detalle el comportamiento del sistema netamente en la fase de calentamiento, esto gracias a lo que se pudo concluir en las primeras pruebas de temperatura que se ejecutaron con anterioridad. El enfriamiento no será un problema.

Finalmente, al ver el comportamiento de la concentración de CO₂ en la gráfica (Figura 62) se cumple lo esperado, es decir, que no se haya presentado ningún cambio drástico en esta variable. Esto debido a que, la prueba se realizó en ausencia de cualquier ente, ya sea de los hongos Shiitake o de seres humanos, que pudieran haber generado CO₂ en el ambiente del recinto. Sin embargo, cuando ya empiece el proceso de cultivo de los hongos Shiitake, el recinto contará con un extractor que se activara y desactivara según el controlador le ordene dependiendo de los valores que el sensor de CO₂ detecte, garantizando de esta forma no superar los límites exigidos y tener un ambiente controlado en su totalidad.

Figura 63: Gráfica prueba final (Variables ambientales vs Tiempo) – Vista de detalle a los valores de Temperatura y Humedad



Fuente: Autor

La gráfica (Figura 63) le permite al lector visualizar de una forma más certera el comportamiento y el control ejecutado sobre las variables de temperatura y humedad en la prueba final. De esta gráfica resulta interesante el hecho de que la variable de humedad no presentó en ningún momento de la prueba caídas abruptas en sus valores (como se había expuesto en pruebas anteriores), destacando el suceso de que en esta prueba, al ser la definitiva, todos los componentes del sistema de control y supervisión se colocaron en acción, y a disposición de recibir órdenes para su activación por parte del controlador, entre ellos el calentador eléctrico. A su vez, se realizó una modificación en el aire acondicionado, que constó en la redirección del flujo de aire al elevar las paletas del mismo, con el fin de que no perturbara la lectura de datos en los sensores al golpear directamente el aire forzado con ellos. Gracias a estos cambios (accionamiento del calentador eléctrico y redirección del flujo del aire acondicionado) se puede concluir que estos son las condiciones ideales que requiere la variable humedad para no presentar perturbaciones en sus valores, y cumplir a cabalidad con su propósito designado.

Por su parte, se demostró el correcto funcionamiento tanto de la aplicación diseñada (Shiitake V1.0), como de la programación realizada en el controlador (tarjeta Arduino MEGA 2560), esto se puede asegurar debido a que el cambio de fases se efectuó a las 11:30pm del 10 de agosto del año 2021, concordando de esta forma de manera exitosa con la programación de la prueba en cuestión (Figura 61). Es en este momento donde se nota visualmente en la gráfica (Figura 62) que la luminosidad cambió su magnitud repentinamente debido al cambio de fase de luces apagadas a encendidas. Asimismo, es en ese momento donde comienza el descenso progresivo de la variable de humedad del set point de 80% de la fase 1, hacia el set point de 60% de la fase 2 de la prueba.

Por último, una vez más se demostró que la variable de temperatura no será un problema en la ejecución del sistema de control y supervisión planteado, ya que resulta claro a la vista que el comportamiento de esta variable fue constante y no sufrió ninguna perturbación a lo largo de toda la prueba, manteniéndose siempre en el set point de 26°C deseado.

7. CONCLUSIONES

- Las condiciones ambientales requeridas en el recinto cerrado donde se llevará a cabo el proceso de cultivo del hongo Shiitake serán garantizadas y monitoreadas en todo momento, gracias a que el diseño y creación de la caja controladora (explicada a lo largo de este documento) fue todo un éxito. Esto se puede asegurar gracias a los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento realizadas. Donde se demostró que la lectura de los valores de cada una de las variables ambientales y el accionamiento de cada uno de los actuadores se ejecutó sin error alguno. Siendo esto significado de garantía y seguridad de la calidad que se obtendrá en el producto final, ya que se logró obtener el control total de la atmosfera del recinto, impidiendo de esta forma la muerte prematura del hongo y permitiendo su correcta evolución en cada una de las etapas de su crecimiento.
- La aplicación Shiitake V1.0 cumple a cabalidad su propósito por el cual fue pensada y creada: ejecutar el sistema de control y supervisión para el desarrollo del hongo Shiitake. Sin embargo, algo digno de resaltar es que esta interfaz quedó tan bien diseñada que no tiene limitante alguno sobre el producto al que se le puede efectuar el control de sus variables ambientes, si así lo requiere. Es decir, se logró diseñar una aplicación que es genérica, una aplicación que puede servir en cualquiera sea el caso a estudiar y controlar.
- Si se desea ingresar a la parte comercial, el sistema de control y supervisión expuesto en este documento es el ideal. Esto debido a que se demuestra que no se requiere de una gran cartera para lograr llegar a obtener un producto funcional y confiable que garantice el desarrollo de productos agrícolas de alta relevancia para el ser humano. Siendo así, se logró el desarrollo y creación de un sistema de control y supervisión de variables ambientales, accesible y que fácilmente puede entrar en la competencia comercial dentro del área de la automatización de procesos.
- Las pruebas de funcionamiento realizadas fueron todo un éxito, ya que se logró demostrar el control absoluto que se tuvo sobre las variables de temperatura, luminosidad y concentración de dióxido de carbono (CO₂). Es decir, estas variables ambientales no serán un problema en el sistema de control y supervisión planteado. Sin embargo, esto no significa que la variable de humedad vaya a ser un problema a la hora de ejecutar el sistema de control. La variable de humedad también se logró controlar de una forma exitosa, tal como se demostró en la prueba final, solo que a diferencia del resto de variables mencionadas, la variable de humedad requerirá de un mayor esfuerzo por parte de los equipos encargados de controlarla.

8. RECOMENDACIONES

- Agregar un sistema de energía renovable al recinto (container), más específico, un sistema de energía solar fotovoltaica. Siendo esto de gran ayuda debido a que se verá reflejado en la reducción de los costos de suministro eléctrico, y le dará el plus al sistema de control y supervisión de ser autosostenible, autosuficiente y autodependiente, abriendo la posibilidad de mercado para instalaciones no conectadas a la red (Off Grid).
- Debido a que en este libro se planteó el control del set point del aire acondicionado de una forma manual. Se recomienda incorporar en la programación del sistema un control automático del set point de este componente, ya sea por infrarrojo o alguna otra técnica que permita tener un control automático del set point en su totalidad.
- Instalar un suministro automático de agua para el llenado del tanque del sistema de humidificación, ya sea por medio de sensores de nivel que envíen señales a una electroválvula, o simplemente con algo básico como un sistema de flotador (como el que se puede encontrar en los sanitarios).
- Dado que el ingreso de un ser humano al recinto en medio de la ejecución de un control programado puede perturbador significativamente las condiciones ambientales, o incluso, puede llegar a contaminar la esterilidad del ambiente. Sería un gran avance en el sistema de control y supervisión poder realizar la comunicación entre pc y controlador por medio de vía internet o bluetooth. Inclusive, al añadir esa opción de comunicación inalámbrica se podría enlazar con la tarjeta controladora por medio de un teléfono celular.
- Mejorar la capacidad de humidificación adquiriendo un humidificador ultrasónico industrial, ya sea de 10 o 12 membranas (con flotador incluido). Esto con el propósito de agilizar tiempos en el proceso de control, y claramente, aumentar la eficiencia del sistema en general.

9. LISTA DE REFERENCIAS

- [1] O. Romero-Arenas, M. A. Martínez Guerrero, M. A. Damián Huato, B. Ramírez Valverde, and J. F. López-Olguín, "Producción del hongo Shiitake (*Lentinula Edodes Pegler*) en bloques sintéticos utilizando residuos agroforestales," *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, vol. 6, no. 6, pp. 1229–1238, 2015.
- [2] D. Martínez Carrera, M. Sobal, P. Morales, W. Martínez, M. Martínez, and Y. Mayett, *Los hongos comestibles: propiedades nutricionales, medicinales, y su contribución a la alimentación mexicana. El Shiitake*. 2004.
- [3] J. D. Rodríguez, N. F. Sanabria, and A. Chacón G, "Control de temperatura y humedad para cultivo de hongos comestibles Shiitake," *Visión Electrónica*, vol. 6, no. 1, pp. 104–114, 2012.
- [4] M. E. Ranjbar and J. A. Olfati, "Evaluation of substrate components on Shiitake mushroom properties," *Int. J. Veg. Sci.*, vol. 23, no. 2, pp. 145–150, 2017.
- [5] Á. H. Alarcón López, G. Arias Vargas, C. J. Díaz Ortiz, and J. D. Sotto Vergara, "Sistema de control automático de variables climáticas para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta," *Ing. Solidar.*, vol. 14, no. 24, p. 17, 2018.
- [6] L. L. Qi, M. Zhang, A. S. Mujumdar, X. Y. Meng, and H. Z. Chen, "Comparison of drying characteristics and quality of Shiitake mushrooms (*Lentinus Edodes*) using different drying methods," *Dry. Technol.*, vol. 32, no. 15, pp. 1751–1761, 2014.
- [7] C. A. Chiriví Carreño, "Determinación de un sustrato eficiente para el cultivo de Shiitake (*Lentinula Edodes*) a partir de una mezcla de residuos de producción de café y vaina de arveja (*Pisum Sativa*) en el laboratorio," Universidad Pontificia Bolivariana - Seccional Bucaramanga, 2018.
- [8] H. Wang, M. Zhang, and A. S. Mujumdar, "Comparison of three new drying methods for drying characteristics and quality of Shiitake mushroom (*Lentinus Edodes*)," *Dry. Technol.*, vol. 32, no. 15, pp. 1791–1802, 2014.
- [9] G. A. Arenas Díaz, "Determinación del sustrato de mayor eficiencia para el cultivo de Shiitake (*Lentinula Edodes*) a partir de residuos agrícolas a escala de laboratorio," Universidad Pontificia Bolivariana - Seccional Bucaramanga, 2018.
- [10] T. Bernabé González, G. Mata, M. Cayetano Catarino, and G. Gutiérrez Reyes, "Cultivo experimental del hongo Shiitake, *Lentinula Edodes*, sobre dos subproductos agrícolas en Guerrero, México," *Rev. Mex. Micol.*, no. 23, pp. 63–68, 2006.
- [11] A. W. Chen, "Mushroom Growers' handbook 2. Shiitake mushroom cultivation," in *Mushroom growers' handbook 2*, 2005, pp. 1–15.
- [12] G. Mata, R. Gaitán Hernández, and D. Salmones, *El cultivo del Shiitake: tecnología e innovación en la producción de un alimento y medicina ancestral*, Primera ed. Xalapa, Veracruz, México, 2020.
- [13] J. C. Pedreros Mosquera, "Evaluación del crecimiento y producción de *Lentinula Edodes* (Shiitake), en residuos agroindustriales," Pontificia

- Universidad Javeriana, 2007.
- [14] C. E. Ardón Lopez, "La producción de los hongos comestibles," Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007.
 - [15] J. J. Rojas Vallejos, "Producción del hongo comestible Pleurotus Ostreatus en pulpa de café," Universidad nacional Pedro Ruiz Gallo, 2016.
 - [16] C. A. Arredondo Peña and A. M. Perez Martinez, "Evaluación del crecimiento del hongo Lentinula Edodes Berk Pegler en residuos agroindustriales," Universidad EAFIT, 2007.
 - [17] M. L. Costantini R and L. M. Juanías A, "Evaluación preliminar de los efectos causados por la luz y la temperatura en el cultivo de 'Lentinus Edodes' Shiitake," Universidad de los Andes, 2003.
 - [18] ARDUINO, "¿Qué es Arduino?," *Arduino Official Website*, 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.

10. ANEXOS

10.1. Datasheet links

- **Tarjeta Arduino MEGA 2560 – Vista posterior**

<https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>

- **MicroSD Card Adapter Catalex**

https://curtocircuito.com.br/datasheet/modulo/cartao_micro_SD.pdf

- **Módulo adaptador PCF8574**

https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcf8574.pdf?ts=1629225816777&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

- **Pantalla LCD HD44780U**

<https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>

- **Sensor de humedad relativa y temperatura HTU21D**

https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/1899_HTU21D.pdf

- **Sensor de luz BH1750**

<https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf>

- **Sensor de CO₂ CCS811**

https://cdn.sparkfun.com/assets/2/c/c/6/5/CN04-2019_attachment_CCS811_Datasheet_v1-06.pdf

- **Sensor de presión MPL115A2**

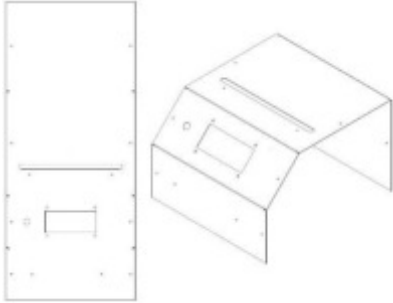
<https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPL115A2.pdf>

- **Reloj en tiempo real DS3231**

<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>

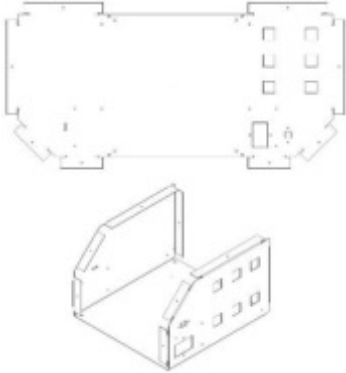
10.2. Planos de corte

Caja superior



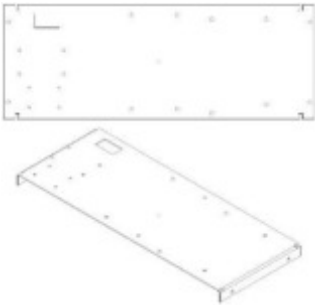
Fuente: Autor

Caja inferior



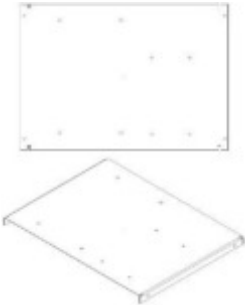
Fuente: Autor

Base de control



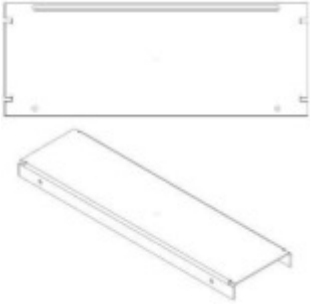
Fuente: Autor

Base de potencia



Fuente: Autor

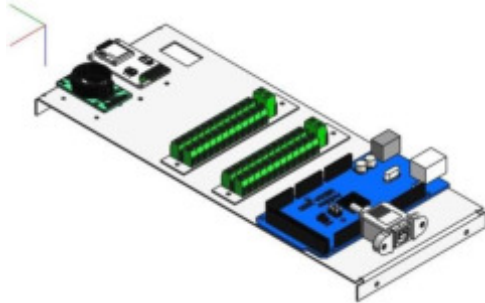
Base de sensores



Fuente: Autor

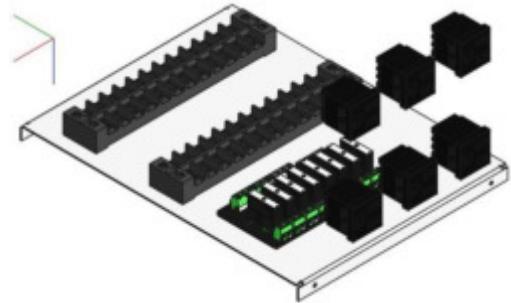
10.3. Simulaciones virtuales

Ensamble base de control



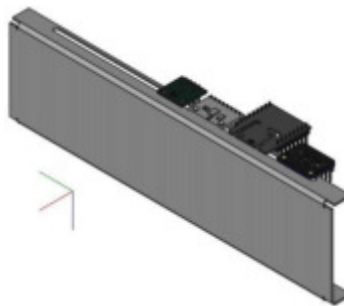
Fuente: Autor

Ensamble base de potencia



Fuente: Autor

Ensamble base de sensores



Fuente: Autor

10.4. LOG prueba final

2021-08-10-13:30:25:El Sistema empezó a realizar el control
2021-08-10-13:30:25:Humidificador activado
2021-08-10-13:30:25:Calentador activado
2021-08-10-13:33:55:Calentador desactivado
2021-08-10-14:10:25:Humidificador desactivado
2021-08-10-14:11:55:Humidificador activado
2021-08-10-14:12:25:Humidificador desactivado
2021-08-10-14:12:55:Humidificador activado
2021-08-10-14:13:55:Humidificador desactivado
2021-08-10-14:14:25:Humidificador activado
2021-08-10-14:14:55:Humidificador desactivado
2021-08-10-14:15:25:Humidificador activado
2021-08-10-14:17:25:Humidificador desactivado
2021-08-10-14:17:55:Humidificador activado

2021-08-10-14:18:25:Humidificador desactivado
2021-08-10-14:20:25:Humidificador activado
2021-08-10-14:20:55:Humidificador desactivado
2021-08-10-14:21:25:Humidificador activado
2021-08-10-14:21:55:Humidificador desactivado
2021-08-10-14:23:55:Humidificador activado
2021-08-10-14:25:55:Humidificador desactivado
2021-08-10-14:29:25:Humidificador activado
2021-08-10-14:29:55:Humidificador desactivado
2021-08-10-14:30:25:Humidificador activado
2021-08-10-14:30:55:Humidificador desactivado
2021-08-10-14:33:25:Humidificador activado
2021-08-10-14:33:55:Humidificador desactivado
2021-08-10-14:38:55:Humidificador activado
2021-08-10-14:39:25:Humidificador desactivado
2021-08-10-14:43:25:Humidificador activado
2021-08-10-14:43:55:Humidificador desactivado
2021-08-10-18:34:55:Calentador activado
2021-08-10-18:35:55:Calentador desactivado
2021-08-10-18:43:25:Calentador activado
2021-08-10-18:43:55:Calentador desactivado
2021-08-10-18:48:55:Calentador activado
2021-08-10-18:49:55:Calentador desactivado
2021-08-10-18:59:55:Calentador activado
2021-08-10-19:00:25:Calentador desactivado
2021-08-10-19:03:25:Calentador activado
2021-08-10-19:03:55:Calentador desactivado
2021-08-10-19:09:25:Calentador activado
2021-08-10-19:10:25:Calentador desactivado
2021-08-10-19:19:55:Calentador activado
2021-08-10-19:20:25:Calentador desactivado
2021-08-10-19:24:25:Calentador activado
2021-08-10-19:25:25:Calentador desactivado
2021-08-10-19:33:55:Calentador activado
2021-08-10-19:34:25:Calentador desactivado
2021-08-10-19:37:55:Calentador activado
2021-08-10-19:38:25:Calentador desactivado
2021-08-10-19:42:25:Calentador activado
2021-08-10-19:43:25:Calentador desactivado
2021-08-10-19:51:25:Calentador activado
2021-08-10-19:51:55:Calentador desactivado
2021-08-10-19:55:25:Calentador activado
2021-08-10-19:56:25:Calentador desactivado
2021-08-10-20:03:25:Calentador activado
2021-08-10-20:04:25:Calentador desactivado

2021-08-10-20:10:55:Calentador activado
2021-08-10-20:11:25:Calentador desactivado
2021-08-10-20:14:55:Calentador activado
2021-08-10-20:15:55:Calentador desactivado
2021-08-10-20:22:25:Calentador activado
2021-08-10-20:23:25:Calentador desactivado
2021-08-10-20:29:55:Calentador activado
2021-08-10-20:30:25:Calentador desactivado
2021-08-10-20:33:55:Calentador activado
2021-08-10-20:34:55:Calentador desactivado
2021-08-10-20:40:55:Calentador activado
2021-08-10-20:41:55:Calentador desactivado
2021-08-10-20:46:55:Calentador activado
2021-08-10-20:47:55:Calentador desactivado
2021-08-10-20:53:25:Calentador activado
2021-08-10-20:53:55:Calentador desactivado
2021-08-10-20:56:55:Calentador activado
2021-08-10-20:57:55:Calentador desactivado
2021-08-10-21:03:55:Calentador activado
2021-08-10-21:04:25:Calentador desactivado
2021-08-10-21:06:25:Calentador activado
2021-08-10-21:06:55:Calentador desactivado
2021-08-10-21:09:55:Calentador activado
2021-08-10-21:10:55:Calentador desactivado
2021-08-10-21:15:25:Calentador activado
2021-08-10-21:15:55:Calentador desactivado
2021-08-10-21:18:55:Calentador activado
2021-08-10-21:19:55:Calentador desactivado
2021-08-10-21:24:25:Calentador activado
2021-08-10-21:25:25:Calentador desactivado
2021-08-10-21:29:55:Calentador activado
2021-08-10-21:30:55:Calentador desactivado
2021-08-10-21:35:55:Calentador activado
2021-08-10-21:36:55:Calentador desactivado
2021-08-10-21:42:25:Calentador activado
2021-08-10-21:42:55:Calentador desactivado
2021-08-10-21:45:55:Calentador activado
2021-08-10-21:46:55:Calentador desactivado
2021-08-10-21:51:55:Calentador activado
2021-08-10-21:52:55:Calentador desactivado
2021-08-10-21:57:55:Calentador activado
2021-08-10-21:58:25:Calentador desactivado
2021-08-10-22:01:25:Calentador activado
2021-08-10-22:01:55:Calentador desactivado
2021-08-10-22:04:25:Calentador activado

2021-08-10-22:05:25:Calentador desactivado
2021-08-10-22:10:55:Calentador activado
2021-08-10-22:11:25:Calentador desactivado
2021-08-10-22:14:25:Calentador activado
2021-08-10-22:15:25:Calentador desactivado
2021-08-10-22:20:55:Calentador activado
2021-08-10-22:21:55:Calentador desactivado
2021-08-10-22:26:25:Calentador activado
2021-08-10-22:26:55:Calentador desactivado
2021-08-10-22:29:55:Calentador activado
2021-08-10-22:30:55:Calentador desactivado
2021-08-10-22:35:25:Calentador activado
2021-08-10-22:36:25:Calentador desactivado
2021-08-10-22:41:25:Calentador activado
2021-08-10-22:41:55:Calentador desactivado
2021-08-10-22:45:25:Calentador activado
2021-08-10-22:46:25:Calentador desactivado
2021-08-10-22:51:25:Calentador activado
2021-08-10-22:52:25:Calentador desactivado
2021-08-10-22:53:55:Humidificador activado
2021-08-10-22:54:25:Humidificador desactivado
2021-08-10-22:57:55:Calentador activado
2021-08-10-22:58:55:Calentador desactivado
2021-08-10-23:03:55:Calentador activado
2021-08-10-23:04:55:Calentador desactivado
2021-08-10-23:10:25:Calentador activado
2021-08-10-23:11:25:Calentador desactivado
2021-08-10-23:12:55:Humidificador activado
2021-08-10-23:13:55:Humidificador desactivado
2021-08-10-23:15:25:Calentador activado
2021-08-10-23:16:25:Calentador desactivado
2021-08-10-23:20:25:Calentador activado
2021-08-10-23:21:25:Calentador desactivado
2021-08-10-23:22:55:Humidificador activado
2021-08-10-23:23:25:Humidificador desactivado
2021-08-10-23:26:25:Calentador activado
2021-08-10-23:27:25:Calentador desactivado
2021-08-10-23:30:25:Luces activadas
2021-08-10-23:30:55:Calentador activado
2021-08-10-23:31:55:Calentador desactivado
2021-08-10-23:35:55:Calentador activado
2021-08-10-23:36:55:Calentador desactivado
2021-08-10-23:41:25:Calentador activado
2021-08-10-23:42:25:Calentador desactivado
2021-08-10-23:46:25:Calentador activado

2021-08-10-23:47:25:Calentador desactivado
2021-08-10-23:51:25:Calentador activado
2021-08-10-23:52:25:Calentador desactivado
2021-08-10-23:56:25:Calentador activado
2021-08-10-23:57:25:Calentador desactivado
2021-08-11-00:00:55:Calentador activado
2021-08-11-00:01:55:Calentador desactivado
2021-08-11-00:05:55:Calentador activado
2021-08-11-00:06:55:Calentador desactivado
2021-08-11-00:10:55:Calentador activado
2021-08-11-00:11:55:Calentador desactivado
2021-08-11-00:15:25:Calentador activado
2021-08-11-00:15:55:Calentador desactivado
2021-08-11-00:18:25:Calentador activado
2021-08-11-00:19:25:Calentador desactivado
2021-08-11-00:22:25:Calentador activado
2021-08-11-00:22:55:Calentador desactivado
2021-08-11-00:25:25:Calentador activado
2021-08-11-00:26:25:Calentador desactivado
2021-08-11-00:29:55:Calentador activado
2021-08-11-00:30:55:Calentador desactivado
2021-08-11-00:33:25:Calentador activado
2021-08-11-00:34:25:Calentador desactivado
2021-08-11-00:37:55:Calentador activado
2021-08-11-00:38:25:Calentador desactivado
2021-08-11-00:41:25:Calentador activado
2021-08-11-00:42:25:Calentador desactivado
2021-08-11-00:45:55:Calentador activado
2021-08-11-00:46:55:Calentador desactivado
2021-08-11-00:49:55:Calentador activado
2021-08-11-00:50:55:Calentador desactivado
2021-08-11-00:54:25:Calentador activado
2021-08-11-00:55:25:Calentador desactivado
2021-08-11-00:58:25:Calentador activado
2021-08-11-00:59:25:Calentador desactivado
2021-08-11-01:02:25:Calentador activado
2021-08-11-01:03:25:Calentador desactivado
2021-08-11-01:06:55:Calentador activado
2021-08-11-01:07:55:Calentador desactivado
2021-08-11-01:10:55:Calentador activado
2021-08-11-01:11:55:Calentador desactivado
2021-08-11-01:15:25:Calentador activado
2021-08-11-01:16:25:Calentador desactivado
2021-08-11-01:19:25:Calentador activado
2021-08-11-01:20:25:Calentador desactivado

2021-08-11-01:24:25:Calentador activado
2021-08-11-01:25:25:Calentador desactivado
2021-08-11-01:28:25:Calentador activado
2021-08-11-01:28:55:Calentador desactivado
2021-08-11-01:30:55:Calentador activado
2021-08-11-01:31:55:Calentador desactivado
2021-08-11-01:35:25:Calentador activado
2021-08-11-01:36:55:Calentador desactivado
2021-08-11-01:41:55:Calentador activado
2021-08-11-01:42:55:Calentador desactivado
2021-08-11-01:46:25:Calentador activado
2021-08-11-01:47:55:Calentador desactivado
2021-08-11-01:52:25:Calentador activado
2021-08-11-01:53:25:Calentador desactivado
2021-08-11-01:57:55:Calentador activado
2021-08-11-01:59:25:Calentador desactivado
2021-08-11-02:03:55:Calentador activado
2021-08-11-02:04:55:Calentador desactivado
2021-08-11-02:08:25:Calentador activado
2021-08-11-02:09:25:Calentador desactivado
2021-08-11-02:13:25:Calentador activado
2021-08-11-02:14:25:Calentador desactivado
2021-08-11-02:17:55:Calentador activado
2021-08-11-02:18:25:Calentador desactivado
2021-08-11-02:20:55:Calentador activado
2021-08-11-02:22:25:Calentador desactivado
2021-08-11-02:26:55:Calentador activado
2021-08-11-02:27:55:Calentador desactivado
2021-08-11-02:31:25:Calentador activado
2021-08-11-02:31:55:Calentador desactivado
2021-08-11-02:34:25:Calentador activado
2021-08-11-02:35:25:Calentador desactivado
2021-08-11-02:38:55:Calentador activado
2021-08-11-02:39:55:Calentador desactivado
2021-08-11-02:43:25:Calentador activado
2021-08-11-02:44:55:Calentador desactivado
2021-08-11-02:49:25:Calentador activado
2021-08-11-02:50:25:Calentador desactivado
2021-08-11-02:53:25:Calentador activado
2021-08-11-02:54:25:Calentador desactivado
2021-08-11-02:57:55:Calentador activado
2021-08-11-02:58:55:Calentador desactivado
2021-08-11-03:02:25:Calentador activado
2021-08-11-03:03:25:Calentador desactivado
2021-08-11-03:06:55:Calentador activado

2021-08-11-03:07:55:Calentador desactivado
2021-08-11-03:10:55:Calentador activado
2021-08-11-03:11:55:Calentador desactivado
2021-08-11-03:15:25:Calentador activado
2021-08-11-03:16:25:Calentador desactivado
2021-08-11-03:19:55:Calentador activado
2021-08-11-03:21:25:Calentador desactivado
2021-08-11-03:25:55:Calentador activado
2021-08-11-03:26:55:Calentador desactivado
2021-08-11-03:30:55:Calentador activado
2021-08-11-03:31:55:Calentador desactivado
2021-08-11-03:35:25:Calentador activado
2021-08-11-03:36:55:Calentador desactivado
2021-08-11-03:41:25:Calentador activado
2021-08-11-03:42:25:Calentador desactivado
2021-08-11-03:45:55:Calentador activado
2021-08-11-03:46:55:Calentador desactivado
2021-08-11-03:50:25:Calentador activado
2021-08-11-03:51:25:Calentador desactivado
2021-08-11-03:54:25:Calentador activado
2021-08-11-03:55:25:Calentador desactivado
2021-08-11-03:59:55:Calentador activado
2021-08-11-04:00:55:Calentador desactivado
2021-08-11-04:03:55:Calentador activado
2021-08-11-04:04:55:Calentador desactivado
2021-08-11-04:08:55:Calentador activado
2021-08-11-04:10:25:Calentador desactivado
2021-08-11-04:15:25:Calentador activado
2021-08-11-04:15:55:Calentador desactivado
2021-08-11-04:17:55:Calentador activado
2021-08-11-04:18:55:Calentador desactivado
2021-08-11-04:22:55:Calentador activado
2021-08-11-04:23:55:Calentador desactivado
2021-08-11-04:27:55:Calentador activado
2021-08-11-04:28:55:Calentador desactivado
2021-08-11-04:32:55:Calentador activado
2021-08-11-04:33:55:Calentador desactivado
2021-08-11-04:38:25:Calentador activado
2021-08-11-04:39:25:Calentador desactivado
2021-08-11-04:42:55:Calentador activado
2021-08-11-04:43:25:Calentador desactivado
2021-08-11-04:46:25:Calentador activado
2021-08-11-04:47:25:Calentador desactivado
2021-08-11-04:51:25:Calentador activado
2021-08-11-04:51:55:Calentador desactivado

2021-08-11-04:54:55:Calentador activado
2021-08-11-04:55:55:Calentador desactivado
2021-08-11-04:59:55:Calentador activado
2021-08-11-05:00:25:Calentador desactivado
2021-08-11-05:02:55:Calentador activado
2021-08-11-05:03:55:Calentador desactivado
2021-08-11-05:08:25:Calentador activado
2021-08-11-05:09:25:Calentador desactivado
2021-08-11-05:13:25:Calentador activado
2021-08-11-05:13:55:Calentador desactivado
2021-08-11-05:16:25:Calentador activado
2021-08-11-05:17:25:Calentador desactivado
2021-08-11-05:21:55:Calentador activado
2021-08-11-05:22:55:Calentador desactivado
2021-08-11-05:26:55:Calentador activado
2021-08-11-05:27:55:Calentador desactivado
2021-08-11-05:31:55:Calentador activado
2021-08-11-05:32:55:Calentador desactivado
2021-08-11-05:36:25:Calentador activado
2021-08-11-05:37:25:Calentador desactivado
2021-08-11-05:41:25:Calentador activado
2021-08-11-05:41:55:Calentador desactivado
2021-08-11-05:43:55:Calentador activado
2021-08-11-05:44:55:Calentador desactivado
2021-08-11-05:47:55:Calentador activado
2021-08-11-05:48:55:Calentador desactivado
2021-08-11-05:51:25:Calentador activado
2021-08-11-05:51:55:Calentador desactivado
2021-08-11-05:55:25:Calentador activado
2021-08-11-05:56:25:Calentador desactivado
2021-08-11-06:00:25:Calentador activado
2021-08-11-06:01:25:Calentador desactivado
2021-08-11-06:04:55:Calentador activado
2021-08-11-06:05:55:Calentador desactivado
2021-08-11-06:10:25:Calentador activado
2021-08-11-06:11:55:Calentador desactivado
2021-08-11-06:17:25:Calentador activado
2021-08-11-06:18:25:Calentador desactivado
2021-08-11-06:22:25:Calentador activado
2021-08-11-06:23:25:Calentador desactivado
2021-08-11-06:28:25:Calentador activado
2021-08-11-06:29:25:Calentador desactivado
2021-08-11-06:33:25:Calentador activado
2021-08-11-06:34:25:Calentador desactivado
2021-08-11-06:38:55:Calentador activado

2021-08-11-06:39:55:Calentador desactivado
2021-08-11-06:43:55:Calentador activado
2021-08-11-06:44:55:Calentador desactivado
2021-08-11-06:48:55:Calentador activado
2021-08-11-06:49:25:Calentador desactivado
2021-08-11-06:51:55:Calentador activado
2021-08-11-06:52:55:Calentador desactivado
2021-08-11-06:57:25:Calentador activado
2021-08-11-06:58:25:Calentador desactivado
2021-08-11-07:02:25:Calentador activado
2021-08-11-07:03:25:Calentador desactivado
2021-08-11-07:07:25:Calentador activado
2021-08-11-07:08:25:Calentador desactivado
2021-08-11-07:11:55:Calentador activado
2021-08-11-07:12:55:Calentador desactivado
2021-08-11-07:16:55:Calentador activado
2021-08-11-07:17:55:Calentador desactivado
2021-08-11-07:22:25:Calentador activado
2021-08-11-07:23:25:Calentador desactivado
2021-08-11-07:27:55:Calentador activado
2021-08-11-07:28:25:Calentador desactivado
2021-08-11-07:31:25:Calentador activado
2021-08-11-07:32:25:Calentador desactivado
2021-08-11-07:37:25:Calentador activado
2021-08-11-07:38:25:Calentador desactivado
2021-08-11-07:42:55:Calentador activado
2021-08-11-07:43:55:Calentador desactivado
2021-08-11-07:48:55:Calentador activado
2021-08-11-07:49:55:Calentador desactivado
2021-08-11-07:55:55:Calentador activado
2021-08-11-07:56:25:Calentador desactivado
2021-08-11-07:59:25:Calentador activado
2021-08-11-08:00:25:Calentador desactivado
2021-08-11-08:06:55:Calentador activado
2021-08-11-08:07:55:Calentador desactivado
2021-08-11-08:12:55:Calentador activado
2021-08-11-08:13:25:Calentador desactivado
2021-08-11-08:17:25:Calentador activado
2021-08-11-08:17:55:Calentador desactivado
2021-08-11-08:21:25:Calentador activado
2021-08-11-08:22:25:Calentador desactivado
2021-08-11-08:31:55:Calentador activado
2021-08-11-08:32:25:Calentador desactivado
2021-08-11-08:36:55:Calentador activado
2021-08-11-08:37:25:Calentador desactivado

2021-08-11-08:45:25:Calentador activado
2021-08-11-08:46:25:Calentador desactivado
2021-08-11-09:00:25:El Sistema de control finalizó

10.5. Código fuente

Se puede apreciar a partir de la siguiente página.


```

82         09: N_FASES -> byte (1 Byte)
83         10: DATO1 -> sizeof(datoFases)
84         --: DATO2 -> sizeof(datoFases)
85         ...
86
87     */
88
89     // ***** Encabezados *****
90     // Sensores, Display y Actuadores
91     #include <LiquidCrystal_I2C.h> /*!< Incluye encabezado de la clase LiquidCrystal_I2C para manejar el Display por I2C. */
92     #include <BH1750.h> /*!< Incluye encabezado de la clase BH1750 para leer la luminosidad por I2C. */
93     #include <Adafruit_MPL115A2.h> /*!< Incluye encabezado de la clase Adafruit_MPL115A2 para leer la presión atmosférica por I2C. */
94     #include <SparkFunHTU21D.h> /*!< Incluye encabezado de la clase SparkFunHTU21D para leer la temperatura y la humedad del aire por I2C. */
95     #include <SparkFunCCS811.h> /*!< Incluye encabezado de la clase SparkFunCCS811.h para leer la cantidad de CO2 por I2C. */
96     // #include <Adafruit_CCS811.h> /*!< Incluye encabezado de la clase Adafruit_CCS811 para leer la cantidad de CO2 por I2C. */
97     // Utilidades
98     #include <SD.h>
99     #include "RTClib.h"
100    // Usuario
101    #include <ComandosSerial.h> /*!< Incluye encabezado de la clase ComandosSerial para manejar comunicación con el puerto serial con una aplicación. */
102    #include <shiitake.h>
103
104
105    // ***** Variables Globales *****
106    /*! \struct setpoint
107    \brief Estructura de datos de con información de valores deseados.
108
109    Estructura de los datos que identifican setpoint.
110    */
111    struct setpoint{
112        double H;
113        double T;
114        double CO2;
115        bool Luz;
116    };
117
118    setpoint ajuste={0,0,0,false}; /*!< estructura usada para usar en el control. */
119    char* datoSerial=NULLptr; /*!< ptr a un char nulo, usado en comunicación serial. */
120    bool ejecutandose=false; /*!< Variable que es verdadera si se está ejecutando una prueba. */
121    bool controlar=false; /*!< Variable que es verdadera si el sistema está realizando control. */
122    bool estadoSD=false; /*!< Variable usada para identificar si la SD se abrió correctamente. */
123
124    DateTime ahora;
125    DateTime tiempoDatos;
126    DateTime tiempoControl;
127    DateTime tiempoDisplay;
128    uint32_t tiempoEjecutado;
129    uint32_t tiempoEtapa;
130    uint32_t tiempoTotal;
131    uint32_t duracionEtapa;
132    DateTime finEtapa;
133    DateTime fechaInicio;
134    String etapa;
135    int modDisplay=0;
136
137    float P=0,T=0,H=0,L=0,CO2; /*!< Variables de los sensores. */
138    byte aAcute[8] = {0x0001,0x0010,0x0110,0x0001,0x0111,0x1001,0x0110};
139    byte oAcute[8] = {0x0001,0x0010,0x0110,0x1001,0x1001,0x1001,0x0110};
140    byte uAcute[8] = {0x0010,0x0100,0x1001,0x1001,0x1001,0x1001,0x0110};
141    byte wall[8] = {0x1010,0x0101,0x1010,0x0101,0x1010,0x0101,0x1010};
142
143    // ***** Constantes y Definiciones *****
144    #define pinSalidaExtractor 5 /*!< Pin de salida del Ventilador de extracción */
145    #define pinSalidaHumidificador 6 /*!< Pin de salida del Humidificador */
146    #define pinSalidaCalentadorAire 7 /*!< Pin de salida del Calentador de Aire */
147    #define pinSalidaLuces 8 /*!< Pin de salida del Luces */
148    #define pinSalidaR5 9 /*!< Pin de salida a relé */
149    #define pinSalidaR6 10 /*!< Pin de salida a relé */
150    #define pinSalidaPiloto 11 /*!< Pin de salida del Piloto */
151    #define pinSalidaR8 12 /*!< Pin de salida a relé */
152    #define pinSalidaVentHum 13 /*!< Pin de salida ventilador del Humidificador */
153    #define pinChipSelect_SD 4 /*!< Pin que controla la SD */
154    #define cfgControlador "Arduino Mega"
155    #define cfgVersion "1.0"
156    #define intervaloTomaDatos 300 /*!< Intervalo de tiempo en segundos en que guarda datos en la SD */
157    #define intervaloControl 30 /*!< Intervalo de tiempo en segundos para ejecutar acciones de control */
158    #define intervaloDisplay 5 /*!< Intervalo de tiempo en segundos para ejecutar acciones del LCD */
159    #define CCS811_ADDR 0x5A /*!< Dirección I2C del sensor de CO2 */
160
161    // ***** Creación de los objetos *****
162    // objeto del Display
163    LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // Dirección I2C=0x27, Columnas=20, Líneas=4
164    // objeto del Sensor de Presión
165    Adafruit_MPL115A2 presion;

```

```

166 // objeto del Sensor de Humedad y Temperatura
167 HTU21D humedad_temperatura;
168 // objeto del Sensor de Luminosidad
169 BH1750 luminosidad;
170 // objeto del Sensor de CO2
171 //Adafruit_CCS811 sensorCO2;
172 CCS811 sensorCO2(CCS811_ADDR);
173 // objeto para el manejo de los Comandos del puerto serial
174 ComandosSerial cmd;
175 // objeto del TiempoReal
176 //RTC_DS1307 rtc;
177 RTC_DS3231 rtc;
178 // Implementación de la clase Shiitake
179 Shiitake::cfgShiitake cfg=
{pinSalidaPiloto,pinSalidaLuces,pinSalidaCalentadorAire,pinSalidaHumidificador,pinSalidaExtractor,rtc};
180 Shiitake shiitake(cfg);
181
182 /*! dateTime
183 \brief Ajuste de la fecha de la SD.
184
185 Esta función es llamada por SdFile::dateTimeCallback() con el fin de ajustar la fecha y hora correcta en el sistema FAT
cuando se guarda un archivo.
186 */
187 void dateTime(uint16_t* date, uint16_t* time){
188   DateTime fecha=shiitake.now();
189   *date = FAT_DATE(fecha.year(), fecha.month(), fecha.day());
190   *time = FAT_TIME(fecha.hour(), fecha.minute(), fecha.second());
191 }
192
193 /*! setup
194 \brief Configuración.
195
196 Configuración inicial del sistema de control, se ejecuta una sola vez al energizar el controlador.
197 */
198 void setup() {
199   // Código que se ejecuta una sola vez al inicio:
200   pinMode(pinSalidaVentHum, OUTPUT);
201   ejecutando=shiitake.leerEstado_EEPROM();
202   // *****Configuración Comunicación Serial *****
203   Serial.begin(9600); /*!< velocidad de comunicación serial 9600 bps */
204   cmd.agregarComando("UTC",CMD_AjustarRTC); /*!< asocia el comando serial UTC con la subrutina CMD_AjustarRTC */
205   cmd.agregarComando("HIS",CMD_GuardarHistorico); /*!< asocia el comando serial HIS con la subrutina CMD_GuardarHistorico */
206   cmd.agregarComando("LOG",CMD_GuardarEventos); /*!< asocia el comando serial LOG con la subrutina CMD_GuardarEventos */
207   cmd.agregarComando("ACT",CMD_Activar); /*!< asocia el comando serial ACT con la subrutina CMD_Activar */
208   cmd.agregarComando("DES",CMD_Desactivar); /*!< asocia el comando serial DES con la subrutina CMD_Desactivar */
209   cmd.agregarComando("EST",CMD_Estado); /*!< asocia el comando serial EST con la subrutina CMD_Estado */
210   cmd.agregarComando("RST",CMD_Reseteo); /*!< asocia el comando serial RST con la subrutina CMD_Reseteo */
211   cmd.agregarComando("FAS",CMD_AgregarFase); /*!< asocia el comando serial FAS con la subrutina CMD_AgregarFase */
212   cmd.agregarComando("FEC",CMD_AgregarFechaInicio); /*!< asocia el comando serial FEC con la subrutina CMD_AgregarFechaInicio */
213   cmd.agregarComando("DAT?",CMD_MostrarDatos); /*!< asocia el comando serial DAT con la subrutina CMD_MostrarDatos */
214   cmd.agregarComando("NOW",CMD_Now); /*!< asocia el comando serial NOW con la subrutina CMD_Now */
215   cmd.agregarComando("H?",CMD_obtenerH); /*!< asocia el comando serial H? con la subrutina CMD_obtenerH */
216   cmd.agregarComando("T?",CMD_obtenerT); /*!< asocia el comando serial T? con la subrutina CMD_obtenerT */
217   cmd.agregarComando("CO2?",CMD_obtenerCO2); /*!< asocia el comando serial CO2? con la subrutina CMD_obtenerCO2 */
218   cmd.agregarComando("L?",CMD_obtenerL); /*!< asocia el comando serial L? con la subrutina CMD_obtenerL */
219   cmd.agregarComando("P?",CMD_obtenerP); /*!< asocia el comando serial P? con la subrutina CMD_obtenerP */
220   cmd.agregarComando("ON_HUM",CMD_ON_HUM); /*!< asocia el comando serial ON_HUM con la subrutina CMD_ON_HUM */
221   cmd.agregarComando("OFF_HUM",CMD_OFF_HUM); /*!< asocia el comando serial OFF_HUM con la subrutina CMD_OFF_HUM */
222   cmd.agregarComando("ON_CAL",CMD_ON_CAL); /*!< asocia el comando serial ON_CAL con la subrutina CMD_ON_CAL */
223   cmd.agregarComando("OFF_CAL",CMD_OFF_CAL); /*!< asocia el comando serial OFF_CAL con la subrutina CMD_OFF_CAL */
224   cmd.agregarComando("ON_EXT",CMD_ON_EXT); /*!< asocia el comando serial ON_EXT con la subrutina CMD_ON_EXT */
225   cmd.agregarComando("OFF_EXT",CMD_OFF_EXT); /*!< asocia el comando serial OFF_EXT con la subrutina CMD_OFF_EXT */
226   cmd.agregarComando("ON_LUC",CMD_ON_LUC); /*!< asocia el comando serial ON_LUC con la subrutina CMD_ON_LUC */
227   cmd.agregarComando("OFF_LUC",CMD_OFF_LUC); /*!< asocia el comando serial OFF_LUC con la subrutina CMD_OFF_LUC */
228   cmd.agregarComando("FASES?",CMD_ENVIAR_FASES); /*!< asocia el comando serial PERFIL? con la subrutina CMD_ENVIAR_PERFIL */
229   cmd.agregarComando("INICIO?",CMD_ENVIAR_INICIO); /*!< asocia el comando serial INICIO? con la subrutina CMD_ENVIAR_INICIO */
230   cmd.agregarComando("VAR?",CMD_ENVIAR_VARIABLES); /*!< asocia el comando serial VAR? con la subrutina CMD_ENVIAR_VARIABLES */
231   cmd.agregarComando("REL?",CMD_ENVIAR_ESTADO_RELES); /*!< asocia el comando serial REL? con la subrutina
CMD_ENVIAR_ESTADO_RELES */
232   cmd.agregarComando("AVA?",CMD_ENVIAR_AVANCE); /*!< asocia el comando serial AVA?? con la subrutina CMD_ENVIAR_AVANCE */
233   // ***** Inicialización del SD *****
234   estadoSD=true;
235   if (!SD.begin(pinChipSelect_SD)) {
236     estadoSD=false;
237   }
238   // ***** Inicialización del LCD *****
239   lcd.init(); /*!< inicia el display */
240   lcd.backlight(); /*!< enciende la luz del display */
241   lcd.createChar(1, oAcute); /*!< crea caracter ó */
242   lcd.createChar(2, wall); /*!< crea caracter de cuadrados */
243   lcd.createChar(3, uAcute); /*!< crea caracter ú */
244   lcd.createChar(4, aAcute); /*!< crea caracter á */
245   LCD_PANTALLA_INICIAL();
246   // ***** Inicialización Sensor de Presión *****
247   presion.begin();
248   // ***** Inicialización Sensor de Humedad y Temperatura
*****

```

```

249  humedad_temperatura.begin();
250  // ***** Inicialización Sensor de Luminosidad *****
251  luminosidad.begin();
252  // ***** Inicialización Sensor de CO2 *****
253  sensorCO2.begin();
254  //while(!sensorCO2.available());
255  // ***** Inicialización del RTC *****
256  if (! rtc.begin()) {
257      Serial.println("MSG_No se encontró el RTC");
258  }
259  if (! rtc.lostPower()) {
260      //Serial.println("MSG_RTC no se está ejecutando, Ajustado el tiempo!");
261      //rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__))-TimeSpan(GMT*3600));
262  }
263
264  // ***** Inicialización del Control *****
265  ahora=shiitake.now();
266  tiempoControl=ahora;
267  tiempoDatos=ahora;
268  tiempoDisplay=ahora;
269  // Verificación de los EEPROM
270  if(!shiitake.verificarCRC()){ // Si el CRC no corresponde, se resetea los valores de la EEPROM y se resetea y se ajusta el
CRC, esto sucede por ejemplo si es un nuevo controlador
271      shiitake.RESET_DATOS_EEPROM();
272  } else{
273      verificarCumplimientoEtapas();
274  }
275  GuardarEvento("Sistema Encendido");
276  }
277
278  /*! loop
279  \brief Bucle de control.
280
281  Ejecución de código continuamente en un bucle infinito.
282  */
283  void loop() {
284      // Código que se ejecuta continuamente en un bucle infinito:
285      // ***** Lectura de Sensores *****
286      if (Serial.available() > 0) {
287          if(!cmd.bufferSerial(Serial.read()))
288              Serial.println("MSG_Comando no reconocido");
289      }
290      verificarCumplimientoEtapas();
291      if(ejecutandose && controlar){
292          ahora=shiitake.now();
293          if(ahora>tiempoControl){
294              tiempoControl=tiempoControl+TimeSpan(intervaloControl);
295              Serial.println("NOT_Ejecutando estrategias de control");
296              ejecutarControl();
297          }
298          if(ahora>tiempoDatos){
299              tiempoDatos=tiempoDatos+TimeSpan(intervaloTomaDatos);
300              Serial.println("NOT_Guardado de Datos en la SD");
301              datoSerial=const_cast<char*>("");
302              CMD_GuardarHistorico(datoSerial);
303          }
304          if(ahora>tiempoDisplay){
305              tiempoDisplay=tiempoDisplay+TimeSpan(intervaloDisplay);
306              modDisplay++;
307              switch(modDisplay%5){
308                  case 0:
309                      LCD_lcd1();
310                      break;
311                  case 1:
312                      LCD_lcd2();
313                      break;
314                  case 2:
315                      LCD_lcd3();
316                      break;
317                  case 3:
318                      LCD_lcd4();
319                      break;
320                  default:
321                      LCD_lcd6();
322                      break;
323              }
324          }
325      } else{
326          ahora=shiitake.now();
327          if(ahora>tiempoDisplay){
328              tiempoDisplay=tiempoDisplay+TimeSpan(intervaloDisplay);
329              modDisplay++;
330              switch(modDisplay%3){
331                  case 0:
332                      LCD_lcd1();
333                      break;
334                  case 1:

```

```
335         LCD_lcd2();
336         break;
337     default:
338         LCD_lcd5();
339         break;
340     }
341 }
342 }
343 //delay(100);
344 }
```

```

1  /*! \file Comandos_Serial.ino
2  \brief Procesamiento de los comandos por el puerto serial.
3
4  */
5  // ***** Comandos Puerto Serial *****
6  void GuardarEvento(String dato){
7      CMD_GuardarEventos(const_cast<char*>(dato.c_str()));
8  }
9
10 void CMD_AjustarRTC(char* dato){
11     shiitake.ajustarTiempo(DateTime(strtoul (dato, NULL, 0)));
12     ahora=shiitake.now();
13     tiempoControl=ahora;
14     tiempoDatos=ahora;
15     tiempoDisplay=ahora;
16     //delay(300);
17 }
18
19 void CMD_GuardarHistorico(char* dato){
20     presion.getPT(&P,&T);
21     H = humedad_temperatura.readHumidity();
22     T = humedad_temperatura.readTemperature();
23     L= luminosidad.readLightLevel();
24     if(sensorCO2.dataAvailable()){
25         sensorCO2.readAlgorithmResults();
26         CO2=sensorCO2.getCO2();
27     }
28     String sensores=String(P)+String(";")+String(T)+String(";")+String(L)+String(";")+String(H)+String(";")+String(CO2);
29     SdFile::dateTimeCallback(dateTime);
30     shiitake.escribirDataLog(sensores.c_str());
31 }
32
33 void CMD_GuardarEventos(char* dato){
34     SdFile::dateTimeCallback(dateTime);
35     shiitake.escribirLogEventos(const_cast<char*>(dato));
36 }
37
38 void CMD_Activar(char* dato){
39     shiitake.escribirEstado_EEPROM(true);
40 }
41
42 void CMD_Desactivar(char* dato){
43     shiitake.escribirEstado_EEPROM(false);
44 }
45
46 void CMD_Estado(char* dato){
47     Serial.println(shiitake.leerEstado_EEPROM());
48 }
49
50 void CMD_Resetear(char* dato){
51     shiitake.RESET_DATOS_EEPROM();
52 }
53
54 void CMD_AgregarFase(char* dato){
55     Shiitake::datoFases info;
56     int i=0;
57     char *str=nullptr;
58     char *cad=const_cast<char*>(dato);
59     while ((str = strtok_r(cad, "|", &cad)){
60         switch (i)
61         {
62             case 0:
63                 strcpy (info.nombre, str);
64                 break;
65             case 1:
66                 info.duracion=strtoul (str, NULL, 0);
67                 break;
68             case 2:
69                 info.set_H=atof(str);
70                 break;
71             case 3:
72                 info.set_T=atof(str);
73                 break;
74             case 4:
75                 info.set_CO2=atof(str);
76                 break;
77             case 5:
78                 info.set_Luz=(str[0] == '1');
79                 break;
80             default:
81                 break;
82         }
83         i++;
84     }
85     shiitake.escribirFase_EEPROM(info);
86 }
87

```

```

88 void CMD_AgregarFechaInicio(char* dato){
89     shiitake.escribirFecha_EEPROM((DateTime(strtoul (dato, NULL, 0))+TimeSpan(GMT*3600)).unixtime());
90 }
91
92 void CMD_MostrarDatos(char* dato){
93     Shiitake::datoFases info;
94     Serial.println("NOT_Datos en la EEPROM:");
95     Serial.print("NOT_Verificación CRC:");Serial.println(shiitake.verificarCRC());
96     Serial.print("NOT_Estado:");Serial.println(shiitake.leerEstado_EEPROM());
97     DateTime fecha=shiitake.leerFecha_EEPROM();
98     //Serial.print("NOT_Fecha Inicio:");Serial.println(fecha.unixtime());
99     Serial.print("NOT_Fecha Inicio:");Serial.println(fecha.timestamp());
100    int n=shiitake.leerNfases_EEPROM();
101    Serial.print("NOT_Número de Fases:");Serial.println(n);
102    for(int i=0; i<n; i++){
103        info=shiitake.leerFase_EEPROM(i);
104        Serial.print("NOT_\\tFase:");Serial.println(info.nombre);
105        fecha=fecha+TimeSpan(info.duracion);
106        //Serial.print("NOT_\\t\\tFecha Final:");Serial.println(fecha.unixtime());
107        Serial.print("NOT_\\t\\tFecha Final:");Serial.println(fecha.timestamp());
108        Serial.print("NOT_\\t\\tSetpoint H:");Serial.println(info.set_H);
109        Serial.print("NOT_\\t\\tSetpoint T:");Serial.println(info.set_T);
110        Serial.print("NOT_\\t\\tSetpoint CO2:");Serial.println(info.set_CO2);
111        Serial.print("NOT_\\t\\tSetpoint Luz:");Serial.println(info.set_Luz);
112    }
113 }
114 void CMD_Now(char* dato){
115     Serial.print("Ahora: ");Serial.println(shiitake.now().timestamp());
116 }
117 void CMD_obtenerH(char* dato){
118     H = humedad_temperatura.readHumidity();
119     Serial.print(H,1);Serial.print("|");Serial.println("%");
120 }
121 void CMD_obtenerT(char* dato){
122     T = humedad_temperatura.readTemperature();
123     Serial.print(T,1);Serial.print("|");Serial.println("°C");
124 }
125 void CMD_obtenerCO2(char* dato){
126     if(sensorCO2.dataAvailable()){
127         sensorCO2.readAlgorithmResults();
128         CO2=sensorCO2.getCO2();
129     }
130     Serial.print(CO2);Serial.print("|");Serial.println("ppm");
131 }
132 void CMD_obtenerL(char* dato){
133     L= luminosidad.readLightLevel();
134     Serial.print(L,1);Serial.print("|");Serial.println("lux");
135 }
136 void CMD_obtenerP(char* dato){
137     presion.getPT(&P,&T);
138     Serial.print(P,3);Serial.print("|");Serial.println("kPa");
139 }
140
141 void CMD_ON_HUM(char* dato){
142     shiitake.encenderHumidificador();
143     digitalWrite(pinSalidaVentHum, HIGH);
144 }
145
146 void CMD_OFF_HUM(char* dato){
147     shiitake.apagarHumidificador();
148     digitalWrite(pinSalidaVentHum, LOW);
149 }
150
151 void CMD_ON_CAL(char* dato){
152     shiitake.encenderCalentador();
153 }
154
155 void CMD_OFF_CAL(char* dato){
156     shiitake.apagarCalentador();
157 }
158
159 void CMD_ON_EXT(char* dato){
160     shiitake.encenderExtractor();
161 }
162
163 void CMD_OFF_EXT(char* dato){
164     shiitake.apagarExtractor();
165 }
166
167 void CMD_ON_LUC(char* dato){
168     shiitake.encenderLuces();
169 }
170
171 void CMD_OFF_LUC(char* dato){
172     shiitake.apagarLuces();
173 }
174 void CMD_ENVIAR_PERFIL(char* dato){

```

```

175     shiitake.apagarLuces();
176 }
177
178 void CMD_ENVIAR_FASES(char* dato){
179     Shiitake::datoFases info;
180     int n=shiitake.leerNfases_EEPROM();
181     Serial.println("RST_FASES"); // Solicita al otro dispositivo restear la información de fases
182     for(int i=0; i<n; i++){
183         info=shiitake.leerFase_EEPROM(i);
184
185         Serial.println(String("DAT_FASE")+String(info.nombre)+String(',')+String(info.duracion)+String(',')+String(info.set_H)+String(',')
186             +String(info.set_T)+String(',')+String(info.set_CO2)+String(',')+String(info.set_Luz)); // Envía por serial los datos de la
187             fase los datos
188     }
189     Serial.println("ACK_FASES"); // Envía al otro dispositivo acuse de enviado de todas las fases
190 }
191
192 void CMD_ENVIAR_INICIO(char* dato){
193     DateTime fecha=shiitake.leerFecha_EEPROM();
194     Serial.println(String("DAT_INICIO")+String(fecha.unixtime()-GMT*3600)); // Envía por serial los datos de la fecha de inicio
195 }
196
197 void CMD_ENVIAR_VARIABLES(char* dato){
198     presion.getPT(&P,&T);
199     H = humedad_temperatura.readHumidity();
200     T = humedad_temperatura.readTemperature();
201     L= luminosidad.readLightLevel();
202     if(sensorCO2.dataAvailable()){
203         sensorCO2.readAlgorithmResults();
204         CO2=sensorCO2.getCO2();
205     }
206     String sensores=String(P)+String(",")+String(T)+String(",")+String(L)+String(",")+String(H)+String(",")+String(CO2);
207     Serial.println(String("DAT_VAR")+sensores); // Envía por serial los datos de los sensores
208 }
209
210 void CMD_ENVIAR_ESTADO_RELES(char* dato){
211     String
212     reles=String(shiitake.estadoPiloto()+String(",")+String(shiitake.estadoLuces()+String(",")+String(shiitake.estadoCalentador())
213     +String(",")+String(shiitake.estadoHumidificador()+String(",")+String(shiitake.estadoExtractor()+String(",")+String(ejecutando
214     se);
215     Serial.println(String("DAT_REL")+reles); // Envía por serial los datos de los estado de los relés
216 }
217
218 void CMD_ENVIAR_AVANCE(char* dato){
219     int i=0;
220     uint32_t tiempoTotalPrueba=0;
221     Shiitake::datoFases fase;
222     int n=shiitake.leerNfases_EEPROM();
223     for(i=0;i<n;i++){
224         fase=shiitake.leerFase_EEPROM(i);
225         tiempoTotalPrueba+=fase.duracion;
226     }
227     String
228     datosEtapa=String(etapa)+String(",")+String(tiempoEtapa)+String(",")+String(duracionEtapa)+String(",")+String(tiempoEjecutado)+S
229     tring(",")+String(tiempoTotalPrueba);
230     Serial.println(String("DAT_AVA")+datosEtapa); // Envía por serial los datos de la etapa
231 }

```

```

1  /*! \file Subrutinas_Control.ino
2  \brief Estrategias de Control.
3
4  */
5
6
7
8  void verificarCumplimientoEtapas(){
9  Shiitake:datoFases fase;
10  ejecutandose=shiitake.leerEstado_EEPROM();
11  int n=shiitake.leerNfases_EEPROM();
12  int i=0;
13  uint32_t inicio;
14  inicio=shiitake.leerFecha_EEPROM();
15  ahora=shiitake.now();
16  fechaInicio=inicio;
17  if( ahora.isValid() && n && ejecutandose){
18  shiitake.encenderPiloto();
19  if (ahora.unixtime()< inicio){ // Todavía no se ejecuta, parar todo control
20  Serial.println("MSG_No ha iniciado!");
21  controlar=false;
22  } else{
23  tiempoEjecutado=ahora.unixtime()-inicio;
24  for(i=0;i<n;i++){
25  fase=shiitake.leerFase_EEPROM(i);
26  tiempoEtapa=ahora.unixtime()-inicio;
27  inicio=inicio+fase.duracion;
28  if (ahora.unixtime()< inicio){ // está en esta etapa
29  finEtapa=inicio;
30  etapa=fase.nombre;
31  duracionEtapa=fase.duracion;
32  ajuste={fase.set_H,fase.set_T,fase.set_CO2,fase.set_Luz}; // Actualiza los nuevos valores de setpoint
33  if(!controlar){
34  GuardarEvento("El Sistema empezó a realizar el control");
35  tiempoControl=ahora; // Actualiza este dato
36  tiempoDatos=ahora; // Actualiza este dato
37  }
38  controlar=true;
39  break;
40  }
41  }
42  if(i==n){ // Ya finalizó
43  shiitake.escribirEstado_EEPROM(false);
44  if(controlar) {
45  GuardarEvento("El Sistema de control finalizó");
46  Serial.println("NOT_Prueba Finalizada!");
47  }
48  controlar=false;
49  ejecutandose=false;
50  Serial.println("MSG_Prueba Finalizada!");
51  CMD_ENVIAR_ESTADO_RELES("");
52  shiitake.apagarTodo();
53  digitalWrite(pinSalidaVentHum, LOW);
54  }
55  }
56  } else {
57  etapa=" ";
58  tiempoEtapa=0;
59  duracionEtapa=0;
60  tiempoEjecutado=0;
61  tiempoTotal=0;
62  }
63  }
64  void ejecutarControl(){
65  presion.getPT(&P,&T);
66  H = humedad_temperatura.readHumidity();
67  T = humedad_temperatura.readTemperature();
68  if(sensorCO2.dataAvailable()){
69  sensorCO2.readAlgorithmResults();
70  CO2=sensorCO2.getCO2();
71  }
72  // Control
73  if (H<ajuste.H){
74  if(!shiitake.estadoHumidificador()) {
75  GuardarEvento("Humidificador activado");
76  Serial.println("NOT_Humidificador activado");
77  }
78  shiitake.encenderHumidificador();
79  digitalWrite(pinSalidaVentHum, HIGH);
80  } else{
81  if(shiitake.estadoHumidificador()) {
82  GuardarEvento("Humidificador desactivado");
83  Serial.println("NOT_Humidificador desactivado");
84  }
85  shiitake.apagarHumidificador();
86  digitalWrite(pinSalidaVentHum, LOW);
87  }

```

```
88  if (T<ajuste.T){
89      if(!shiiitake.estadoCalentador()) {
90          GuardarEvento("Calentador activado");
91          Serial.println("NOT_Calentador activado");
92      }
93      shiiitake.encenderCalentador();
94  } else{
95      if(shiiitake.estadoCalentador()) {
96          GuardarEvento("Calentador desactivado");
97          Serial.println("NOT_Calentador desactivado");
98      }
99      shiiitake.apagarCalentador();
100  }
101  if (CO2>ajuste.CO2){
102      if(!shiiitake.estadoExtractor()) {
103          GuardarEvento("Extractor activado");
104          Serial.println("NOT_Calentador Extractor activado");
105      }
106      shiiitake.encenderExtractor();
107  } else{
108      if(shiiitake.estadoExtractor()) {
109          GuardarEvento("Extractor desactivado");
110          Serial.println("NOT_Calentador Extractor desactivado");
111      }
112      shiiitake.apagarExtractor();
113  }
114  if (ajuste.Luz){
115      if(!shiiitake.estadoLuces()) {
116          GuardarEvento("Luces activadas");
117          Serial.println("NOT_Luces activadas");
118      }
119      shiiitake.encenderLuces();
120  } else{
121      if(shiiitake.estadoLuces()) {
122          GuardarEvento("Luces desactivadas");
123          Serial.println("NOT_Luces desactivadas");
124      }
125      shiiitake.apagarLuces();
126  }
127 }
```

```

1  /*! \file Subrutinas_LCD.ino
2  \brief Manejo del LCD.
3
4  */
5
6  void LCD_PANTALLA_INICIAL(){
7  lcd.clear();
8  lcd.setCursor(3,0);lcd.print("Shiitake V1.0");
9  lcd.setCursor(1,1);lcd.print("Mec\x04nica-Ambiental");
10 lcd.setCursor(2,2);lcd.print("UPB-Bucaramanga");
11 lcd.setCursor(7,3);lcd.print("2021");
12 delay(2000); /*!< retardo de 2 segundos mientras muestra el mensaje inicial */
13 }
14 void LCD_lcd1(){
15 presion.getPT(&P,&T);
16 H = humedad_temperatura.readHumidity();
17 T = humedad_temperatura.readTemperature();
18 lcd.clear();
19 lcd.setCursor(0,0);lcd.print(shiitake.now().timestamp());
20 lcd.setCursor(0,1);lcd.print("Humedad: ");lcd.print(H);lcd.print(" %");
21 lcd.setCursor(0,2);lcd.print("Temperatura: ");lcd.print(T);lcd.print("\xDF" "C");
22 lcd.setCursor(0,3);lcd.print("Presi\x01n: ");lcd.print(P);lcd.print(" kPa");
23 }
24 void LCD_lcd2(){
25 L= luminosidad.readLightLevel();
26 if(sensorCO2.dataAvailable()){
27   sensorCO2.readAlgorithmResults();
28   CO2=sensorCO2.getCO2();
29 }
30 lcd.clear();
31 lcd.setCursor(0,0);lcd.print(shiitake.now().timestamp());
32 lcd.setCursor(0,1);lcd.print("Luz: ");lcd.print(L);lcd.print(" lux");
33 lcd.setCursor(0,2);lcd.print("CO2: ");lcd.print(CO2);lcd.print(" ppm");
34 lcd.setCursor(0,3);lcd.print("SD: ");lcd.print(estadoSD?"OK - Detectada":"Falla al iniciar");
35 }
36 void LCD_lcd3(){
37 lcd.clear();
38 lcd.setCursor(0,0);lcd.print(shiitake.now().timestamp());
39 lcd.setCursor(0,1);lcd.print("Etapa: ");lcd.print(etapa);
40 lcd.setCursor(5,2);lcd.print("Fin Etapa");
41 lcd.setCursor(0,3);lcd.print(finEtapa.timestamp());
42 }
43 void LCD_lcd4(){
44 int i=0;
45 tiempoTotal=0;
46 Shiitake::datoFases fase;
47 int n=shiitake.leerNfases_EEPROM();
48 for(i=0;i<n;i++){
49   fase=shiitake.leerFase_EEPROM(i);
50   tiempoTotal+=fase.duracion;
51 }
52 lcd.clear();
53 lcd.setCursor(0,0);lcd.print("% Etapa: ");lcd.print(100.0*static_cast<double>(tiempoEtapa)/static_cast<double>
(duracionEtapa),2);
54 lcd.setCursor(0,1);lcd.print("% Prueba: ");lcd.print(100*static_cast<double>(tiempoEjecutado)/static_cast<double>
(tiempoTotal),2);
55 lcd.setCursor(5,2);lcd.print("Fin Prueba");
56 lcd.setCursor(0,3);lcd.print((fechaInicio+TimeSpan(tiempoTotal)).timestamp());
57 }
58 void LCD_lcd5(){
59 lcd.clear();
60 lcd.setCursor(0,0);lcd.print("\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02");
61 lcd.setCursor(0,1);lcd.print("\x02 !No hay prueba \x02");
62 lcd.setCursor(0,2);lcd.print("\x02 en ejecuci\x01n! \x02");
63 lcd.setCursor(0,3);lcd.print("\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02");
64 }
65 void LCD_lcd6(){
66 lcd.clear();
67 lcd.setCursor(0,0);lcd.print("\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02");
68 lcd.setCursor(0,1);lcd.print("\x02 !prueba \x02");
69 lcd.setCursor(0,2);lcd.print("\x02 en ejecuci\x01n! \x02");
70 lcd.setCursor(0,3);lcd.print("\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02\x02");
71 }

```